

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Entomologia



Dissertação

Eficiência de produtos alternativos no controle do gorgulho-do-milho
***Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório**

Mayara Guelamann da Cunha Espinelli Greco

Pelotas, 2022

Mayara Guelamann da Cunha Espinelli Greco

**Eficiência de produtos alternativos no controle do gorgulho-do-milho
Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências-Entomologia.

Orientador: Dr. Flávio Roberto Mello Garcia

Co-orientador: Dr. Juliano de Bastos Pazini

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

G791e Greco, Mayara Guelamann da Cunha Espinelli

Eficiência de produtos alternativos no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório / Mayara Guelamann da Cunha Espinelli Greco; Flávio Roberto Mello Garcia, orientador; Juliano de Bastos Pazini, coorientador. — Pelotas, 2022.

65 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Controle alternativo. 2. Milho. 3. Pó de gesso. 4. Sais imidazólicos. I. Garcia, Flávio Roberto Mello, orient. II. Pazini, Juliano de Bastos, coorient. III. Título.

CDD: 595.768

Mayara Guelamann da Cunha Espinelli Greco

Título: Eficiência de produtos alternativos no controle do gorgulho-do-milho
Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório.

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências (Entomologia), Programa de Pós-Graduação em Entomologia.

Data da defesa: 18/02/2022 às 10 horas.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Flávio Roberto Mello Garcia (Orientador)

Doutor em Zoologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Edson Zefa

Doutor em Zoologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Prof. Dr. Jader Ribeiro Pinto

Doutor em Fitossanidade pela Universidade Federal de Pelotas.

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço as forças do universo que não deixaram me faltar saúde, para ter forças de continuar firme no objetivo de conquistar meus sonhos. Ainda mais levando em consideração que o presente trabalho se decorreu em meio à pandemia de Covid-19. A qual entristeceu corações pelo mundo todo em virtude de perdas de familiares e amigos. E apesar de eu e meus familiares termos positivado para esta doença agora estamos todos bem e seguindo em frente.

Ao PPG em Entomologia, no Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, agradeço pela oportunidade de cursar o mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Grata pela bolsa concedida.

Ao Dr. Flávio Roberto Mello Garcia por sua orientação, dedicação, prestatividade, compreensão e amizade durante o andamento do curso.

Ao Dr. Juliano de Bastos Pazini, pela co-orientação, colaboração e atenção no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Henri Stephan Schrekker e a Doutora Onilda Santos da Silva, por toda colaboração e parceria.

A Empresa Pedreira Jussara LTDA – PR a qual forneceu produto para a realização de um dos experimentos no presente trabalho.

Aos professores, pesquisadores e colaboradores do PPG Entomologia sou grata pelos conhecimentos comigo compartilhados.

A minha família, com quem eu posso contar na imensidão. Principalmente a minha mãe Marlene Espinelli, sempre na torcida com a frase clichê que junto de um

sorriso sempre estará a me receber “-Filha, já deu certo!”, mesmo que no final o resultado não seja o esperado. E a minha vó Aida (*in memória*) que apesar da sua ausência física, sei que independente de onde estejas estarás orgulhosa de mim. Devo a vocês a mulher que me tornei! Amo vocês eternamente minhas “Mulheres Maravilha”!

Ao meu marido Dionatan Greco, por me incentivar, cuidar, apoiar e correr junto comigo atrás dos nossos objetivos, pois juntos somos muito mais fortes, e só tenho a agradecer por muitas vezes o motivo do meu sorriso ser o seu, pois é você quem me faz sorrir, seca minhas lágrimas e atura meus surtos quando o fardo, esta pesado demais. Obrigada por ser esse “homão da p.... KK” Quem me faz acreditar que dias melhores sempre virão e que estaremos juntos frente a qualquer dificuldade... Te amo mil milhões!!

A minha irmã Niara, cunhado Daniel e padraсто Vítor pela parceria e apoio, sempre estando presentes em minha vida, com quem eu posso contar a qualquer momento. Ao meu pai João Wainne e irmãos José Pedro e Rovani, por dividirem seus sorrisos e conflitos de vida comigo. A minha sogra Amélia que faz diferença no dia a dia me recebendo com carinho e me ajudando com pequenos detalhes. Vocês ocupam um lugar muito especial em meu coração!

Aos amigos que me apoiam sempre e dividem comigo minhas preocupações, deixando a vida mais alegre. Principalmente a Karina Jobim, a qual me ajudou no decorrer deste trabalho não somente como amiga, mas também como uma ótima colega de laboratório.

Aos meus afilhados e sobrinhos por deixarem meus dias mais leves, felizes e dividir comigo o amor de vocês. E ao meu “cusco” Bruce por sempre me receber com muito carinho e atenção, pois por mais cinza que o dia esteja você me trás muita luz, quando sempre que chego em casa.

Gratidão a todos que de alguma forma ajudar no decorrer deste curso, seja com seus ensinamentos, parceria ou apoio emocional. Grata pela motivação que me proporcionaram, seja criando dificuldades ou ajudando a superá-las, para assim alcançar mais esta conquista.

E assim como em meu TCC, está frase me trás motivação e impulsiona a seguir em frente. Como se refere Cris Carvalho,

Porque a força de dentro é maior. Maior que todo o mal que existe no mundo. Maior que todos os ventos contrários. É maior porque é do bem. E nisso sim, acredito até o fim. (O pensador, 2019).

Obrigada!

RESUMO

GRECO, Mayara da Cunha Espinelli. **Eficiência de produtos alternativos no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório.** Orientador: Flávio Roberto Mello Garcia. 2022. 65 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

A espécie *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), geralmente atinge status de praga em grãos armazenados. A maioria dos estudos relativos ao controle desse inseto contempla o uso de inseticidas, os quais podem causar agravos à saúde humana, de animais domésticos e ao ambiente. Dessa forma, estudos que visem buscar alternativas de baixo impacto ambiental e de nenhum impacto a saúde humana são necessários. Assim, o presente trabalho visa conhecer o efeito de sais imidazólicos (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl), nas concentrações de 0g, 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho e de diferentes pós (pó de basalto, pó de gesso e terra de diatomácea) nas concentrações de 0,025g, 0,05g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho no controle do gorgulho *S. zeamais*, sob condições de laboratório. Para este fim, dois experimentos foram realizados no Laboratório de Ecologia de Insetos da Universidade Federal de Pelotas, em delineamento inteiramente casualizado. O primeiro experimento consistiu no uso de diferentes pós em diferentes concentrações, sendo composto por 13 tratamentos e quatro repetições. E o segundo experimento consistiu no uso dos sais imidazólicos também em diferentes concentrações, compondo 16 tratamentos com quatro repetições de cada. Avaliou-se estatisticamente sua mortalidade, através da eficiência de controle (EC%), curvas de sobrevivência e tempo letal mediano (TL50). Esse estudo resultou que no experimento com diferentes pós, a terra de diatomácea possuiu destaque, porém o pó de gesso e o pó de basalto nas concentrações de 0,1g e 0,2g/20g chegaram à mortalidade de 100% ao final do período de avaliação, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com terra de diatomácea. E no experimento com sais imidazólicos foi possível observar que todas as três formulações possuem potencial inseticida a partir de 0,01g/20g, podendo ser observado maior mortalidade conforme maior concentração e tempo de exposição, com destaque para a formulação C16MImCl, a qual possuiu maior mortalidade em menor tempo de exposição.

Palavras-chave: controle alternativo; milho; pó de gesso, sais imidazólicos.

