

IZANIELLE BATISTA DOS SANTOS

**EFICÁCIA INSETICIDA DA TERRA DIATOMÁCEA E RESPOSTA
COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* MOTSCH.
(COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)**

GARANHUNS
PERNAMBUCO – BRASIL
JULHO – 2016

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

EFICÁCIA INSETICIDA DA TERRA DIATOMÁCEA E RESPOSTA
COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* MOTSCH.
(COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

IZANIELLE BATISTA DOS SANTOS

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR
DR. CÉSAR AUGUSTE BADJI

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

JULHO – 2016

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

EFICÁCIA INSETICIDA DA TERRA DIATOMÁCEA E RESPOSTA
COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* MOTSCH.
(COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

IZANIELLE BATISTA DOS SANTOS

GARANHUNS
PERNAMBUCO – BRASIL
JULHO – 2016

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

S237e Santos, Izanielle Batista dos

Eficácia inseticida da Terra Diatomácea e resposta comportamental de populações de *Sitophilus zeamais* Mostch.(Coleoptera, Curculionidae) /Izanielle Batista dos Santos - Garanhuns, 2016.

f.: 44.

Orientador: César Augusto Badji
Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2016.
Inclui referências.

1. Gorgulho-do-milho 2. Controle alternativo 3. Pós inertes
4. Eficiência de controle 5. Armazenamento

I. badji, César August.orient.

II. Título

CDD 633.1

**EFICÁCIA INSETICIDA DA TERRA DIATOMÁCEA E RESPOSTA
COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* MOTSCH.
(COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)**

IZANIELLE BATISTA DOS SANTOS

APROVADO EM: _____ de _____ de _____

Dra. CYNTHIA MARIA DE LYRA NEVES

(Membro Externo)

Dr. CARLOS ROMERO FERREIRA DE OLIVEIRA

(Membro interno)

Dra. CLÁUDIA HELENA CYSNEIROS MATOS DE OLIVEIRA

(Membro interno)

Dr. CÉSAR AUGUSTE BADJI

(Orientador)

Dedicatória

*À minha mãe.
Ao meu esposo, Ao meu filho, As minhas irmãs, e irmão.
Aos meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus pelo suporte e providência em minha vida.

À Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, e ao Programa de pós-graduação em Produção Agrícola, pela oportunidade do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. César Auguste Badji, pessoa pela qual tenho grande respeito e admiração. Meu sincero apreço pela orientação.

Aos docentes do PPGPA, Kleber Régis, Luciano Souza, Macio Farias e demais, pelas contribuições.

Aos colegas do Laboratório de Entomologia Aplicada, pelos auxílios na condução dos experimentos e convívio agradável.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e por contribuírem com este trabalho com sugestões e críticas.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

BIOGRAFIA

Izanielle Batista dos Santos, filha de Izabel Batista da Silva e Ivan Soares dos Santos, nasceu no dia 22 de Março de 1985, na cidade de Garanhuns, Estado de Pernambuco. 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 fevereiro de 2014 no Mestrado em Produção Agrícola da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, finalizando-o em Julho de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	10
GENERAL SUMMARY	11
INTRODUÇÃO GERAL.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DA TERRA DIATOMÁCEA NO COMPORTAMENTO LOCOMOTOR E NO CONTROLE DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* MOTSCH. (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

RESUMO.....	21
ABSTRACT	22
INTRODUÇÃO	23
MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1. Populações de <i>S. zeamais</i>	25
2.2. Criação das populações de <i>S. zeamais</i> em laboratório	25
2.3. Terra Diatomácea	26
2.4. Bioensaio eficiência de controle	26
2.5. Bioensaio comportamental.....	27
2.6. Análises Estatísticas	27
RESULTADOS	28
3.1. Bioensaio Eficiência de controle.....	28
3.2. Bioensaio comportamental.....	31
DISCUSSÃO	35
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

RESUMO GERAL

O Brasil é um país com enorme potencial para a produção de grãos. No entanto, o país enfrenta sérios problemas no controle de pragas de grãos armazenados. O *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera, Curculionidae) é uma das pragas mais destrutivas do milho, cujo controle é feito por inseticidas, entretanto, seu uso indiscriminado tem ocasionado o desenvolvimento de populações resistentes. Neste contexto, a Terra Diatomácea destaca-se no controle de pragas de grãos armazenados. Em vista disto, o objetivo deste trabalho foi investigar se há diferença entre as populações brasileiras de *S. zeamais* na sua capacidade de resistência à Terra Diatomácea associada a alguma característica comportamental de locomoção e a eficiência de controle de *S. zeamais*. Foram utilizadas quatro populações de *S. zeamais* provenientes dos estados do Distrito Federal (DF), Minas Gerais (MG) e Pernambuco (PE). O bioensaio eficiência de controle foi estruturado em um fatorial (3 doses de Terra Diatomácea x 3 tempos de exposição) com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por dez insetos adultos, colocados em placas de Petri contendo milho tratado com Terra Diatomácea. Foi contabilizado o número de insetos vivos por repetição após 24, 48 e 72 horas de exposição a Terra Diatomácea. O bioensaio comportamental foi estruturado em um fatorial (4 populações x 3 doses de Terra Diatomácea), onde cada repetição foi constituída por um único inseto alojado em placa de Petri. O movimento dos insetos foi gravado e seu comportamento locomotor foi observado durante dez minutos. As variáveis testadas foram distância percorrida (cm), velocidade de caminamento ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$), tempo em movimento (s), e número de paradas. Os resultados demonstram uma mortalidade crescente de insetos de *S. zeamais* com o incremento das doses. Observou-se também, respostas diferentes entre as populações de *S. zeamais* em sua capacidade de resistência comportamental associada a diminuição da distância percorrida e do número de paradas dos insetos com o incremento das doses. Confirmando a existência de resistência comportamental nas populações de *S. zeamais* estudadas. À vista disso, a elucidação de possíveis modificações comportamentais de populações de *S. zeamais* expostas à Terra Diatomácea pode proporcionar novos caminhos para aumentar a efetividade no manejo dessa praga.

Palavras-chave: gorgulho-do-milho, eficiência de controle, pós inertes

GENERAL SUMMARY

Brazil is a country with enormous potential for the production of grain. However, the country faces serious problems in the control of stored grain pests. The *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera, Curculionidae) is one of the most destructive pests of corn, whose control is done by insecticides, however, their indiscriminate use has led to the development of resistant populations. In this context, Diatomaceous Earth stands in the control of stored grain pests. In view of this, the objective of this study was to investigate whether there are differences among Brazilian populations of *S. zeamais* in its Diatomaceous Earth resistance capacity associated with some behavioral characteristics of locomotion and of *S. zeamais* control efficiency. We used four populations of *S. zeamais* from the states of the Federal District (DF), Minas Gerais (MG) and Pernambuco (PE). The bioassay control efficiency was structured in a factorial (3 doses of Diatomaceous Earth x 3 exposure times) with four replications. Each repetition was constituted by ten adult insects, placed in Petri dishes containing corn treated with diatomaceous earth. The number of live insects by repetition after 24, 48 and 72 hours of exposure to Diatomaceous Earth. The behavioral bioassay was structured in a factorial (4 people x 3 doses of Diatomaceous Earth), where each repetition consisted of a single insect housed in the Petri dish. The movement of the insects was recorded and their locomotor behavior was observed for ten minutes. The tested variables were distance (cm) traversal velocity (cm. S⁻¹), moving time (s) and number of stops. The results demonstrate an increased mortality of insects *S. zeamais* with increasing doses. There was also different responses among populations of *S. zeamais* in their behavioral resilience associated with decrease in distance traveled, the number of stops of insects with increasing doses. Confirming the existence of behavioral resistance in populations of *S. zeamais* studied. In view of this, the elucidation of possible behavioral changes in populations of *S. zeamais* exposed to Diatomaceous Earth can provide new ways to increase the effectiveness in the management of this pest.

Keywords: maize weevil, control efficiency, inert dusts

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país com enorme potencial para a produção de grãos (CRUZ et al., 2012) com destaque para o milho (*Zea mays* L.) por ser uma cultura amplamente difundida e cultivada, adaptando-se aos mais diferentes ecossistemas (LIMA-MENDONÇA et al., 2013). Em termos de produção, o milho ocupa a terceira posição no ranking mundial de área colhida, com estimativas para a safra 2015/16 de 82 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2016). No entanto, o aumento na oferta da cultura é marcado por perdas causadas durante o armazenamento (NUKENINE et al., 2013), no qual a presença de insetos-praga se configura como um dos principais entraves na armazenagem do milho (ANTUNES et al., 2013).