ABSTRACT

GRECO, Mayara da Cunha Espinelli. **Efficiency of alternative products in the control of the corn weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in the laboratory.** Advisor: Flávio Roberto Mello da Garcia. 2022. 65 f. Dissertation (Master in Entomology) - Graduate Program in Entomology, Institute of Biology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

The species *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), generally reaches pest status in stored grains. Most studies related to the control of this insect include the use of insecticides, which can cause harm to human health, domestic animals and the environment. Thus, studies aimed at the search for alternatives with low environmental impact and no impact on human health are necessary. Thus, the present work aims to know the effect of imidazole salts (C18MImCl, C16MImMeS and C16MImCl), in concentrations of 0g, 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g and 0,2g/20g of corn grains and different powders (basalt powder, gypsum powder and diatomaceous earth) at concentrations of 0,025g, 0,05g, 0,1g and 0,2g/20g of corn grains in the control of the weevil *S. zeamais*, under laboratory conditions. To this end, two experiments were carried out at the Insect Ecology Laboratory of the Federal University of Pelotas, in a completely randomized design. The first experiment consisted of the use of different powders at different concentrations, consisting of 13 treatments and four replications. And the second experiment consisted of the use of imidazole salts also in different concentrations, composing 16 treatments with four replications of each. Mortality was statistically evaluated through control efficiency (EC%), survival curves and median lethal time (TL50). This study resulted that in the experiment with different powders, diatomaceous earth was highlighted, but gypsum powder and basalt powder at concentrations of 0,1g and 0,2g/20g reached a mortality of 100% at the end of the evaluation period, not differing statistically. of diatomaceous earth treatments. And in the experiment with imidazole salts, it was possible to observe that all three formulations have insecticide potential from 0,01g/20g, and higher mortality can be observed according to higher concentration and exposure time, with emphasis on the C16MImCl formulation, which had higher mortality in shorter exposure time.

Keywords: alternative control; corn; gypsum powder, imidazole salts.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Curvas de sobrevivência de *Sitophilus zeamais* exposto aos tratamentos com diferentes dosagens de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em laboratório..... 37
- Figura 2. Curvas de sobrevivência de *Sitophilus zeamais* exposto aos tratamentos com diferentes dosagens de sais imidazólicos (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl) em laboratório..... 48

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Tratamentos com pó de basalto, pó de gesso e terra de diatomácea nas concentrações de 0,025g, 0,05g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho e grupo controle utilizadas em experimento de controle de *Sitophilus zeamais* em laboratório..... 34
- Tabela 2. Média de mortalidade e eficiência de controle de *Sitophilus zeamais* exposto a diferentes dosagens de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em grãos de milho..... 36
- Tabela 3. Tempo médio de mortalidade (TL50, em dias) de *Sitophilus zeamais* expostos a diferentes concentrações de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em grãos de milho..... 39
- Tabela 4. Tratamentos com diferentes sais imidazólicos (C16MImMeS; C16MImCl e C18MImCl) nas concentrações de 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho e grupo controle..... 46
- Tabela 5. Média de mortalidade e eficiência de controle de *Sitophilus zeamais* exposto a diferentes dosagens de sais imidazólicos (C16MImMeS; C16MImCl e C18MImCl) em grãos de milho..... 49
- Tabela 6. Tempo médio de mortalidade (TL50, em dias) de *Sitophilus zeamais* expostos a concentrações de sais imidazólicos

(C16MImMeS; C16MImCl e C18MImCl) em grãos de milho..... 51

Tabela 7. Mortalidade absoluta de *Sitophilus zeamais* em grãos de milho tratados com diferentes concentrações de NaCl e grupo controle (sem aplicação)..... 52

LISTA DE ABREVIATURAS

SI	Sais Imidazólicos
NaCl	Cloreto de Sódio
CAPS	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
IB	Instituto de Biologia
LABEI	Laboratório de Ecologia de Insetos

SUMÁRIO

1.	Introdução Geral.....	15
2.	Revisão de Literatura.....	18
2.1.	Grãos Armazenados.....	18
2.2.	Principais insetos de grãos armazenados.....	19
2.3.	Gorgulho-do-milho <i>Sitophilus zeamais</i>	20
2.4.	Danos nos grãos provocados pelos gorgulhos.....	21
2.5.	Controle dos gorgulhos pragas de grãos armazenados.....	22
2.5.1.	Sais Imidazólicos.....	24
2.5.2.	Pós Inertes.....	26
2.5.2.1.	Pó de Basalto e Pó de Gesso.....	26
2.5.2.2.	Terra de Diatomáceas.....	27
Capítulo 1 -	Efeito de pós inertes na mortalidade do gorgulho-do-milho	
	<i>Sitophilus zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório.....	30
3.1.	Resumo.....	30
3.2.	Abstract.....	30
3.3.	Introdução.....	31
3.4.	Materiais e Métodos.....	33
3.5.	Análise Estatística.....	34
3.6.	Resultados.....	35
3.7.	Discussão.....	39
3.8.	Conclusões.....	41
Capítulo 2 -	Efeito de sais imidazólicos na mortalidade do gorgulho-do-milho	
	<i>Sitophilus zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório.....	43
4.1.	Resumo.....	43
4.2.	Abstract.....	43
4.3.	Introdução.....	44
4.4.	Materiais e Métodos.....	45

4.5.	Análise Estatística.....	47
4.6.	Resultados.....	48
4.7.	Discussão.....	52
4.8.	Conclusões.....	54
5.	Considerações Finais.....	55
Referências	57

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção brasileira de grãos em 2021 está estimada em cerca de 271,7 milhões de toneladas, possuindo, assim, um aumento de 5,7% ou 14,7 milhões de toneladas em relação à safra de 2019/2020, destacando-se entre os grãos a soja e o milho. A produção de grãos de milho está prevista em 106,4 milhões de toneladas com crescimento de 3,7% acima da safra anterior (CONAB, 2021). Os bons resultados da produção agrícola de grãos armazenados estão ligados diretamente à adoção de práticas eficientes na produção e proteção, as quais, com o passar do tempo, tornaram-se indispensáveis com o aumento da produção para garantir a viabilidade dos grãos refletida na qualidade e na quantidade, evitando-se as perdas após a colheita e a desvalorização do produto (FARONI; SILVA, 2008; QUEIROZ *et al.*, 2009; LORINI, 2015). Sendo assim, o cuidado com um cultivo sustentável que valorize procedimentos que venham a potencializar a produção e a diminuir os prejuízos ao decorrer das etapas, desde o cultivo até o armazenamento, são de extrema importância. Porém, o processo de armazenamento deve ser enfatizado, pois os danos que potencialmente podem ocorrer nesta etapa elevam os prejuízos com a rentabilidade final do produto (TAVARES; VENDRAMIN, 2005).

Dentre as pragas de grãos armazenados destaca-se o gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), considerado a principal praga de grãos de milho em armazenamento (CERUTI; LAZZARI, 2005; TREMATERRA *et al.*, 2013). As fêmeas desta espécie sobrevivem em média 140 dias; cada uma pode ovipositar em torno de 282 ovos, sendo que o período de oviposição perdura por até 104 dias. Com os grãos de milho como substrato, o período que o ovo leva até eclodir a larva é de três a seis dias. O ciclo biológico se completa ao redor de 34 dias (LORINI; SCHNEIDER, 1994). O gorgulho-do-milho

danifica os grãos devido a sua capacidade de penetrar profundamente na sua massa para se alimentar, e após depositam seus ovos nestes orifícios, e ao iniciar a emergência das larvas, começa a fase mais prejudicial do gorgulho aos grãos, devido à larva se alimentar do mesmo até pupar (NWOSU, 2018), gerando perdas tanto na qualidade quanto no seu peso final, além de realizar infestação cruzada e possuir um potencial biótico elevado (LORINI *et al.*, 2015). Além disso, a alta movimentação deste inseto favorece a dispersão de esporos e produção de micotoxinas de fungos pré-existentes nos grãos de milho (FERREIRA-CASTRO *et al.*, 2012). Sendo que estas micotoxinas após sua ingestão por humanos e animais podem resultar em respostas tóxicas (GRENIER; OSWALD, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2012; LEGGIERI CAMARDO *et al.*, 2019). Além de que o gorgulho-do-milho é uma praga classificada como primária, a qual pode infestar grãos íntegros, colaborando com o surgimento de pragas secundárias (GALLO *et al.*, 2002).

As técnicas mais empregadas desde o século XX para controlar tanto insetos transmissores de doenças quanto insetos considerados pragas são por meio de inseticidas químicos, sendo este o método mais utilizado para o controle e proteção de grãos contra pragas como o gorgulho-do-milho (KIM *et al.*, 2019). Contudo, diversos fatores impactam negativamente a sua utilização, devido às toxicidades que estes apresentam para a saúde de seres humanos, animais e meio ambiente, ocasionando vários distúrbios socioeconômicos, além de favorecer a resistência dos insetos (VENDRAMIM; THOMAZINI, 2001; FINKLER, 2012; CAMPOS *et al.*, 2014; NASR *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2018; KNILLMANN; LIESS, 2019; KIM *et al.*, 2019; HAWKINS *et al.*, 2019). Alternativas de manejo de insetos estão sendo estudadas e inseridas no Brasil, apoiadas pelo rigor legislativo de outros países em relação aos resíduos químicos presentes em alimentos exportados, a fim de diminuir, desta forma, as consequências negativas do uso de inseticidas químicos (FINKLER, 2012; GUSMÃO; LEON, 2017). Isso tem gerado novos estudos referentes a métodos de controle em manejo integrado de pragas (MIP), em especial por se tratar de alimentos prontos para consumo (PORTO; SOARES, 2012). Entre os procedimentos químicos de desinfestação de pragas de grãos armazenados, tem sido bastante adotado preventivamente o uso de inseticidas líquidos pulverizados nas aberturas das unidades de armazenagem (ARTHUR, 1994; SILVA *et al.*, 2007). Já para grãos infestados, o uso mais comum é de inseticidas líquidos ou solidificados fumigantes, como por exemplo, a fosfina (ALMEIDA *et al.*, 1999).

Algumas técnicas de controle alternativo vêm sendo colocadas em prática com o uso de variações no som, na radiação e na temperatura, bem como tem se destacado os estudos em relação à pós inertes, como a terra de diatomácea (CHANBANG *et al.*, 2007; LORINI, 2008). A utilização de pós inertes é um método já utilizado em agricultura familiar antes mesmo do surgimento dos inseticidas sintéticos (LORINI, 1998). Estes atuam fisicamente através do desgaste do corpo do inseto, gerando ruptura na camada lipídica que compõe a epicutícula do exoesqueleto, proporcionando a morte do inseto por desidratação devido a fácil perda de água após a ação do produto (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000). A eficácia dos pós inertes é comprovada em estudos que utilizam este controle tanto em campo quanto em armazenamento. No entanto, são muitos os tipos de pós-de-rochas que podem ser usados, e sua eficiência depende de muitos fatores como, por exemplo, sua composição química e sua granulometria (PAIXÃO *et al.*, 2009). Estudos também mostraram que grãos de milho sem o controle de terra de diatomáceas ao serem infestados pelo gorgulho-do-milho podem, em dois meses, passar da classificação de qualidade tipo 1 para uma classificação de baixo padrão a ser comercializado (ANTUNES *et al.*, 2013).

Com o propósito de atender a necessidade de averiguar novos métodos alternativos para o controle de pragas de grãos armazenados, principalmente sob uma relação mais amena com o meio ambiente e saúde humana, bem como de outros animais, aliando um bom custo benefício e facilidade de aplicação, estudos que aprofundem e avaliem um número maior de pós-inertes e outros compostos com potencial inseticida devem seguir sendo abordados. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo conhecer a eficiência de diferentes sais imidazólicos e de diferentes pós inertes no controle do gorgulho-do-milho *S. zeamais*, criado em grãos de milho em condições de laboratório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. GRÃOS ARMAZENADOS

Devido ao aumento na produtividade agrícola, novos sistemas para armazenar os produtos pós-colheita com segurança para evitar perdas e desvalorização do produto tiveram que ser adquiridos (FARONI; SILVA, 2008; QUEIROZ *et al.*, 2009; LORINI, 2015). Ao utilizar destes novos métodos, os produtores alcançam bons resultados que favorecem a viabilidade dos grãos. Através de um cultivo sustentável se estimula as técnicas que potencializam todas as etapas desde a produção até o armazenamento. Porém, a etapa de armazenamento requer maior atenção, pois, neste momento, os danos gerados resultam em prejuízos na rentabilidade final da mercadoria (TAVARES; VENDRAMIN, 2005).

A crescente população, impulsionada pelas necessidades mundiais, exigem que os produtores e os estabelecimentos que fornecem os grãos para consumo preservem a qualidade com o menor risco de perdas, para que assim o suprimento final do produto seja garantido. Desta forma, torna-se indispensável a adoção de técnicas que monitorem as pragas, além de um controle da temperatura e umidade dos locais de armazenagem (LORINI *et al.*, 2015). Para a prevenção nesta fase de pós-colheita, na intenção de realizar o armazenamento de forma correta, outros fatores podem ser empregados, para evitar as perdas excessivas de grãos, como: sistema de limpeza e estruturas tecnicamente adequadas para os silos, realização do manuseio dos grãos apropriado, reduzir o teor de impurezas e manter em torno de 13% a umidade (LORINI, 2015). Com o armazenamento correto, os grãos pós-

colheita podem ser aproveitados para consumo em tempos de escassez ou esperar para alcançar um mercado mais lucrativo (MELO *et al.*, 2011).

A presença de pragas primárias em grãos armazenados como o gorgulho-do-milho colabora com a infestação de pragas secundárias como *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (Coleoptera: Tenebrionidae), que se estabelece através dos grãos quebradiços e moídos elevando a degradação da qualidade e volume de grãos (LORINI *et al.*, 2010; ANTUNES *et al.*, 2011). Os produtos em período de armazenamento podem alcançar um prejuízo de 30%, sendo que 10% está relacionado ao ataque de insetos (SCHÖLLER *et al.*, 1997). Segundo Antunes *et al.* (2013), os grãos de milho são muito mais danificados pelas pragas de grãos armazenados sem o controle de terra de diatomáceas, passando de uma classificação de qualidade tipo 1 para uma especificação inferior aos níveis adequados para comercialização.

2.2. PRINCIPAIS INSETOS DE GRÃOS ARMAZENADOS

Alguns lepidópteros e coleópteros são prejudiciais a grãos armazenados (LORINI *et al.*, 2009). Sendo que as principais espécies de coleópteros classificados como pragas destes produtos são: *Zabrotes subfasciatus* Boleman, 1833 (Coleoptera: Chrysomelidae), *Lasioderma serricorne* Fabricius, 1792 (Coleoptera: Anobiidae), *Acanthoscelides obtectus* Say, 1931 (Coleoptera: Chrysomelidae), *Oryzaephylus* spp. Linnaeus (Coleoptera: Silvanidae), *Tenebrio molitor* L. 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae), *Attagenus* spp. Latreille, 1802 (Coleoptera: Dermestidae), *Anthrenus* spp. Schaeffer 1766 (Coleoptera: Dermestidae), *Tribolium* spp., *Trogoderma* spp. Dejean, 1821 (Coleoptera: Dermestidae), *Sitophilus* spp., *Cryptolestes* spp. Ganglbauer, 1899 (Coleoptera: Laemophloeidae) e *Rhyzopertha dominica* Fabricius, 1782 (Coleoptera: Bostrichidae), *Stegobium paniceum* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Anobiidae) (MOREIRA; ZARBIN; CORACINI, 2005). Destes, *S. zeamais* Motschulsky, 1855 e *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 se destacam (LORINI *et al.*, 2010).

2.3. GORGULHO-DO-MILHO *Sitophilus zeamais*

A principal espécie de gorgulhos que ataca grãos armazenados é *S. zeamais* (CERUTI; LAZZARI, 2005). Este é classificado como praga primária, possuindo capacidade de infestação cruzada, penetrando na massa dos grãos em grandes profundidades e tem potencial biótico elevado, prejudicando a quantidade e qualidade dos mesmos (LORINI *et al.*, 2015). O gorgulho-do-milho possui distribuição cosmopolita, de hábito polífago, podendo infestar culturas de arroz, milho, trigo, sorgo (LORINI, 2008), cevada e até frutíferas como pessegueiro, macieira e videira, sendo que seu ataque pode ocorrer tanto em armazéns quanto no campo, atacando grãos sadios e íntegros (LORINI, 2008). Além disso, seu ataque pode facilitar o acesso de pragas secundárias (GALLO *et al.*, 2002).

A fase adulta do gorgulho-do-milho possui características parecidas com a espécie *Sitophilus oryzae* Linné, 1763 (Coleoptera: Curculionidae), distinguíveis a partir de detalhes morfológicos de suas genitálias, principalmente, pela caracterização do edeago (PEREIRA; ALMEIDA, 2001). O gorgulho-do-milho quando adulto mede de 2,0 a 3,5 mm de comprimento, apresenta cor castanha-escura, élitros com manchas claras, cabeça projetada formando um rostro curvado, sendo esta estrutura utilizada para sexagem dos indivíduos, pois na fêmea é mais afilado e longo, e nos machos grosso e curto (LORINI; SCHNEIDER, 1994; LORINI *et al.*, 2010). Seu aparelho bucal é mastigador e possui mandíbulas fortes capazes de perfurar a dureza dos grãos de milho (LORINI; SCHNEIDER, 1994; LORINI *et al.*, 2010). As fêmeas sobrevivem em média 140 dias; cada uma pode ovipositar em torno de 282 ovos, sendo que o período de oviposição perdura por até 104 dias. Com os grãos de milho como substrato, o período que o ovo leva até eclodir a larva é de três a seis dias. O ciclo biológico se completa ao redor de 34 dias (LORINI; SCHNEIDER, 1994).