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 é um coleóptero da família Curculionidae (LORINI, 2002), e uma das pragas mais destrutivas do milho armazenado em regiões tropicais (PAES et al., 2012). A ação desse inseto-praga é favorecida em condições de 28 °C e 60 % de umidade relativa, nas quais, apresentam em média um período de oviposição de 104 dias, 282 ovos por fêmeas, período de incubação entre 3 e 6 dias, e ciclo de ovo até a emergência de adultos de 34 dias (REES, 1996; LORINI, 2008). Os adultos têm de 2,0 a 3,5 mm de comprimento e coloração castanho-escuro, com manchas claras nos élitros, têm a cabeça projetada à frente, na forma de rostro curvado, as larvas apresentam coloração amarelo-clara com a cabeça mais escura tipo curculioniforme, e as pupas são brancas (ROSSETO, 1969; RESS, 1996; GALLO et al., 2002).

A infestação é cruzada, ou seja, inicia-se no campo e continua durante o armazenamento (CANEPPELE et al., 2003; CERUTI et al., 2008; SILVA et al., 2012). É considerada uma praga primária interna, onde a postura é realizada nos grãos, em pequenos orifícios feito pelas fêmeas (SILVA et al., 2012; SULEIMAN et al., 2015), sendo que, as primeiras fases de desenvolvimento ocorrem e se completam no interior dos grãos (COSTA et al., 2006).

Apresentam um grande número de hospedeiros, elevado potencial biótico e capacidade de penetração na massa de grãos (GALLO et al., 2002). Os insetos promovem a desvalorização e contaminação da massa de grãos, aumento da atividade respiratória dos grãos e, conseqüentemente, maior perda de matéria seca (ALVES et al., 2008), levando a perdas de até 20 % do total do peso dos grãos armazenados (SANTOS et al.,

2009), além da redução do valor nutricional e comercial do produto final (LORINI et al., 2015).

Atualmente, a prática mais adotada para o controle de *S. zeamais* é a utilização de piretróides, organofosforados e fumigantes em geral (BENHALIMA et al., 2004; SANTOS et al., 2009; SILVA et al., 2013). Porém seu uso intenso na agricultura, aliado às técnicas inadequadas de aplicação, além de elevar os custos, impõe forte seleção desses insetos a esses compostos, resultando no rápido desenvolvimento do fenômeno de resistência (GUEDES, 1991; WHALON et al., 2008; ZHAO et al., 2012). A resistência a inseticidas em pragas de produtos armazenados resulta em problemas econômicos e ambientais, pois, ocasiona a diminuição da eficiência do controle, resultando no aumento da dose e da frequência de aplicação (FRAGOSO et al., 2005; RIBEIRO et al., 2007).

A resistência de insetos-praga pode ser causada por mecanismos fisiológicos, ou comportamentais. Dentre os mecanismos de resistência fisiológica estão a detoxificação metabólica estando relacionada ao aumento na excreção dos compostos, e as modificações nos sítios-alvo do inseticida (McKENZIE, 1996; SCOTT, 1999). Já na resistência comportamental os insetos alteram seu comportamento locomotor afim de evitar áreas tratadas devido a efeitos irritantes e repelentes do composto químico (GEORGHIOU, 1972; LOCKWOOD et al., 1984; NANSEN et al., 2016). Guedes et al. (2008) afirmam que o uso excessivo de inseticidas pode modificar o caminhar locomotor do inseto, devido à sua capacidade de perceber e evitar os efeitos letais dos inseticidas, além de afetar a eficiência dos mesmos. Corrêa et al. (2011) confirmaram a existência de resistência comportamental em populações de *S. zeamais* ao observarem que o comportamento de caminhar locomotor em arenas tratadas com inseticidas foi variável entre as populações. Em um estudo mais recente, Morales et al. (2013) verificaram que certas atividades de caminhar locomotor como distância percorrida e velocidade de caminhar locomotor, podem ser determinantes para a sobrevivência do inseto ao inseticida.

Diante disso, esforços têm sido constantemente empregados na elaboração de métodos alternativos ao controle químico (GUEDES et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2007). Os métodos de controle não químicos podem atenuar os problemas ocasionados pela resistência de pragas (MWOLOLO et al., 2012). Segundo Haddi et al. (2015) há uma necessidade urgente de se desenvolver métodos alternativos para o controle de *S. zeamais*.

Assim, a pesquisa atual busca produtos que promovam o controle mais eficiente de insetos-praga e que abordem as leis ambientais (FRANCO et al., 2015).

Nesse contexto a Terra Diatomácea tem se destacado no controle de insetos-praga de grãos armazenados (CONCEIÇÃO et al., 2012; MARSARO JÚNIOR et al., 2013; JAIROCE et al., 2016). A Terra Diatomácea é um pó inerte, derivado de carapaças de algas diatomáceas, constituídas de sílica amorfa (KURUNIC, 2013). É um inseticida que age através de mecanismos físicos, nas quais as partículas da Terra Diatomácea se aderem ao corpo do inseto causando a remoção da camada de cera da cutícula, ocasionando morte por dessecação (EBELING, 1971; KORUNIC, 1998; BALDASSARI & MARTINI 2014). Além disso, apresenta baixa toxicidade para mamíferos e para o meio ambiente, não produz resíduos químicos tóxicos e oferece proteção a longo prazo com custo comparável ao de outros métodos de proteção de grãos (COLLINS et al., 2005; KURUNIC, 2013).

No entanto, há a necessidade de verificar se existe resistência comportamental em populações brasileiras de *S. zeamais* à Terra Diatomácea. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de doses de Terra Diatomácea no comportamento locomotor e na eficiência de controle de populações de *S. zeamais*. À vista disso, esta pesquisa pode gerar conhecimentos que servirão de subsídio para a elaboração de estratégias de controle e implementação de métodos de manejo alternativos ao químico. A elucidação de possíveis modificações comportamentais de populações de *S. zeamais* expostos à Terra Diatomácea pode proporcionar novos caminhos para aumentar a efetividade do controle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, W. M.; FARONI, L.R. D.; ALENCAR, E. R.; PAES, J. L. Influência do inseto-praga *Sitophilus zeamais* (motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) na taxa respiratória e na perda de matéria seca durante o armazenamento de milho. **Engenharia na Agricultura**, v. 16, n. 3, p. 260-269, 2008.
- ANTUNES, L. E. G.; FERRARI FILHO, E. F.; GOTTARDI, R.; SANT'ANA, J.; DIONELLO, R. G. Efeito da dose e exposição à terra de diatomácea de diferentes insetos em milho armazenado. **Arquivo do Instituto Biológico**, v. 80, n. 2, p. 169-176, 2013.
- BALDASSARI, N.; MARTINI, A. The efficacy of two diatomaceous earths on the mortality of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae*. **Bulletin of Insectology**, v.67, n. 1, p.51-55, 2014.
- BENHALIMA, H.; CHAUDHRY, M. Q.; MILLS, K. A.; PRICE, N. R. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Marocco. **Journal Stored Products Research**, v. 40, n. 3, p. 241-249, 2004.
- 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.
- COLLINS, P. J.; DAGLISH, G. J.; PAVIC, H.; KOPITTKER, R. A. Response of mixed-age cultures of phosphine-resistance and susceptible strains of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, to phosphine at a range of concentrations and exposure periods. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, p. 373-385, 2005.
- CONAB – Campanha Nacional de Abastecimento, Acompanhamento da safra brasileira- Grãos Safra 2015/2016 - Quarto Levantamento - Janeiro/ 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf. Acesso em: 07 de Maio de 2016.
- CONCEIÇÃO, P. M.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H.; PIMENTEL, M. A. G.; FREITAS, R. S. Diatomaceous earth effects on weevils with different susceptibility

- standard to phosphine. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 3, p. 303–307, 2012.
- CORRÊA, A. S.; PEREIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; BRAGA, L. S.; GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, mixture potentiation and fitness in populations of the maize weevil (*Sitophilus zeamais*). **Crop Protection**, v. 30, p. 1655-1666, 2011.
- COSTA, R.R.; SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.D'. A.; DHINGRA, O.D.; PIMENTEL, M.A.G. Toxicity of mustard essential oil to larvae and pupas of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored-Product Protection**, ABRAPÓS, p.908-913, 2006.
- CRUZ, C. S. A.; SOUSA, F. C.; MEDEIROS, M. B.; SILVA, L. M. M.; GOMES, J. P. Interferência de Óleos Essenciais na Preferência de *Sitophilus Zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em Grãos de Milho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 187-193, 2012.
- EBELING, W. Sorptive Dusts for Pest Control. **Annual Review of Entomology**, v. 16, n. 1, p. 123-158, 1971.
- 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.
- FRANCO, D. P.; GUERREIRO, J. C.; RUIZ, M.G.; SILVA, R.M.G. Evaluation of insecticide potential of *Spathodea campanulata* (Bignoniaceae) néctar on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Colombiana de Entomología**, v. 41, n. 1, p. 63-67, 2015.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.
- GEORGHIOU, G. P. The evolution of resistance to pesticides. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 3, p. 133-168, 1972.
- GUEDES, R. N. C. Resistência a inseticidas: desafio para o controle de pragas de grãos armazenados. **Seiva**, v. 50, p. 24-29, 1991.
- GUEDES, R. N. C.; CAMPBELL, J. F.; ARTHUR, F. H.; OPIT, G. P.; ZHU, K. Y.; THRONE, J. E. Acute lethal and behavioral sublethal responses of two stored-

- product psocids to surface insecticides. **Pest Management Science**, v. 64, p. 1314–1322, 2008.
- 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.
- HADDI, K.; MENDONÇA, L. P.; SANTOS, M. F.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E. Metabolic and Behavioral Mechanisms of Indoxacarb Resistance in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 362-369, 2015.
- JAIROCE, C. F.; TEIXEIRA, C. M.; NUNES, A. M.; HOLDEFER, D. R.; KRÜGER, A. P.; GARCIA, F. R. M. Efficiency of inert mineral dusts in the control of corn weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 158-162, 2016.
- KORUNIC, Z. Diatomaceous Earths: Natural Insecticides. **Pesticides and phytomedicine**, v. 28, n. 2, p. 77–95, 2013.
- KORUNIC, Z. Review Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, n. 2, p. 87-97, 1998.
- LIMA- MENDONÇA, A. BROGLIO, S. M. F.; ARAÚJO, A. M. N.; LOPES, D. O. P.; DIAS-PINI, N. S. Efeito de pós vegetais sobre *Sitophilus zeamais* (Mots., 1855) (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**. v. 80, n.1, p. 91-97, 2013.
- 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.
- LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos armazenados. In: IRINEU, L.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A. (Ed. 1). **Manejo Integrado de Pragas de Grãos e Sementes Armazenadas**, Brasília, EMBRAPA, cap. 2, p. 21, 2015.
- 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, p. 379-397, 2002.

- LORINI, I. **Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados**, Passo Fundo, Embrapa Trigo, 72p., 2008.
- MARSARO JÚNIOR, A. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M; PEREIRA, P. R. V. S. Eficiência da terra de diatomácea no controle de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em feijão-caupi armazenado. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, Supl. 2, p. S13-S18, 2013.
- 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.
- MORALES, J. A., CARDOSO, D. G., DELLA LUCIA, T. M. C., GUEDES, R. N. C. Weevil x insecticide: does 'personality' matter? **PLoS One**, v. 8, n. 6, p. 1-12, 2013.
- MWOLOLO, J.K.; MUGO, S.; OKORI, P.; TEFERA, T.; OTIM, M.; MUNYIRI, S. W. Sources of Resistance to the Maize Weevil *Sitophilus Zeamais* in Tropical Maize. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 11; p. 206-215, 2012.
- NANSEN, C.; BAISSAC, O.; NANSEN, M.; POWIS, K.; BAKER, G. Behavioral Avoidance - Will Physiological Insecticide Resistance Level of Insect Strains Affect Their Oviposition and Movement Responses? **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1-12, 2016.
- NUKENINE, E. N.; CHOUKA, F. P.; VABI, M. B.; REICHMUTH, C.; ADLER, C. Comparative toxicity of four local botanical powders to *Sitophilus Zeamais* and influence of drying regime and particle size on insecticidal efficacy, **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 7, n. 3, p. 1313-1325, 2013.
- 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.
- PAES, J. L.; FARONI, L. R. D. 'A.; DHINGRA, O. D.; CECON, P. R.; SILVA, T. A. Insecticidal fumigant action of mustard essential oil against *Sitophilus zeamais* in maize grains. **Crop Protection**, v. 34, p. 56-58, 2012.
- RESS, D. P. Coleoptera, In: **Integrated management of insects in stored products**. (Subramanyam, B. and Hagstrum, D. W., eds. Marcel Dekker, Inc., New York-Basel-Hong Kong, 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.
- 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.
- 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**, v. 25, n. 6, p. 75-81, 2009.
- SCOTT, J. G. Cytochromes p450 and insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 29, p. 757-777, 1999.
- SILVA, J. F.; MELO, B. A.; PESSOA, E. B.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P. bioatividade do extrato de *Momordica charantia* L. sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 179-183, 2012.
- SILVA, L. B.; SILVA, L. S.; MANCIN, A. C.; CARVALHO, G. S.; SILVA, J. C.; ANDRADE, L. H. Comportamento do gorgulho-do-milho frente às doses de permetrina. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 1, p. 26-34, 2013.
- SULEIMAN, R.; WILLIAMS, D.; NISSEN, A.; BERN, C. J.; ROSENTRATER, K. A. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation?. **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19-24, 2015.
- 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, 208 p., 2008.
- ZHAO, N. N.; ZHOU, L.; LIU, Z. L.; DU, S. S.; DENG, Z. W. Evaluation of the toxicity of essential oils of some common Chinese spices against *Liposcelis bostrychophila*. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 486-490, 2012.

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DA TERRA DIATOMÁCEA NO COMPORTAMENTO
LOCOMOTOR E NO CONTROLE DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais*
MOTSCH. (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

RESUMO

Sitophilus zeamais é uma das pragas de maior importância para o milho armazenado no Brasil. Seu controle é feito por inseticidas, entretanto, o país enfrenta sérios problemas associados ao desenvolvimento de populações resistentes a estes compostos. Neste contexto, a Terra Diatomácea destaca-se no controle de pragas de grãos armazenados. Em vista disto, o objetivo foi investigar se há diferença entre populações brasileiras de *S. zeamais* na sua capacidade de resistência à Terra Diatomácea associada a alguma característica comportamental de locomoção e a eficiência de controle de *S. zeamais*. Foram utilizadas quatro populações de *S. zeamais* provenientes dos estados do Distrito Federal (DF), Minas Gerais (MG) e Pernambuco (PE). O bioensaio eficiência de controle foi estruturado em um fatorial (3 doses de Terra Diatomácea x 3 tempos de exposição) com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por dez insetos adultos, colocados em placas de Petri contendo milho tratado com Terra Diatomácea. Foi contabilizado o número de insetos vivos por repetição após 24, 48 e 72 horas de exposição a Terra Diatomácea. O bioensaio comportamental foi estruturado em um fatorial (4 populações x 3 doses de Terra Diatomácea), onde cada repetição foi constituída por um único inseto alojado em placa de Petri. O movimento dos insetos foi gravado e seu comportamento locomotor foi observado durante dez minutos. As variáveis testadas foram distância percorrida (cm), velocidade de caminamento ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$), tempo em movimento (s), e número de paradas. O tempo de exposição de 72 h e a dose de 1000 g/t foram os que proporcionaram um menor número de insetos vivos nas populações de São João-PE, Brasília-DF e Sete Lagoas-MG. Para esta, a eficiência de controle foi de 60%. A distância percorrida pelos insetos tendeu a diminuir com o aumento das doses para as populações de São João-PE e Sete Lagoas-MG, no entanto, para a população de Garanhuns-PE não houve efeito significativo para nenhuma das variáveis analisadas. Dessa forma, observou-se uma mortalidade crescente de insetos de *S. zeamais* com o incremento das doses, no entanto, o tempo de exposição à Terra Diatomácea foi insuficiente para causar mortalidade e eficiência de 100%. A população de São João-PE mostrou uma diminuição da distância percorrida e do número de paradas com o incremento das doses.