Se os grãos de milho atingirem umidade menor que 12,5%, podem acarretar no bloqueio da oviposição, pois a consistência do grão se torna mais resistente ao ataque dos gorgulhos (LORINI *et al.*, 2010). Sendo que os prejuízos nos grãos gerados pelo gorgulho-do-milho podem ser ocasionados pelas larvas, mas também pelos adultos (PEDOTTI-STRIQUER *et al.*, 2006).

2.4. DANOS NOS GRÃOS PROVOCADOS PELOS GORGULHOS

Os gorgulhos são considerados insetos-praga devido sua capacidade de causar estragos na qualidade dos grãos e no aproveitamento destes para o consumo alimentício, bem como queda negativa na valoração comercial, após o ataque destes insetos, a degradação é irreversível e concreta (FONTES; ALMEIDA FILHO; ARTHUR, 2003). Os danos são classificados em quantitativos e qualitativos, os quantitativos são caracterizados pela diminuição de peso, resultante das galerias formadas nos grãos através da alimentação do gorgulho; e os qualitativos, referem-se à desvalorização nutricional e do grau de higienização dos grãos infestados avaliada pela presença de insetos, excrementos e ovos (GALLO *et al.*, 2002).

Conforme aumenta o tempo de exposição dos grãos aos insetos, mais significativa é a perda de peso na massa dos grãos e aumenta o acúmulo de resíduos realizados a partir da praga e com isso um aumento da população de insetos (ANTUNES *et al.* 2011).

Avaliações de danos gerados por *S. oryzae* e *S. zeamais* foram feitas em relação ao peso de grãos de arroz em diversas variedades: Caiapó sequeiro, Uruçuí sequeiro, Cica-9 irrigado, Metica-1 irrigado, Paranaíba sequeiro, Araguaia sequeiro, Canastra sequeiro, Diamante irrigado, Carajás sequeiro e Primavera sequeiro. Observou-se que as variedades sem casca são mais suscetíveis. Quando estas cultivares estão sujeitas ao ataque do gorgulho-do-milho, dos grãos de arroz com casca, a variedade Diamante irrigado foi a mais suscetível, enquanto a Canastra sequeiro demonstrou-se mais resistente. A variedade mais resistente tanto com como sem casca foi Cica-9 irrigado por ambas as espécies abordadas neste estudo (FONTES; ALMEIDA FILHO; ARTHUR 2003). Ainda em estudos com grãos de arroz, tentou-se estimar as perdas com estes grãos em diferentes tipos de armazenamentos e expostos a uma associação das espécies *S. zeamais*, *Laemophloeus minutus* Olivier 1791 (Coleoptera: Cucujidae) e *Orizaephilus surinamensis* L. 1758 (Coleoptera: Silvanidae). Neste caso, comprovou-se que a presença do gorgulho-do-milho *S. zeamais* ou com a interação entre este e *L. minutus* são mais prejudiciais. E se o armazenamento ocorrer com temperaturas de 25 a 30°C o aumento de populações de insetos se torna maior (COPATTI; MARCON; MACHADO, 2013).

Com relação aos estudos feitos para avaliar a qualidade dos grãos de milho, tanto armazenados ou não, atingidos por *T. castaneum* e *S. zeamais* e suas inter-relações verificou-se que os parâmetros da população de insetos por quilograma e presença de impurezas utilizados para avaliar a qualidade e valorar o produto, foram afetados sendo os danos muito maiores quando ocorre a presença e interação entre as duas espécies (ALENCAR *et al.*, 2011).

O estado da cultura de milho mais suscetível a danos causados pelo gorgulho-do-milho é o de grãos armazenados, podendo sofrer perdas irreparáveis (PICANÇO *et al.*, 2003). A degradação nos grãos de milho proporcionada por esta espécie pode acontecer na fase larval, onde estas se desenvolvem em seu interior, ou pelos adultos, que realizam perfurações (PEDOTTI-STRIQUER *et al.*, 2006). Foi constatado que as perdas na quantidade de grãos causadas por insetos estão diretamente relacionadas com a compatibilidade destas pragas com as variedades de milho, e estes prejuízos são expressos através da deterioração de mercadorias (ALMEIDA FILHO *et al.*, 2003). Estudos relacionaram a perda do poder de germinação e vigor de sementes quando atingidas pelo gorgulho-do-milho como os principais defeitos destacados em 92% da amostragem (SANTOS; FONTES, 1990).

Os gorgulhos podem causar perdas no decorrer da etapa armazenamento que podem ser equivalentes ou até superiores do que as ocasionadas por pragas no campo. Porém, os danos no campo são propícios a compensar parte dos prejuízos, devido à recuperação da planta atacada ou aumentando a produção de plantas não destruídas. Com relação aos danos causados em grãos armazenados, estes são irreparáveis e absolutos (FONTES; ALMEIDA FILHO; ARTHUR, 2003). Os prejuízos e injúrias pós-colheita são difíceis de quantificar. Supõe-se que as adversidades quantitativas do período de um ano, provocadas por insetos pragas na etapa de armazenamento de grãos, encontram-se em 10% da produtividade mundial (PAIXÃO *et al.*, 2009). E níveis de perdas que variam entre 15 e 50% do montante produzido em países subdesenvolvidos (MWANGI *et al.*, 2017).

2.5. CONTROLE DOS GORGULHOS PRAGAS DE GRÃOS ARMAZENADOS

O controle químico é o mais utilizado desde o século XX no controle de insetos-praga e vetores de doenças. Quando ocorreu a introdução dos inseticidas, não se inferiu nenhum interesse em estudar a bioecologia e o comportamento dos

insetos, porém vinte anos após seu início, das 204 espécies de insetos pragas em grãos armazenados conhecidas, 137 já demonstravam algum tipo de resistência seja comportamental, genética ou bioquímica (NEVES, 2003). Com isso, após notar-se a existência de novos casos de resistência, ocorreu grandes investimentos em pesquisas de novos inseticidas e começaram a realizar estudos entomológicos envolvendo os insetos de importância agrícola e sanitária (NEVES, 2003). Mas apesar de sua eficiência, o uso excessivo de produtos químicos acarreta toxicidade para saúde humana e de outros animais, bem como contaminações do meio ambiente, problemas socioeconômicos como a elevação de custos de produção e elevação nos casos já mencionados de resistência dos insetos aos produtos químicos sintéticos (VENDRAMIM; THOMAZINI, 2001; FLORES *et al.*, 2004; FINKLER, 2012). Estes produtos inseticidas podem ser extraídos de modo natural (oriundos de plantas) ou sintético (GALLO *et al.*, 2002).

Para o gorgulho-do-milho, o controle varia de acordo com as diversas regiões. O método químico é normalmente utilizado como preventivo, pulverizando-o na entrada dos estabelecimentos de armazenamento de grãos (ARTHUR, 1994; SILVA *et al.*, 2007). Já em grãos infestados, o método de controle tem se restringido à fumigação de líquidos ou sólidos como a fosfina (ALMEIDA *et al.*, 1999).

Para minimizar os aspectos negativos, alternativas de manejo aliadas a higienização vêm sendo estudadas e incorporadas às produções agrícolas brasileiras, devido ao rigor legislativo de diversos países em relação a resíduos químicos em alimentos. Prevenindo prejuízos na etapa de armazenamento pós-colheita, e proporcionando necessidade de repensar os métodos de controle usados no MIP (Manejo Integrado de Pragas), principalmente ao se tratar de produtos prontos para serem consumidos (FINKLER, 2012; PORTO; SOARES, 2012). Mas, conforme outros autores, como Lorini *et al.* (2010), a prevenção pode ser conduzida a partir de inseticidas e o tratamento curativo pode ser a partir da realização de expurgo.

Antes mesmo do princípio do uso de pesticidas sintéticos, agricultores familiares já utilizavam métodos de controle com base em pós-inertes, e atualmente está técnica tem ressurgido como uma importante alternativa para controlar gorgulhos em grãos armazenados (LORINI, 1998). As poeiras inertes atuam fisicamente por modo abrasivo do corpo do gorgulho, destruindo a camada lipídica que reveste a cutícula externamente, resultando em uma grave desidratação que

leva o inseto a morte (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000). Alguns produtores produzem um composto de grãos de feijão com cal, resíduos de trilhas pós-colheitas, areia, cinzas de madeira, terra de formigueiro, condimentos alimentícios como pimenta-do-reino e óleos essenciais de plantas com potencial inseticida. Contudo, essas estratégias precisam ser estudadas para obter-se resultados satisfatórios (BARBOSA *et al.*, 2002).

Sais imidazólicos foram recentemente testados como alternativa de controle para insetos. Um estudo utilizando metanossulfonato de 1-n-hexadecil-3-methylimidazolium (C16MImMeS) e cloreto de 1-n-octadecil-3-methylimidazolium (C18MImCl) no controle larval de *Aedes aegypti* em laboratório demonstrou eficiência no controle das amostragens (GOELLNER *et al.*, 2018). Porém, ainda muitos estudos devem ser realizados para entender o mecanismo de ação destas moléculas, além de descobrir se o seu potencial inseticida também é capaz de atingir as demais fases de desenvolvimento em diferentes indivíduos da classe Insecta (GOELLNER *et al.*, 2018).

Desde que o mercado internacional exigiu a redução de produtos com resíduos de agrotóxicos, e surgiu à preocupação mundial com a toxicidade de alimentos e também para o meio ambiente, tem sido ressaltado o conceito de trabalhar de uma maneira ecologicamente e economicamente mais adequada através do manejo de pragas (GUSMÃO; LEON, 2017). Resultando no conceito do programa MIP, o qual consiste principalmente em proteger as plantas contra os danos causados por pragas e doenças, utilizando técnicas alternativas e, somente em última opção, produtos químicos. Para isto, estudos vêm sendo propostos e realizados direcionando para um desenvolvimento de metodologias alternativas encorajadoras que sejam viáveis de serem utilizadas pelo programa (GALLO *et al.*, 2002).

2.5.1. SAIS IMIDAZÓLICOS

A eficiência de duas moléculas de sais imidazólicos (SI) a (C16MImMeS) e (C18MImCl), foi recentemente apresentada no controle de larvas de *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) (GOELLNER *et al.*, 2018). Os compostos iônicos líquidos apontam em sua estrutura somente íons de baixa fusão (abaixo de 100°C). São constituídos de energia livre de Gibbs de solvatação negativa, sendo

funcionais para formar compostos orgânicos e ânions flexíveis. Além de ter uma entropia alta e energia reticular baixa, o que resulta em compostos termoestáveis, e também uma janela eletroquímica ampla, com solubilidade possível de ser ajustada e uma condutividade alta (WASSERSCHIED; KEIM, 2000). Os SI relacionam com modelos biológicos de maneira eletrostática (CUI *et al.*, 2003; ANDERSON; LONG, 2010; GENG *et al.*, 2010). As moléculas de SI são anfífilas, com região hidrofílica e outra hidrofóbica. E uma das características atrativas destes compostos para a pesquisa e também para a indústria são que os ânions e cátions podem ser alterados independentemente e, assim, modificar suas características físicas, biológicas e químicas (RIDUAN; ZHANG, 2013).

Os SI até o momento possuem relatos de poucos aspectos negativos em relação ao meio ambiente, e sua toxicidade é baixa sobre micro-organismos importantes ambientalmente. Sua toxicidade a espécimes não-alvos normalmente está relacionada com sua constituição catiônica hidrofílica, a qual tem capacidade de interagir com estruturas biológicas, como por exemplo o DNA e membranas celulares (RANKE *et al.*, 2007). Com a utilização de *Raphanus sativus* (Brassicaceae), popularmente conhecido como rabanete, foram conduzidos estudos ecotoxicológicos, em que os SI experimentados apresentaram efeito sobre as plantas em desenvolvimento apenas em doses mais elevadas e quando relacionadas com cadeias carbônicas maiores (BICZAK *et al.*, 2014). Agregando em questões toxicológicas, experimentos foram feitos com culturas de células de mamíferos, estes resultaram que SI não são citotóxicos (RANKE *et al.*, 2006).

Anti-bactericida é uma das especificações importantes dos SI, agindo na membrana fosfatidiletanolamina das bactérias a qual é a maior componente de sua membrana (70%), e é negativamente carregada, ao contrário dos SI que sua natureza é catiônica e assim se atraem eletrostaticamente com a membrana celular. Desta forma, distúrbios na membrana promovidos pelos elementos hidrofóbicos resultam na morte celular a partir do vazamento de componentes intracelulares (RIDUAN; ZHANG, 2013).

A ação larvicida de (C16MImMeS) e (C18MImCl) no controle de *A. aegypti*, demonstrou-se muito eficiente, com percentual elevado de mortalidade, já em baixas concentrações (CL99 dos sais testados é de 20 µg/L), e com o intestino médio deteriorado. Porém, este estudo ainda tem muitos parâmetros a serem estudados e muitos organismos a serem testados (GOELLNER *et al.*, 2018).

2.5.2. PÓS INERTES

Misturas de feijão com cal, cinza de madeira, areia e óleos essenciais botânicos entre outros elementos, já eram utilizados desde antes do início de controles com produtos químicos. Atualmente, vem sendo utilizados por pequenos agricultores como método alternativo de controle, mas estudos mais aprofundados devem ser realizados (BARBOSA *et al.*, 2002).

Os pós inertes utilizados no controle de insetos em produtos armazenados, tem quatro classificações básicas: 1- naturais, como argila, areia e cinzas, os quais podem ser aplicados em camadas, no topo ou misturando nos grãos; 2- silicatos naturais, conhecidos como terra de diatomácea, extraída de depósitos fósseis onde encontram-se esqueletos de algas do tipo diatomácea, que é composto principalmente por sílica e pequenas quantidades de minerais como óxido de ferro, alumínio e magnésio (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000); 3- silicatos artificiais, oriundos de sílica aerogel e de gel, composta através de soluções de silicato de sódio desidratadas, sendo pós leves monohigroscópicos, que podem ser mais eficazes em menores doses em comparados à terra de diatomácea; 4- minerais naturais, que são poeiras onde o silicato não é o principal componente, como por exemplo o hidróxido de cálcio (BANKS; FIELDS, 1995; JAYAS *et al.*, 1995; LORINI, 2001).

Estes pós inertes quando em dosagens próximas de 1 kg/t misturados aos grãos são muito eficazes no manejo de uma gama grande de diversos insetos que atacam produtos armazenados (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000; LORINI, 2001; JAYAS *et al.*, 2002). Os pós-inertes se agregam na epicutícula através de cargas eletrostáticas nos insetos, o que causa severa desidratação do corpo decorrente da adsorção de cera pelos cristais de sílica na camada de lipídios ou por ação abrasiva cuticular. Após a ação dos pós inertes, a camada de lipídios rompe, o que proporciona a evaporação de líquidos corporais (GOLOB, 1997; KORUNIC, 1998).

2.5.2.1. PÓ DE BASALTO E PÓ DE GESSO

Vários pós inertes causam degradação na cutícula de insetos, como as terras de diatomáceas, a partir da adsorção de cera e ação abrasiva, propiciando a perda de água, e resultando em morte por dessecação (KORUNIC, 1998). Bons resultados

foram alcançados em pesquisa utilizando cinza de xisto, uma substância proveniente da queima de restos oriundos do procedimento de extração de óleos de rochas pirobetuminosas, possuindo destaque para a presença de sílica na composição (PAIXÃO *et al.*, 2009). Como substituto de terra de diatomáceas é possível utilizar cinza de xisto, pois esta é potencialmente eficaz no controle de gorgulho-do-milho (SILVA *et al.*, 2012).

Outros subprodutos de xisto, pós de rochas basálticas, entre outros possuem um teor considerável de silicato. O principal componente do pó de basalto é o dióxido de silício (JAIROCE *et al.* 2016). Este composto tem capacidade de romper a cera da camada de epicutícula nos insetos. E com isso, espera-se que os insetos tenham as moléculas da camada de cera superficial absorvidas, causando o rompimento da sua camada de lipídios protetora, fazem com que ocorra a perda de lípidos e conseqüentemente a sua morte (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000).