Palavras-chave: gorgulho-do-milho, controle alternativo, armazenamento

ABSTRACT

Sitophilus zeamais is one of the most important pests of maize stored in Brazil. His control is done by insecticides, however, the country faces serious problems associated with the development of populations resistant to these compounds. In this context, Diatomaceous Earth stands in the control of stored grain pests. In view of this, the objective was to investigate whether there are differences between Brazilian populations of *S. zeamais* in its Diatomaceous Earth resistance capacity associated with some behavioral characteristics of locomotion and of *S. zeamais* control efficiency. We used four populations of *S. zeamais* from the states of the Federal District (DF), Minas Gerais (MG) and Pernambuco (PE). The bioassay control efficiency was structured in a factorial (3 doses of Diatomaceous Earth x 3 exposure times) with four replications. Each repetition was constituted by ten adult insects, placed in Petri dishes containing corn treated with diatomaceous earth. The number of live insects by repetition after 24, 48 and 72 hours of exposure to Diatomaceous Earth. The behavioral bioassay was structured in a factorial (4 people x 3 doses of Diatomaceous Earth), where each repetition consisted of a single insect housed in the Petri dish. The movement of the insects was recorded and their locomotor behavior was observed for ten minutes. The tested variables were distance (cm) traversal velocity (cm. S-1), moving time (s) and number of stops. The exposure time of 72 h and a dose of 1000 g/t were those that provided fewer insects living in the populations of São João-PE, Brasília-DF and Sete Lagoas-MG. For this, the control efficiency was 60%. The distance traveled by the insects tended to decrease with increasing doses to the population of São João-PE and Sete Lagoas-MG, however, for the people of Garanhuns-PE no significant effect on any of the variables. Like this, there was an increased mortality of insects *S. zeamais* with increasing doses, however, the exposure time Diatomaceous Earth was insufficient to cause mortality and 100% efficiency. The population of São João-PE showed a decrease in distance traveled and number of stops with increasing doses.

Keywords: maize weevil, alternative control, storage

INTRODUÇÃO

Os insetos-praga de grãos armazenados são responsáveis por perdas econômicas consideráveis, tanto quantitativas, quanto qualitativas (BRAGA et al., 2010; SOUSA et al., 2013). O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), é uma das principais pragas de grãos armazenados (REES, 1996; ADDA et al., 2002;), no Brasil se destaca como a mais importante praga do milho (GUEDES, 1991; FARONI, 1992). É um inseto-praga cosmopolita (SOUSA et al., 2012) e abundante em regiões tropicais onde o problema é notadamente mais acentuado, em razão das condições climáticas mais quentes serem determinantes na prevalência do gorgulho-do-milho no país (CORRÊA et al., 2013; NUKENINE et al., 2013).

O controle químico é o método mais empregado para proteção dos grãos armazenados contra o ataque de pragas, sendo realizado através do uso de piretróides, organofosforados e fumigantes em geral (RIBEIRO et al., 2007; ANTUNES et al., 2013). Porém, seu uso indiscriminado acarreta falhas de controle e desencadeia uma série de outros problemas, como contaminação do ambiente e de alimentos, e a resistência dos insetos a inseticidas (PINTO JUNIOR et al., 2010; SILVA et al., 2013). Haddi et al. (2015) afirmam que o controle de pragas de grãos armazenados no Brasil enfrenta sérios problemas de resistência de insetos, ao observar que, em 13 populações de *S. zeamais*, algumas já apresentavam níveis muito elevados de resistência ao inseticida testado. Semelhantemente, Corrêa et al. (2011) observaram que as populações brasileiras de *S. zeamais* testadas já apresentavam níveis de resistência a mistura inseticida esfenvalerato + fenitrotiona registrado recentemente no país, semelhante àqueles encontrados para piretróides.

A resistência de insetos-praga pode ser causada por mecanismos fisiológicos, ou comportamentais. Na resistência comportamental o inseto é capaz de reconhecer determinada toxina devido a efeitos irritantes e repelentes dos inseticidas, e alterar seu comportamento a fim de evitar o local (GEORGHIOU, 1972). Existem ainda respostas diferentes entre populações brasileiras de *S. zeamais* na sua capacidade de resistência associada a alguma característica comportamental. Guedes et al. (2009) afirmam que padrões comportamentais de resposta ao inseticida é consequência da composição genética das populações. Braga et al. (2011) observaram que algumas populações *S.*

zeamais, apresentaram níveis mais baixos de locomoção o que segundo os autores minimizaria a exposição ao inseticida. Morales et al. (2013) ao explorar grupos de comportamentos tais como, os relacionados a locomoção, relevantes à sobrevivência do inseto ao inseticida testado, observaram que os insetos com maior mobilidade parecem fugir da exposição ao inseticida.

Há muitos trabalhos sobre o comportamento de *S. zeamais* particularmente nas interações com inseticidas. No entanto, esforços têm sido constantemente empregados na busca de métodos alternativos ao controle químico que sejam eficientes. Neste contexto, a Terra Diatomácea destaca-se no controle de pragas de grãos armazenados (CONCEIÇÃO et al., 2012; MARSARO JÚNIOR et al., 2013; JAIROCE et al., 2016).

Diante do exposto, buscou-se investigar se há diferença entre as populações brasileiras de *S. zeamais* na sua capacidade de resistência à Terra Diatomácea associada a alguma característica comportamental de locomoção e a eficiência de controle de *S. zeamais*.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Populações de *S. zeamais*

Para condução dos bioensaios foram utilizadas quatro populações de *S. zeamais* provenientes de diferentes localidades dos estados do Distrito Federal (DF), Minas Gerais (MG) e Pernambuco (PE) (Tabela 1). A população de Sete Lagoas (MG) é proveniente da Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo (CNPMS) e vem sendo mantida em laboratório sem exposição a inseticidas desde 1985. As demais populações foram coletadas entre os anos de 2013-2015 em locais de armazenamento de grãos onde o método de controle utilizado é o químico com a utilização de inseticidas dos grupos dos piretróides e organofosforados.

Tabela 1. Procedência das populações de *S. zeamais*

Código	Cidade	Estado	Local de coleta	Produto	Data de coleta
1	Garanhuns	PE	Silo metálico	Milho seco	Janeiro/2014
2	São João	PE	Paiol	Milho seco	Agosto/2013
3	Brasília	DF	Silo metálico	Milho seco	Outubro/2015
4	Sete Lagoas	MG	Laboratório	Milho seco	-

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

Cada população foi criada e multiplicada a partir de 50 adultos de *S. zeamais*, em frascos de vidro de 0,5 L, com a tampa perfurada e coberta com tecido organza, mantidos em câmara climática tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), sob condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa (60 ± 5 % UR) e fotofase de 12 horas. O milho utilizado como substrato para manutenção das populações era isento de pragas e de resíduos de inseticidas, o qual foi renovado quinzenalmente. As populações foram mantidas por algumas gerações, no Laboratório de Entomologia Aplicada da Central de Laboratórios de Garanhuns (CENLAG) da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), até o início dos bioensaios. Para padronizar as condições de expressão dos comportamentos dos insetos, foram utilizados insetos adultos de 5 a 10 dias de emergência.

2.3. Terra Diatomácea

O produto à base de Terra Diatomácea contém 86% de dióxido de silício (867 g/Kg) e foi adquirido da empresa Bernardo Química, São Vicente-SP (INSECTO®). Os grãos de milho foram tratados com três dosagens de Terra Diatomácea: na dose recomendada 1000 g/t, na sub-dose de 500 g/t e na dose 0 g/t (controle) que constou de grãos sem tratamento, ou seja, livres de Terra Diatomácea.

2.4. Bioensaio eficiência de controle

O experimento foi delineado inteiramente ao acaso (DIC) e estruturado em um fatorial (3 doses de Terra Diatomácea x 3 tempos de exposição) com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por dez insetos adultos, não-sexados, colocados em unidades experimentais que consistiam em placas de Petri (9,0 cm diâmetro) cujas paredes foram revestidas com Teflon® PTFE (Dupont, São Paulo, Brasil) para impedir a fuga dos insetos. Em cada unidade experimental foi adicionado 20 g de grãos de milho, com teor de umidade de 13%, que foram misturados e agitados manualmente durante 2 minutos de modo que a distribuição da Terra Diatomácea pelo grão fosse de forma homogênea. As placas de Petri foram mantidas em câmara climática tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), sob condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa (60 ± 5 % UR) e fotofase de 12 horas.

Foi contabilizado o número de insetos vivos por repetição após 24, 48 e 72 horas de exposição a Terra Diatomácea. Com o objetivo de padronizar as avaliações, os insetos eram considerados mortos quando não respondiam a estímulos provocados pelas cerdas de um pincel de ponta fina, decorridos 60 segundos. As porcentagens de eficiência de controle (Ec %) foram calculadas pela fórmula adaptada da equação de Abbott (1925):

Onde:

$$(Ec\%) = \frac{(\text{Test.} - \text{Trat.})}{\text{Test.}} \times 100$$

Test. - número de insetos vivos no controle; e Trat. - número de insetos vivos no tratamento.