O gesso composto provindo de rocha gipsita possui características interessantes como o rápido endurecimento, resistência mecânica e aderência (ARAGÃO, 2005). Acreditando-se que desta forma seja um produto com potencial inseticida, seja pela toxicidade de ingestão ou pela aderência ao corpo do inseto não permitindo com que este se movimente, fazendo com que ocorra sua morte. Dessa forma, os pós de basalto e gesso são possíveis alternativas para novas metodologias de controle de gorgulhos pragas em grãos de milho armazenados.

2.5.2.2. TERRA DE DIATOMÁCEAS

Dentre os procedimentos alternativos encontra-se a utilização de poeiras inertes, como a terra de diatomácea, a qual é extraída de sedimentos de silicato, tanto em reservatórios de água doce como salgada (CHANBANG *et al.*, 2007; LORINI, 2008). Dentre as muitas vantagens do uso desta substância, ressalta-se que este composto não é tóxico para a saúde de quem consumir ou ter contato com os grãos tratados, e também não gera riscos ao meio ambiente (LORINI, 2001). A terra de diatomácea é muito eficaz, além de possuir facilidade em ser manuseada, não necessita de especificidades em equipamentos quando a aplicação das doses pequenas for realizada (LORINI, 2001).

Apesar das boas vantagens, a terra de diatomácea pode ser afetada por diversos fatores, como a locomoção da população de insetos, a distribuição, e

quantidade de cerdas na superfície corporal, pela variação quanti-qualitativa de lipídios na cutícula, fatores que alteram a perda de água como a umidade do ar, entre outros, acarretando na variação da eficácia do pó-inerte (GOLOB, 1997; KORUNIC, 1998; LORINI *et al.*, 2009). Porém, várias pesquisas comprovam o potencial inseticida deste elemento, principalmente em pragas de produtos armazenados.

Em um estudo de eficiência da terra de diatomácea para controlar o gorgulho-do-milho, foi constatado que várias dosagens aplicadas até completar 27 dias podem resultar na mortalidade de 90% das amostras (MARSARO JÚNIOR *et al.*, 2007). Foi descoberto também que a ação abrasiva pode variar conforme a temperatura ambiental, causando diferenças na toxicidade das dosagens (VAYIAS; ESTEPHOU, 2009). Em um experimento envolvendo tanto *S. zeamais* e *T. castaneum*, foi obtida maior mortalidade para a primeira espécie citada, a qual aumenta de acordo com a exposição de tempo (ANTUNES *et al.*, 2013). Em uma pesquisa com uso de terra de diatomácea como técnica alternativa de controle para insetos-praga, a quantidade de 1 kg/t de milho, durante um ano, observou-se que não existia mais gorgulhos vivos no meio dos grãos, e não havia danos nos grãos em fase de armazenamento (LORINI, 2001).

Diversos fatores podem ser citados para diferenciar a suscetibilidade de insetos à terra de diatomácea, dentre eles o tamanho (volume e razão de superfície de área), comportamento, níveis de dessecação e diferenças qualitativas e quantitativas dos lipídios cuticulares deste organismo (KORUNIC, 1997; FIELDS; KORUNIC, 2000). Autores descobriram susceptibilidade reduzida em adultos de *Cryptolestes ferrugineus*, *Rhyzopertha dominica* e *Tribolium castaneum* expostos a terra de diatomácea por cinco a sete gerações quando comparadas com linhagens sem tratamento no laboratório. Significando que pode ocorrer o desenvolvimento da capacidade do inseto em produzir mecanismos de resistência comportamental ou fisiológica. Já constando em literatura que *T. castaneum*, sem ter tido um prévio contato com o produto, se demonstrou tolerante naturalmente a terra de diatomácea com nome comercial de Protect-It (RIGAUX *et al.*, 2001). Assim, pode se afirmar que ao encontrar uma fórmula eficiente que controle uma determinada espécie não permite que este resultado seja extrapolado para todas as espécies pesquisadas.

A terra de diatomácea possui mais eficiência quando utilizada em trigo, do que quando aplicada em outros grãos como milho, cevada, aveia e arroz (VAYIAS; STEPHOU, 2009). Cabe ressaltar que mesmo que a eficiência não seja ainda constatada, já foi possível analisar em uma pesquisa realizada por Antunes *et al.* (2011) que grãos de milho sem a aplicação de terra de diatomácea são facilmente danificados por insetos, e em cerca de dois meses, podem mudar sua classificação de Tipo 1, para uma classificação inferior ao padrão comercializado..

Capítulo 1 - Efeito de pós inertes na mortalidade do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório

3.1. RESUMO

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), geralmente atinge status de praga em grãos armazenados. O controle químico é o método mais utilizado para a supressão das populações, o que pode causar impactos adversos. Assim, este trabalho teve o objetivo de testar o efeito de diferentes pós inertes (pó de basalto, pó de gesso e terra de diatomácea), nas concentrações de 0,025g, 0,05g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho. Para este fim, os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 13 tratamentos e quatro repetições, 10 adultos por repetição. Aplicamos os testes de variância, normalidade e homocedasticidade, além de eficiência de controle (EC%), tempo letal mediano (LT50) e curvas de sobrevivência. Todos os tratamentos causaram mortalidade em *S. zeamais*, sendo que todas as concentrações com terra de diatomácea foram mais eficientes com 100% de mortalidade aos 20 dias, seguido do tratamento de 0,2 gramas de pó de gesso em 20g de grãos de milho, com eficiência superior a 95% aos 20 dias e 100% aos 30 dias. Os resultados indicaram que os tratamentos com terra de diatomácea possuíram maior índice de mortalidade e a melhor média em relação ao tempo de sobrevivência.

Palavras-Chave: besouro, milho; controle alternativo; gesso.

3.2. ABSTRACT

The corn weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), generally reaches pest status in stored grains. Chemical control is the most used method for population suppression, which can cause adverse impacts. Thus, this work aimed to test the effect of different inert powders (basalt powder, gypsum powder and diatomaceous earth), at concentrations of 0.025g, 0.05g, 0.1g and 0.2g/20g of grains. of corn. For this purpose, the experiments were carried out in a completely randomized design, with 13 treatments and four replications, 10 adults per replicate. We applied variance, normality and homoscedasticity tests, in addition

to control efficiency (EC%), median lethal time (LT50) and survival curves. All treatments caused mortality in *S. zeamais*, and all concentrations with diatomaceous earth were more efficient with 100% mortality at 20 days, followed by the treatment of 0.2 grams of gypsum powder in 20g of corn grains, with efficiency greater than 95% at 20 days and 100% at 30 days. The results indicated that the diatomaceous earth treatments had the highest mortality rate and the best average in terms of survival time.

Keywords: beetle, corn; alternative control; plaster.

3.3. INTRODUÇÃO

A produção de grãos de milho esta prevista em 106,4 milhões de toneladas com um crescimento de 3,7% a cima da safra anterior (CONAB, 2021). Os bons resultados da produção agrícola de grãos armazenados estão ligados diretamente à adoção de boas práticas de armazenamento e eficientes na produção e proteção, as quais, com o passar do tempo, tornaram-se indispensáveis com o aumento da produção para garantir a viabilidade dos grãos refletida na qualidade e na quantidade, evitando-se as perdas após a colheita e a desvalorização do produto (QUEIROZ *et al.*, 2009; LORINI, 2015). Sendo assim o cuidado com um cultivo sustentável que valorize procedimentos que venham a potencializar a produção e a diminuir os prejuízos ao decorrer das etapas, desde o cultivo até o armazenamento, são de extrema importância.

Dentre as pragas de grãos armazenados destaca-se a espécie *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), conhecida popularmente por gorgulho-do-milho. É muito importante economicamente, sendo considerada a principal praga de grãos de milho em armazenamento (TREMATERRA *et al.*, 2013). As fêmeas desta espécie sobrevivem em média 140 dias; cada uma pode ovipositar em torno de 282 ovos, sendo que o período de oviposição perdura por até 104 dias. Com os grãos de milho como substrato, o período que o ovo leva até eclodir a larva é de três a seis dias. O ciclo biológico se completa ao redor de 34 dias (LORINI; SCHNEIDER, 1994). Este inseto danifica os grãos devido a sua capacidade de penetrar profundamente na sua massa para se alimentar, e após depositam seus ovos nestes orifícios e ao iniciar a emergência das larvas, começa a fase mais prejudicial do gorgulho aos grãos, devido a larva se alimentar do mesmo (NWOSU, 2018), gerando perdas tanto na qualidade quanto no seu peso final, além de realizar

infestação cruzada e possuir um potencial biótico elevado (LORINI *et al.*, 2015). Pois através da alta movimentação deste inseto nos grãos sucede no favorecimento da dispersão de esporos e produção de micotoxinas de fungos pré-existentes nos grãos de milho (FERREIRA-CASTRO *et al.*, 2012). Sendo que estas micotoxinas após sua ingestão por humanos e animais podem resultar em respostas tóxicas (QUEIROZ *et al.*, 2012; LEGGIERI CAMARDO *et al.*, 2019). Além de que o gorgulho-do-milho é uma praga classificada como primária, a qual pode infestar grãos íntegros, colaborando com o surgimento de pragas secundárias elevando o índice de danos no produto final (ALENCAR *et al.*, 2011)

O controle químico com inseticidas sintéticos tem sido o método mais utilizado para o controle e proteção de grãos contra pragas como o gorgulho-do-milho (KIM *et al.*, 2019). Contudo, diversos fatores impactam negativamente a sua utilização, devido às toxicidades que estes apresentam para a saúde de seres humanos, animais e meio ambiente, ocasionando vários distúrbios socioeconômicos, além de favorecer a resistência dos insetos (VENDRAMIM; THOMAZINI, 2001; FINKLER, 2012; CAMPOS *et al.*, 2014; NASR *et al.*, 2016; KIM *et al.*, 2019; HAWKINS *et al.*, 2019). Alternativas de manejo de insetos estão sendo estudadas e inseridas no Brasil, apoiadas pelo rigor legislativo de outros países em relação aos resíduos químicos presentes em alimentos exportados, a fim de diminuir, desta forma, as consequências negativas do uso de inseticidas químicos (FINKLER, 2012).

Algumas técnicas de controle alternativo vêm sendo colocadas em prática com o uso de variações no som, na radiação e de temperatura, bem como tem se destacado os estudos em relação à pós inertes, como a terra de diatomácea (CHANBANG *et al.*, 2007; LORINI, 2008, JAIROCE *et al.*, 2016). A utilização de pós inertes é um método já utilizado em agricultura familiar antes mesmo do surgimento dos inseticidas sintéticos (LORINI, 1998). Estes atuam fisicamente através do desgaste do corpo do inseto, gerando uma ruptura na camada lipídica que compõe a superfície externa da cutícula, proporcionando a morte do inseto por desidratação devido a fácil perda de água após a ação do produto (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000). A eficácia dos pós inertes é comprovada em estudos que utilizam este controle tanto em campo quanto em armazenamento. No entanto, são muitos os tipos de pós que podem ser usados no controle destes insetos, e sua eficiência depende de muitos fatores como, por exemplo, sua composição química e sua granulometria (PAIXÃO *et al.*, 2009). Estudos também mostraram que grãos de

milho sem o controle de terra de diatomáceas ao serem infestados pelo gorgulho-do-milho podem, em dois meses, passar da classificação de qualidade tipo 1 para uma classificação de baixo padrão a ser comercializado (ANTUNES *et al.*, 2013).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo verificar o efeito de pós-inertes na mortalidade de *S. zeamais*, em laboratório.

3.4. MATERIAS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Ecologia de Insetos (Labei) do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, RS (IB - UFPEL), em 2021. Os grãos de milho (*Zea mays*) foram adquiridos através do comércio local. Estes foram previamente peneirados e desinfestados a partir de um congelamento por sete dias à -4°C, sendo mantidos posteriormente em recipientes de vidro cobertos por tecido Voil por dez dias até atingir seu equilíbrio higroscópico, evitando assim infestações de qualquer tipo de praga pré-existentes.

A criação de *S. zeamais* é mantida no Labei, na qual foi realizada uma análise morfológica para garantir que o inseto de trabalho não era *Sitophilus oryzae*. Esta análise baseou-se em verificar a genitália dos espécimes, pois em *S. zeamais* o edeago tem o ápice do esclerito agudo e é mais achatado. Na fêmea os lobos do esternito VIII são afilados e agudos apicalmente, enquanto em *S. oryzae* o edeago tem o ápice arredondado e a fêmea tem o esternito VIII com os lobos arredondados apicalmente (HALSTEAD, 1964) e foi mantido um acompanhamento para garantir a espécie desejada. Para obter insetos de mesma idade, 20 insetos adultos não sexados foram realocados em novos recipientes de vidro contendo grãos de milho por 15 dias. Logo, foram separados os grãos de milho com possível oviposição para aguardar a emergência de novos espécimes.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 13 tratamentos, com quatro repetições e quatro concentrações (Tabela 1), sendo que cada unidade amostral foi composta por um recipiente de plástico transparente (60 ml), sendo que a tampa possuía uma abertura circular vedada com tecido Voile, com 20 g de grãos de milho.

Tabela 1- Tratamentos com pó de basalto, pó de gesso e terra de diatomácea nas concentrações de 0,025g, 0,05g, 0,1 e 0,2g/20g de grãos de milho e grupo controle utilizadas em experimento de controle de *Sitophilus zeamais* em laboratório.

Tratamentos		Concentrações (g/t)
Basalto	T01	250
	T02	500
	T03	1.000
	T04	2.000
Gesso	T05	250
	T06	500
	T07	1.000
	T08	2.000
Terra de diatomáceas	T09	250
	T10	500
	T11	1.000
	T12	2.000
Controle	T13	00

Cada unidade experimental foi composta de 20 g de grãos de milho (teor de $\pm 12\%$ de umidade). Cada concentração dos tratamentos foi agitada por dois minutos, e após 10 gorgulhos adultos foram dispostos nos recipientes (± 14 dias de idade) (JAIROCE *et al.*, 2016). Os insetos na massa de grãos foram mantidos em câmara climatizada do tipo B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) sob temperatura de $28 \pm 3^\circ\text{C}$, umidade relativa de $30 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h. A análise de mortalidade dos insetos efetuou-se no decorrer de 30 dias a cada 24 h após a aplicação. A mortalidade dos insetos foi quantificada, sendo essa constatada quando o inseto não apresentou nenhum movimento durante dois minutos mediante estímulo com pincel macio e de ponta fina (ANTUNES *et al.*, 2013).

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, os dados de mortalidade foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de variâncias de Bartlett. A análise de variância (ANOVA) não-paramétrica de Kruskal-Wallis com Dunn com correção de Bonferroni post hoc ($P < 0,05$) foi empregada aos dados que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, mesmo após transformações, pelos pacotes “easyanova” e “dunn.test” do software R 4.0.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

Os dados de mortalidade, em porcentagem (%), dos tratamentos e do controle, também foram utilizados para o cálculo do percentual de mortalidade corrigida (%) [ou eficiência de controle (%)], por meio da fórmula de correção de mortalidade de Schneider-Orelli (contagem de insetos mortos; população uniforme de insetos nos tratamentos) $\{[MC\% = (\%M\text{Trat} - \%M\text{Test}) / (100 - M\text{Test}) * 100]$; em que MC é a mortalidade corrigida (%) em função do controle, MTrat é a mortalidade (%) observada no tratamento e MTest é a mortalidade (%) observada no controle} (PÜNTENER, 1981).

Além disso, para avaliar a sobrevivência ao longo do tempo (dias) dos gorgulhos expostos aos tratamentos, visando o cálculo do tempo letal mediano (LT50), foram utilizados os estimadores de Kaplan-Meier (método Log-Rank) e as curvas de sobrevivência foram comparadas pelo teste de Holm-Sidak ($P < 0,05$), por meio do software SigmaPlot 12.3 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA, USA).

3.6. RESULTADOS

A maioria dos tratamentos (basalto, terra de diatomácea e gesso) diferiram do grupo controle (Tabela 2). Aos 10 dias após a aplicação, os tratamentos que mais diferiram do grupo controle foram T9 (0,025g de terra de diatomácea/20g de milho), T10 (0,05g de terra de diatomácea/20g de milho), T11 (0,1g de terra de diatomácea/20g de milho) e T12 (0,2g de terra de diatomácea/20g de milho), com eficiências de 81,08 a 97,30%. Todavia os tratamentos T1 (0,025g de basalto/20g de milho), T2 (0,05g de basalto/20g de milho), T3 (0,1g de basalto/20g de milho), e T5 (0,025g de gesso/20g de milho) se igualam ao grupo controle, apresentando baixa eficiência.