2.5. Bioensaio comportamental

Os bioensaios comportamentais foram realizados em conformidade com os métodos adaptados de Guedes et al. (2009), Pereira et al. (2009) e Pimentel et al. (2012). Insetos adultos, não-sexados, foram previamente colocados em recipientes contendo 20 g de grãos de milho tratados com as diferentes dosagens de Terra Diatomácea onde permaneceram por um período 24 horas, neste mesmo período foi observado que não houve mortalidade de insetos através do bioensaio eficiência de controle.

Logo após os insetos foram alojados individualmente, em arenas formadas por placas de Petri (9,0 cm diâmetro) cujas paredes foram revestidas com Teflon PTFE (Dupont, São Paulo, Brasil) para impedir a fuga de insetos. O movimento dos insetos foi gravado por uma câmera de vídeo acoplada a um computador (View Point Life Sciences Inc., Montreal - Canadá) e seu comportamento locomotor foi observado durante dez minutos. Os parâmetros comportamentais avaliados foram: distância percorrida (cm), velocidade de caminamento ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$), tempo em movimento (s) e número de paradas na arena.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 18 repetições, sendo estruturado em um esquema fatorial (4 populações x 3 doses de Terra Diatomácea), onde cada repetição foi constituída de um único inseto para cada dose aplicada nas quatro populações. A cada repetição, a arena foi substituída por outra previamente limpa.

2.6. Análises Estatísticas

Para o bioensaio eficiência de controle os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas teste de Tukey HSD, a 5 % de probabilidade utilizando-se o procedimento PROC GLM (SAS Institute, 2002). As percentagens de controle foram calculadas pela fórmula adaptada de Abbott (1925).

Para o bioensaio comportamental, os dados foram submetidos à análise de variância múltipla (MANOVA), e simples (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey HSD a 5 % de probabilidade utilizando-se o procedimento PROC GLM (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS

3.1. Bioensaio Eficiência de controle

De acordo com a Tabela 2, observa-se, por meio da análise de variância dos dados, o efeito significativo das doses de Terra Diatomácea, do tempo de exposição e da interação entre esses dois fatores no número de adultos vivos de diferentes populações de *S. zeamais*.

Conforme observado, para todas as populações estudadas não houve diferença significativa no tempo de exposição de 24h em relação às doses de Terra Diatomácea. Após 48h de exposição dos insetos de *S. zeamais* às doses de Terra Diatomácea, foi possível observar que a população de Brasília-DF, não apresentou diferença significativa no número de insetos vivos para as diferentes doses estudadas. Para a população de São João-PE a dose de 1000 g/t, proporcionou um menor número de insetos vivos, em relação as demais doses estudadas, apresentando valores na ordem de 8,0 e uma eficiência de controle de 20%. Na mesma dose a população de Sete Lagoas-MG apresentou um número de insetos vivos na ordem de 7,5 e uma eficiência de controle em torno de 25%. A eficiência média de controle de *S. zeamais* na dose de 500 g/t foi de 8,75% e de 18,25% na dose de 1000 g/t, no tempo de exposição de 48h.

No tempo de exposição de 72 h as populações de São João-PE, Brasília-DF e Sete Lagoas-MG apresentaram um padrão semelhante de resposta às doses de Terra Diatomácea utilizadas, ou seja, a dose de 1000 g/t foi a que proporcionou um menor número de insetos vivos diferindo estatisticamente das demais (500 g/t e 0 g/t), apresentando valores na ordem de 5,2; 5,5; e 4,0 respectivamente em comparação a dose 0 g/t (controle), onde não houve morte de insetos de *S. zeamais*. Em relação a eficiência de controle da Terra diatomácea, o tempo de exposição de 72h e a dose de 1000 g/t foram os que proporcionaram uma maior eficiência com valores na ordem de 35%; 48%; 45% e 60% respectivamente para as populações de Garanhuns-PE; de São João-PE; Brasília-DF e Sete Lagoas-MG, alcançando uma eficiência de controle de 36% em média.

Ainda é possível observar que dentro de cada dose em relação ao tempo de exposição, as populações de Garanhuns-PE e São João-PE apresentaram um padrão semelhante, ou seja, começaram a apresentar mortalidade de insetos após 48h de

exposição ao produto apenas para a dose de 1000g/t. já para a população de Sete-Lagoas-MG o efeito das dose de Terra Diatomácea no número de insetos vivos foi aparente a partir de 48h de exposição para as doses de 500 e 1000g/t diferindo significativamente para as mesmas doses no tempo de exposição de 72h.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das populações de *S. zeamais* expostas às doses de Terra Diatomácea nos tempos de exposição de 24, 48 e 72h após a aplicação do produto.

Fonte de variação	Garanhuns		São João		Brasília		Sete Lagoas	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Dose	23,15	0,0000	32,82	0,0000	16,36	0,0000	50,28	0,0000
Tempo	14,84	0,0000	42,00	0,0000	18,24	0,0000	71,35	0,0000
Dose x Tempo	10,46	0,0000	12,84	0,0000	6,052	0,0013*	18,96	0,0000

* Os parâmetros foram significativos a $P < 0.05$ pelo teste Tukey (HDS).

Tabela 3. Número (N) (\pm EPM) de adultos vivos e eficiência de controle (Ec%) de diferentes populações de *S. zeamais* avaliados, em função do tempo de exposição dos insetos (24, 48 e 72 horas) às doses de Terra Diatomácea (500 e 1.000 g/t) e controle (0 g/t). ($25 \pm 5^\circ$ C; $60 \pm 5\%$ UR e fotofase de 12 horas) (N = 10).

População	Tempo de exposição de <i>S. zeamais</i> após aplicação da Terra Diatomácea							CV%**
	Dose (g/t)	24h	Ec%	48h	Ec%	72h	Ec%	
Garanhuns	0	10,0 Aa *		10,0 Aa		10,0 Aa		
	500	10,0 \pm 0,0 Aa	0	9,5 \pm 0,28 ABa	5	9,5 \pm 0,5 Aa	5	6,42
	1000	10,0 \pm 0,0 Aa	0	8,7 \pm 0,25 Bb	13	6,5 \pm 0,64 Bc	35	
São João	0	10,0Aa		10,0 Aa		10,0 Aa		
	500	10,0 \pm 0,0 Aa	0	9,5 \pm 0,28 Aa	5	7,2 \pm 0,47 Bb	28	7,65
	1000	10,0 \pm 0,0 Aa	0	8,0 \pm 0,40 Bb	20	5,2 \pm 0,75 Cc	48	
Brasília	0	10,0 Aa		10,0 Aa		10,0 Aa		
	500	10,0 \pm 0,0 Aa	0	9,0 \pm 0,40 Aab	10	7,7 \pm 0,25 Bb	23	9,98
	1000	10,0 \pm 0,0 Aa	0	8,5 \pm 0,28 Aa	15	5,5 \pm 1,19 Cb	45	
Sete Lagoas	0	10,0 Aa		10,0 Aa		10,0 Aa		
	500	10,0 \pm 0,0 Aa	0	8,5 \pm 0,28 Bb	15	5,5 \pm 1,19 Bc	45	8,64
	1000	10,0 \pm 0,0 Aa	0	7,5 \pm 0,62 Bb	25	4,0 \pm 0,40 Cc	60	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (HSD) a 5% de probabilidade.

**C.V. = coeficiente de variação a 95% de probabilidade.

3.2. Bioensaio comportamental

Através da MANOVA, foi observado que o comportamento locomotor de *S. zeamais*, foi influenciado significativamente pelas doses de Terra Diatomácea (Wilks' Lambda=0,72 G.L. num/den =8402; F=8,77; $P < 0,001$); porém não houve efeito significativo entre as populações de *S. zeamais* (Wilks' Lambda=0,92 G.L. num/den=12532,09; F=1,40; $P < 0,1618$). Adicionalmente, observou-se interação significativa entre estes dois fatores (Wilks' Lambda = 0,72 G.L. num/den= 24702,42; F = 2,78; $P < 0,001$).

Estes resultados são apresentados na Tabela 4, onde se observa, por meio do resumo da análise de variância dos dados, que a distância percorrida (cm), e o número de paradas de *S. zeamais* variaram significativamente entre as doses de Terra Diatomácea, e que a interação entre as populações estudadas e as doses de Terra Diatomácea foi significativa para as características avaliadas. Já para a velocidade de caminhada (cm.s^{-1}) e o tempo em movimento (s) não houve interação significativa entre as doses nem entre as populações de *S. zeamais* estudadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância da distância percorrida (cm), velocidade de caminhada (cm.s^{-1}), tempo em movimento (s) e número de paradas de insetos das populações de *S. zeamais* expostas às doses de Terra Diatomácea.

Fonte de variação	Distância		Velocidade		Tempo movimento		N° paradas	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Dose	17,84	0,0001	1,01	0,3659	0,12	0,8884	5,25	0,0060
População (Pop.)	2,18	0,0910	0,10	0,9615	0,57	0,6347	0,20	0,8935
Dose x Pop.	2,50	0,0236*	1,50	0,1808	1,38	0,2249	5,68	0,0001

* Os parâmetros foram significativos a $P < 0,05$ pelo teste Tukey (HDS).

Observou-se que a distância percorrida (cm) pelos insetos de *S. zeamais* tendeu a diminuir com o aumento das doses de Terra Diatomácea sendo estatisticamente maior no controle e menor na dose de 1000 g/t para as populações de São João-PE e de Sete Lagoas-MG. Porém, para as populações de Garanhuns-PE e Brasília-DF não houve efeito das doses para esta variável (Figura 1). Esse resultado é confirmado através da observação do padrão de comportamento locomotor apresentado pelas diferentes populações de *S. zeamais* frente às doses de Terra Diatomácea utilizadas (Figura 3). Quando comparadas as quatro populações de *S. zeamais* em cada uma das doses de Terra Diatomácea, observou-se que a distância percorrida (cm) pela população de São João-PE foi maior que as demais e diferiu significativamente na dose 0 g/t (controle), alcançando valores na ordem de 219,22 cm percorridos, enquanto que, as populações de Garanhuns-PE e Brasília-DF e Sete Lagoas-MG percorreram em média 155,40 cm. Porém nas doses de 500 e 1000 g/t para nenhuma das populações estudadas foi observado essa diferença (Figura 1).

Em relação a variável número de paradas, a dose de 500 g/t foi a que proporcionou um maior valor para a população de Brasília-DF na ordem de 236,16 paradas na arena, enquanto que na dose 0 g/t (controle) esse valor foi de apenas 75,94 paradas (Figura 2). No entanto, para a população de São João-PE a mesma dose proporcionou um resultado contrário, ou seja, um menor número de paradas na ordem de 108,22 diferindo significativamente da dose 0 g/t (controle) com 208,11 paradas na arena. Somente para a população de Garanhuns-PE novamente não foi observado diferença significativa para nenhuma das doses de Terra Diatomácea (Figura 2).

Ainda é possível observar que as populações de Brasília-DF e sete Lagoas-MG foram as que apresentaram um menor número de paradas na dose de 0 g/t (controle) na ordem de 81,69 em média. Enquanto que, para as mesmas populações o incremento da dose de 500 g/t proporcionou um aumento do número de paradas na ordem de 235,13 em média (Figura 2).

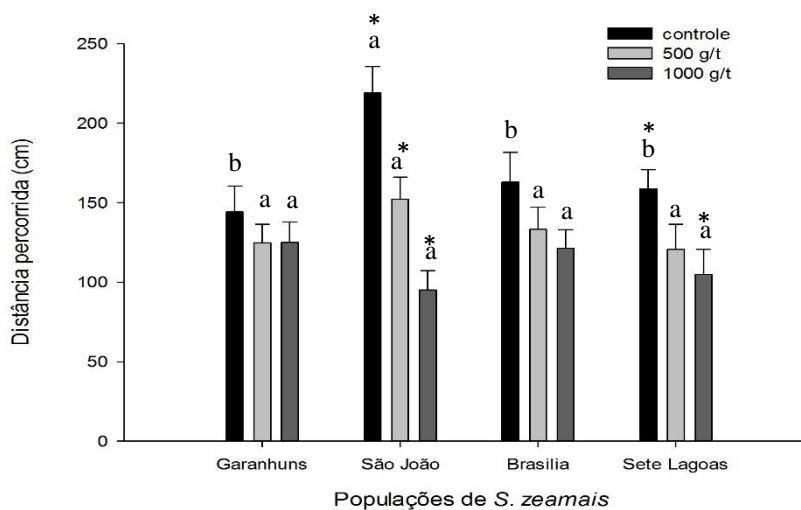


Figura 1. Distância percorrida (cm) dos indivíduos das populações de *S. zeamais*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre as populações e médias que apresentam asteriscos diferem entre as doses de Terra Diatomácea na mesma população pelo teste de Tukey (HSD) a 5% de probabilidade.

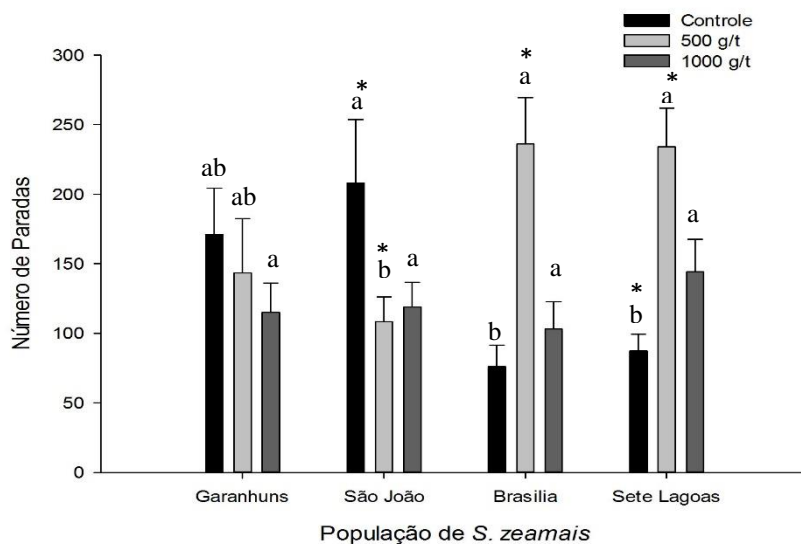


Figura 2. Número de paradas dos indivíduos das populações de *S. zeamais*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre as populações e médias que apresentam asteriscos diferem entre as doses de Terra Diatomácea na mesma população pelo teste de Tukey (HSD) a 5% de probabilidade.

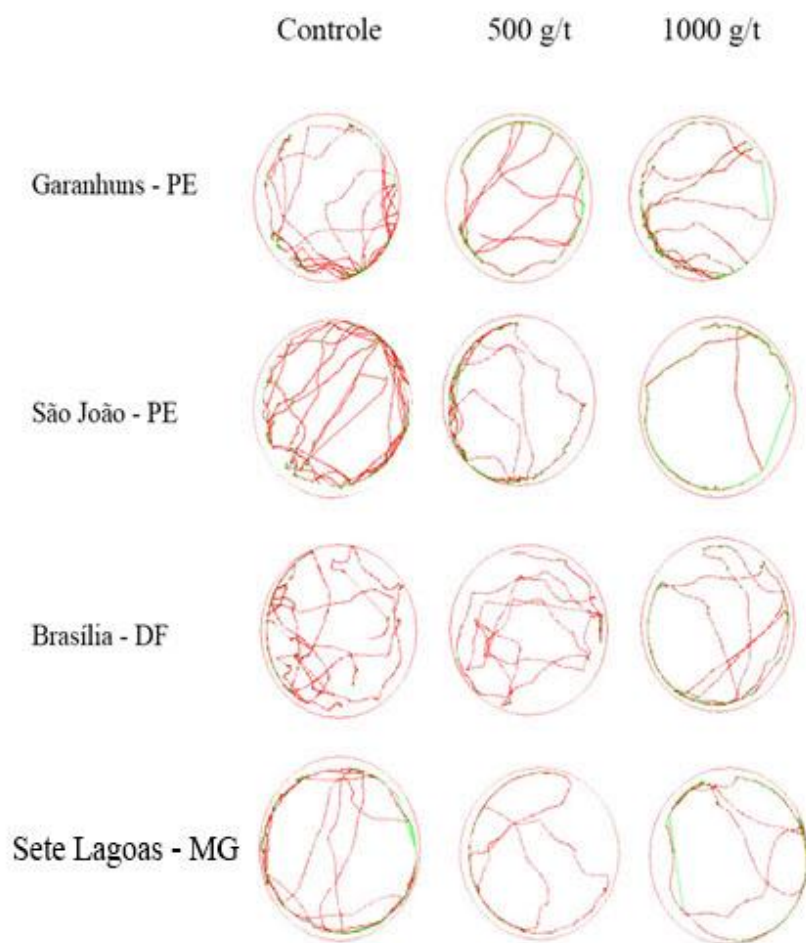


Figura 3. Caminhamento de indivíduos de quatro populações de *S. zeamais* submetidos a Terra Diatomácea em arenas por um período de 10 minutos.

DISCUSSÃO

No presente estudo, foi possível observar que independente das doses de Terra Diatomácea, o tempo de exposição de 24h não foi suficiente para causar mortalidade nas diferentes populações de *S. Zeamais* (Tabela 3). Fields et al. (2003) avaliando a eficácia da Terra Diatomácea em culturas laboratoriais de *Sitophilus oryzae* sugeriram a padronização dos testes, no qual, a avaliação da mortalidade deveria ser realizada entre 7 e 14 dias, em condições de laboratório de 25 °C e 60% UR. Wine et al. (2015) avaliaram a mortalidade de *S. zeamais* nas doses de 500 e 1000 g/t de Terra Diatomácea nas mesmas condições laboratoriais e aos de 7 dias obtiveram uma mortalidade de 69% e 100% respectivamente.

Neste estudo o número de insetos vivos foi contabilizado nos períodos de 24, 48 e 72h nas mesmas condições de umidade relativa e temperatura. Sendo que, somente após 48h foi possível observar mortalidade de insetos nas diferentes doses testadas, exceto para a população de Brasília-PE que apenas apresentou mortalidade após 72h de exposição. A eficiência média de controle de *S. zeamais* foi de 13,5% em 48h e de 36% em 72h, alcançando um valor de 60% na população de Sete Lagoas-MG com a dose de 1000 g/t de Terra Diatomácea seguida pela população de São João-PE com 48% após 72h de exposição de *S. zeamais* (Tabela 3).

Baldassari & Martini (2014) também observaram uma baixa eficiência de controle da Terra Diatomácea após 48h de exposição dos insetos de *S. oryzae* às doses de 500 e 1000 g/t obtendo valores na ordem de 3% e 13,33%, e com o incremento do tempo de exposição a eficiência de controle subiu para 88% e 98% respectivamente. No entanto, Marsaro júnior et al. (2013) observaram no segundo dia após o tratamento com Terra Diatomácea, uma mortalidade de 95% na dose de 1000 g/t, apresentando uma alta eficiência de controle de *Callosobruchus maculatus* em um curto espaço de tempo.

É possível notar a influência do tempo de exposição às doses de Terra Diatomácea na mortalidade dos insetos de *S. Zeamais*, houve a interação entre estes dois fatores (Tabela 3). Neste estudo, as populações de São João-PE, Brasília-DF e Sete Lagoas-MG apresentaram um padrão semelhante de resposta às doses de Terra Diatomácea, sendo a dose de 1000 g/t a que proporcionou um menor número de insetos vivos diferindo estatisticamente das demais (500 g/t e 0 g/t) num período de 72h (Tabela 3). Corroborando

estes resultados Pinto júnior et al. (2005) observaram que, a dose mais elevada de Terra Diatomácea (1000 g/t) proporcionou maiores índices de mortalidade em menor espaço de tempo.

Segundo Marsaro júnior et al. (2008), esse fato está relacionado com o modo de ação da Terra Diatomácea sobre o inseto, pois, em altas dosagens, a adsorção e a abrasividade causadas pela Terra Diatomácea ocorrem mais rapidamente, causando a morte num curto intervalo de tempo. É possível observar na Figura 4 a diferença da quantidade de partículas de Terra Diatomácea aderidas ao corpo de *S. zeamais*. Isso poderia explicar a diferença na resposta dos insetos testados em relação às doses de Terra Diatomácea utilizadas neste estudo.

Através de mecanismos físicos, as partículas da Terra Diatomácea se aderem ao corpo do inseto causando a remoção da camada de cera da cutícula, a qual é adsorvida pelas partículas de sílica, ocasionando a formação de pequenos canais para a evaporação de água (KORUNIC, 1998; BALDASSARI & MARTINI 2014). Segundo Subramanyam et al. (1998) o tempo de exposição à Terra Diatomácea influencia a taxa de perda de água promovendo assim a dessecação dos insetos. No presente estudo, somente a partir de 48 h de exposição às doses de Terra Diatomácea foi possível observar mortalidade de insetos nas diferentes populações de *S. zeamais* estudadas. Esse fato deve estar provavelmente relacionado a perda de água dos corpos dos insetos. Ebeling (1971) afirma que os insetos morrem quando perdem aproximadamente 60% de sua água ou 30% do peso corpóreo total. Ainda, segundo Malia et al. (2016) quando insetos de *S. zeamais* são tratados com Terra Diatomácea a redução no conteúdo de água (aumento na perda) é mais acentuada e mais rápida, sendo que os primeiros dias são os mais críticos a perda de água.



Figura 4. Efeito das doses de Terra Diatomácea misturada com grãos de milho na cutícula de *S. zeamais*. (A) dose 1000 g/t e (B) dose de 500 g/t.

Em relação ao comportamento locomotor das diferentes populações de *S. zeamais*, é possível observar a influência das doses de Terra Diatomácea na distância percorrida (cm) e o número de paradas dos insetos na arena, os quais variaram significativamente (Tabela 4). Dessa forma, observou-se que a distância percorrida pelos insetos de *S. zeamais* tendeu a diminuir com o aumento das doses de Terra Diatomácea, e que essas respostas diferiram entre as populações estudadas. De acordo com Haynes (1988), o comportamento locomotor dos insetos pode ser afetado por alguns compostos químicos os quais podem estimular ou até mesmo reduzir a mobilidade dos insetos.

Neste estudo foi observado que, as populações de São João-PE e Sete Lagoas-MG, apresentaram uma menor distância percorrida na maior dose de Terra Diatomácea (1000 g/t) utilizada. Braga et al. (2011) ao estudar a resposta comportamental de insetos de *S. zeamais* submetidos ao tratamento com fenitrothion, observaram que algumas populações apresentaram níveis mais baixos de locomoção o que segundo os autores minimizaria a exposição ao inseticida. Outros autores também constataram uma diminuição da atividade locomotora pelos insetos afim de evitar ou diminuir o contato com o inseticida (BECKEL et al., 2004; GUEDES et al., 2008).

O efeito das doses de Terra Diatomácea não provocou diferença significativa na distância percorrida e no número de paradas para a população de Garanhuns-PE (Figura 1 e 2). Corroborando com esse resultado, Guedes et al. (2009) observaram que o comportamento locomotor apresentado por populações de *S. zeamais* foi independente dos estímulos das doses do inseticida testado, afirmando que padrões comportamentais de resposta ao inseticida, é variável entre as populações. Essa variação interpopulacional deve ser causada por diferenças nos processos sensoriais dos insetos levando à evolução de resistência comportamental a inseticidas (HAYNES, 1988; DESNEUX et al., 2007). Na resistência comportamental os insetos alteram seu comportamento afim de evitar áreas tratadas devido a efeitos irritantes e repelentes do composto químico (GEORGHIOU, 1972; NANSEN et al., 2016). Corrêa et al. (2011) confirmaram a existência de resistência comportamental em populações de *S. zeamais* ao observarem que o comportamento de caminhar em arenas tratadas com inseticidas foi variável entre as populações.

Em relação a variável número de paradas a população de São João-PE, apresentou um maior número de paradas na dose 0 g/t (controle) que diminuiu com o incremento da dose de Terra Diatomácea. Esta mesma população apresentou uma menor distância

percorrida com o aumento das doses de Terra Diatomácea. Watson & Barson, (1996) afirmam que, as chances de sobrevivência dos insetos podem ser aumentadas se seu comportamento locomotor for alterado, a fim de proporcionar escape aos efeitos deletérios dos compostos químicos. Dessa forma, a redução na locomoção pode abreviar a exposição e conseqüentemente o contato dos insetos com o composto químico (MORALES et al., 2013).

Esse fato tem implicância direta com a possível diminuição da eficiência de controle da Terra Diatomácea, pois, além da ação inseticida a Terra Diatomácea apresenta um efeito irritante e repelente. Diante disso, Korunic (1998) relacionou a ação repelente dos pós-inertes de modo geral a concentração aplicada. Sendo assim, falhas no controle de *S. zeamais* podem ocorrer caso a Terra Diatomácea não seja aplicada de forma uniforme na massa de grãos, pois, os insetos poderão se concentrar em grãos que tenham uma menor concentração do produto (MOHAN & FIELDS 2002).

Considerando os resultados obtidos neste estudo, é possível inferir que o uso da Terra Diatomácea para tratamento dos grãos de milho é uma alternativa eficiente para o manejo de *S. zeamais*, a qual poderá diminuir os prejuízos advindos das falhas de controle desta importante praga de grãos armazenados.

CONCLUSÕES

- Independente das doses de Terra Diatomácea utilizadas, o tempo de exposição de 24h não foi suficiente para causar mortalidade nas diferentes populações de *S. zeamais*;
- O tempo de exposição de *S. zeamais* às doses de Terra Diatomácea foi insuficiente para causar mortalidade e eficiência de 100%.
- Após 72h de exposição, a eficiência de controle foi de 60% na dose de 1000 g/t de Terra Diatomácea.
- A população de São João-PE mostrou uma diminuição da distância percorrida e do número de paradas com o incremento das doses de Terra Diatomácea.
- A população de Garanhuns-PE não mostrou efeito significativo para estas variáveis analisadas. Sugerindo a existência de resistência comportamental em populações de *S. zeamais* estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 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, n. 1-3, p. 305-321, 2002.
- ANTUNES, L. E. G.; FERRARI FILHO, E. F.; GOTTARDI, R.; SANT'ANA, J.; DIONELLO, R. G. Efeito da dose e exposição à terra de diatomácea de diferentes insetos em milho armazenado. **Arquivo do Instituto Biológico**, v. 80, n. 2, p. 169-176, 2013.
- BALDASSARI, N.; MARTINI, A. The efficacy of two diatomaceous earths on the mortality of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae*. **Bulletin of Insectology**, v.67, n.1, p. 51-55, 2014.
- BRAGA, L. S.; CORRÊA, A. S.; PERREIRA, E. J. G.; GUEDES, R. N. C. Face or flee? Fenitrothion resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 3, p. 161-167, 2011.
- BRAGA, B. M.; ROSSI, M. M.; PINTO, A. S. Perdas ocasionadas por *Sitophilus* spp., em genótipos comerciais de milho, em condições de laboratório. **Nucleus**, v. 7, n. 1, p. 233-242, 2010.
- BECKEL, H.; LORINI, I.; LÁZZARI, S.M.N. Comportamento de adultos de diferentes raças de *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) em superfície tratada com deltamethrin. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.48, p.115-118, 2004.
- CONCEIÇÃO, P. M.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H.; PIMENTEL, M. A. G.; FREITAS, R. S. Diatomaceous earth effects on weevils with different susceptibility standard to phosphine. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 3, p. 303–307, 2012.

- CORRÊA, A. S.; OLIVEIRA, L. O.; BRAGA, L. S.; GUEDES, R. N. C. Distribution of the related weevil species *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* in Brazil. **Insect Science**, v. 20, n. 6, p. 763 -770, 2013.
- CORRÊA, A. S.; PEREIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; BRAGA, L. S.; GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, mixture potentiation and fitness in populations of the maize weevil (*Sitophilus zeamais*). **Crop Protection**, v. 30, p. 1655-1666, 2011.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 181-206, 2007.
- EBELING, W. Sorptive Dusts for Pest Control. **Annual Review of Entomology**, v. 16, n. 1, p. 123-158, 1971.
- FARONI, L. R. A. Manejo das pragas de grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 76, p. 36-43, 1992.
- FIELDS, P. G.; ALLEN, S.; KORUNIC, Z.; MCLAUGHLIN, A.; STATERS, T. Standardized testing for diatomaceous earth. In: Proceedings 8th International Working Conference of Stored Product Protection, York, U.K. p. 779-784, 2003.
- GEORGHIOU, G.P. The evolution of resistance to pesticides. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 3, n. 1, p. 133-168, 1972.
- GUEDES, R. N. C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 15-16, n. 1-2, p. 3-48, 1991.
- 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. **Bulletin of Entomological Research**, v.99, n.4, p.393-400, 2009.
- GUEDES, R. N. C.; CAMPBELL, J. F.; ARTHUR, F. H.; OPIT, G. P.; ZHU, K. Y.; THRONE, J. E. Acute lethal and behavioral sublethal responses of two storedproduct psocids to surface insecticides. **Pest Management Science**, v. 64, p.1314-1322. 2008.
- HADDI, K.; MENDONCA, L. P.; SANTOS, M. F.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E. Metabolic and Behavioral Mechanisms of Indoxacarb Resistance in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 362-369, 2015.

- HAYNES, K.F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. **Annual Review of Entomology**, v. 33, n. 1, p. 149-168, 1988.
- JAIROCE, C. F.; TEIXEIRA, C. M.; NUNES, A. M.; HOLDEFER, D. R.; KRÜGER, A. P.; GARCIA, F. R. M. Efficiency of inert mineral dusts in the control of corn weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 158-162, 2016.
- KORUNIC, Z. Review Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, n. 2, p. 87-97, 1998.
- MALIA, H. A. E.; ROSI-DENADAI, C. A.; GUEDES, N. M. P.; MARTINS, G. F.; GUEDES, R. N. G. Diatomaceous earth impairment of water balance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Pest Science**, p. 1-10, 2016.
- MARSARO JÚNIOR, A. L.; MOURÃO JÚNIOR, M.; MELO, A. E. B.; BARRETO, H. C. S.; PAIVA, W. R. S. C. Eficiência da terra de diatomácea no controle de *Plodia interpunctella* em milho armazenado. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 39-44, 2008.
- MARSARO JÚNIOR, A. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M.; PEREIRA, P. R. V. S. Eficiência da terra de diatomácea no controle de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em feijão-caupi armazenado. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, Supl. 2, p. S13-S18, 2013.
- MOHAN, S.; FIELDS, P. G. A simple technique to assess compounds that are repellent or attractive to stored product insects. **Journal of Stored Products Research**, v. 38, p. 23–31, 2002.
- MORALES, J. A., CARDOSO, D. G., DELLA LUCIA, T. M. C., GUEDES, R. N. C. Weevil x insecticide: does ‘personality’ matter? **PLoS One**, v. 8, n. 6, p. 1-12, 2013.
- NANSEN, C.; BAISSAC, O.; NANSEN, M.; POWIS, K.; BAKER, G. Behavioral Avoidance - Will Physiological Insecticide Resistance Level of Insect Strains Affect Their Oviposition and Movement Responses? **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1-12, 2016.
- NUKENINE, E. N.; CHOUKA, F. P.; VABI, M. B.; REICHMUTH, C.; ADLER, C. Comparative toxicity of four local botanical powders to *Sitophilus Zeamais* and influence of drying regime and particle size on insecticidal efficacy, **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 7, n. 3, p. 1313-1325, 2013.

- PEREIRA, C. J.; PEREIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; DELLA LUCIA, T. M. C. DELIA.;TÓTOLA, M. R.; GUEDES, R. N. C. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. **Crop Protection**, v. 28, n. 2, p. 168–173, 2009.
- PIMENTEL, M.G.A.; FARONI, L.R.A.; CORRÊA, A.S.; GUEDES, R.N.C. Phosphine-induced walking response of the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*). **Pest Management Science**, v. 68, n. 10, p. 1368–1373, 2012.
- PINTO JUNIOR, A. R.; LAZZARI, F.A.; LAZZARI, S.M.N. Controle de *Acanthoscelides obtectus* (coleóptera: bruchidae) com diferentes doses de terra diatomácea (dióxido de sílica). **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 3, n. 1, p. 75-79, 2005.
- PINTO JUNIOR, A. R.; LAZZARI, F.A.; LAZZARI, S.M.N.; CERUTI, F.C. Resposta comportamental e mortalidade da barata alemã a uma superfície tratada com terra de diatomácea. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n.1, p. 85-92, 2010.
- 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, n. 1, p. 77-83, 2007.
- 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 às doses de permetrina. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 1, p. 26-34, 2013.
- SOUSA, A.H.; FARONI, L.R.A.; ANDRADE, G. A.; FREITAS, R. S.; PIMENTEL, M.A.G. Bioactivity of diatomaceous earth to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in different application conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 982-986, 2013.

- SOUSA, A. H.; FARONI, L. R.; SILVA, G. N.; GUEDES, R. N. Ozonetoxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 105, n.6, p. 2187–2195, 2012.
- SUBRAMANYAM, B. H.; MADAMANCHI, N.; NORWOOD, S. Effectiveness of Insecto applied to shelled maize against stored-product insect larvae. **Journal of Economic Entomology**, v.91, n. 1, p.280-286, 1998.
- WATSON, E.; BARSON, G. A laboratory assessment of the behavioural responses of three strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) to three insecticides and the insect repellent N, N-diethyl-m-toluamide. **Journal of Stored Products Research**, v. 32, p. 59-67, 1996.
- WINE, G. J.; NUKENINE, E. N.; NDJONKA, D.; SUH, C.; CORNEL, A. Efficacy of diatomaceous earth and wood ash for the control of *Sitophilus zeamais* in stored maize. **Journal of Entomology and Zoology Studies** v. 3, n. 5, p. 390-397, 2015.