Aos 20 dias após a aplicação, os tratamentos T8 (0,2g de gesso/20g de milho), T9 (0,025g de terra de diatomácea/20g de milho), T10 (0,05g de terra de diatomácea/20g de milho), T11 (0,1g de terra de diatomácea/20g de milho) e T12 (0,2g de terra de diatomácea/20g de milho) diferiram mais do grupo controle, com eficiências de 97,30 a 100%. Aos 30 dias após a aplicação todos os tratamentos diferiram do controle, com eficiências de 63,64 a 100%.

Os tratamentos com terra de diatomácea apresentaram o maior índice de mortalidade e a melhor média em relação ao tempo de sobrevivência. Dentre os tratamentos com pó de gesso, a concentração de 0,02g/20g de grãos de milho (T8) foi a que causou maior mortalidade em menor tempo de exposição após os tratamentos relativos à terra de diatomácea, quando comparados aos demais tratamentos, diferindo estatisticamente.

Tabela 2- Média de mortalidade e eficiência de controle de *Sitophilus zeamais* exposto a diferentes dosagens de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em grãos de milho.

TRATAMENTOS		10 DIAS		20 DIAS		30 DIAS	
		m±EP*	E%**	m±EP	E%	m±EP	E%
Basalto	T1 (0,025g/20g)	2,00±1,41c	13,51	3,00±1,68b	24,32	7,00±1,73a	63,64
	T2 (0,05g/20g)	0,75±0,48c	0,00	5,75±1,93ab	54,05	9,50±0,50a	93,94
	T3 (0,1g/20g)	1,00±0,00c	2,70	7,25±2,06ab	70,27	9,50±0,87a	93,94
	T4 (0,2g/20g)	3,75±2,39bc	32,43	6,00±1,83ab	56,76	10,00±0,00a	100,00
Gesso	T5 (0,025g/20g)	1,50±1,19c	8,11	8,00±1,08ab	78,38	9,25±0,48a	90,91
	T6 (0,05g/20g)	3,50±1,44bc	29,73	5,75±1,93ab	54,05	9,50±0,29a	93,94
	T7 (0,1g/20g)	3,25±1,65bc	27,03	7,50±1,32ab	72,97	10,00±0,00a	100,00
	T8 (0,2g/20g)	6,50±0,87ab	62,16	9,75±0,25a	97,30	10,00±0,00a	100,00
Terra de Diatomácea	T9 (0,025g/20g)	8,25±0,85a	81,08	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T10 (0,05g/20g)	9,75±0,25a	97,30	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T11 (0,1g/20g)	9,25±0,48a	91,89	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T12 (0,2g/20g)	9,75±0,25a	97,30	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
Controle	T13 – (0,00)	0,75±0,25c	--	0,75±0,25b	--	1,75±0,63b	--
GL _{Trat; Erro}		12; 39	--	12; 39	--	12; 39	--
X ²		35,39	--	35,29	--	32,07	--
P		< 0,001	--	< 0,001	--	< 0,013	--
CV%		48,20	--	34,92	--	13,19	--

E%= Eficiência de controle conforme fórmula de Schneider-Orelli.

Média de indivíduos mortos ± erro padrão ("EP"). Análise de variâncias não-paramétrica de Kruskal-Wallis com Dunn-correção de Bonferroni post-hoc ($P < 0.05$).

Houve diferença estatística entre as curvas de mortalidade, todos os tratamentos testados apresentaram mortalidade significativa superior ao do controle (Figura 1).

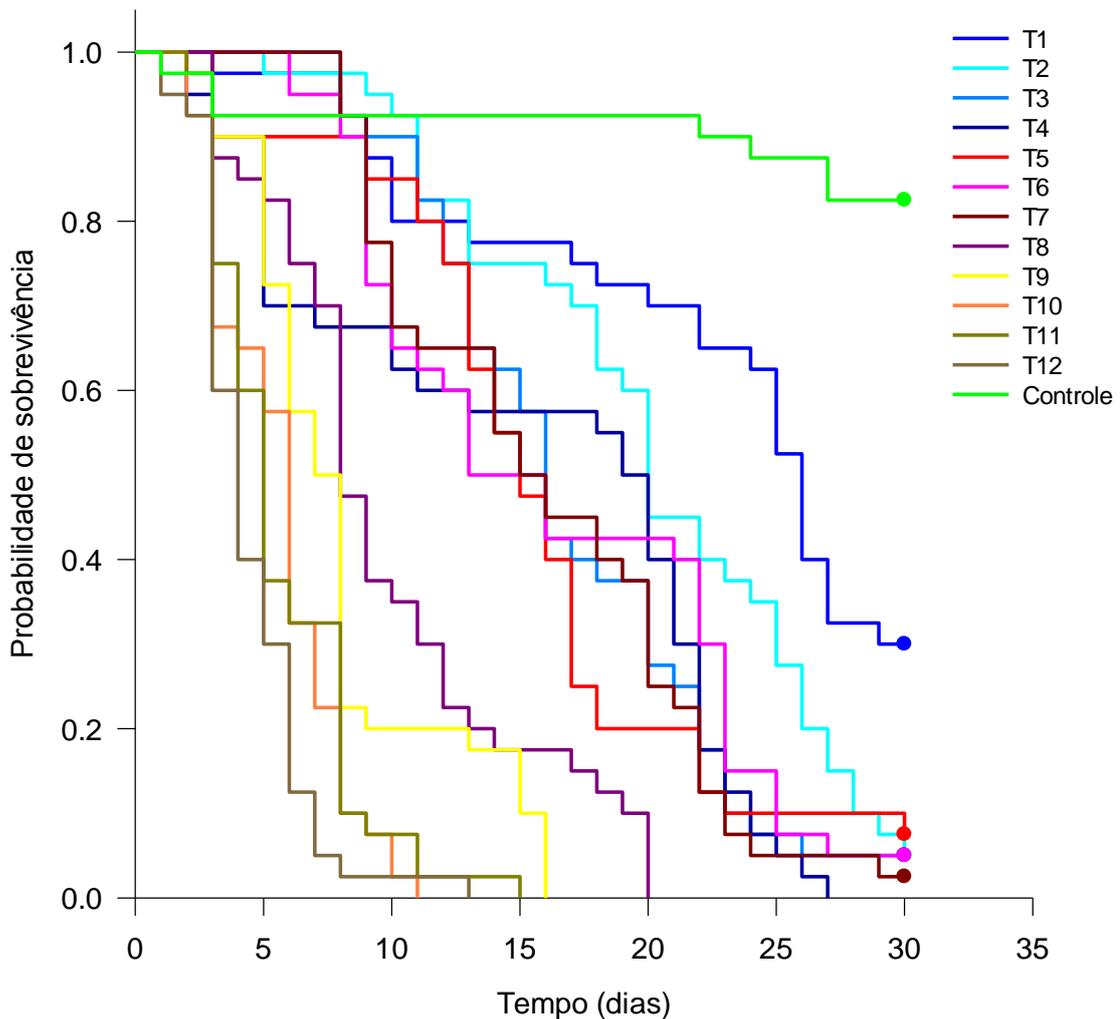


Figura 1- Curvas de sobrevivência de *Sitophilus zeamais* exposto aos tratamentos com diferentes dosagens de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em laboratório.

Legenda: T1- 0,025g de pó de basalto em 20g de grãos de milho (250g/t); T2- 0,05g de pó de basalto em 20g de grãos de milho (500g/t); T3- 0,1g de pó de basalto em grãos de milho (1.000g/t); T4- 0,2g de pó de basalto em 20g de grãos de milho (2.000g/t); T5- 0,025g de pó de gesso em 20g de grãos de milho (250g/t); T6- 0,05g de pó de gesso em 20g de grãos de milho (500g/t); T7- 0,1g de pó de gesso em 20g de milho (1.000g/t); T8- 0,2g de pó de gesso em 20g de grãos de milho (2.000g/t); T9- 0,025g de terra de diatomácea em 20g de grãos de milho (250g/t); T10- 0,05g de terra de diatomácea em 20g de grãos de milho (500g/t); T11- 0,1g de terra de diatomácea em 20g de grãos de milho (1.000g/t); T12- 0,2g de terra de diatomácea em 20g de grãos de milho (2.000g/t) e T13- Controle (sem adição de produtos).

Em dez dias de exposição foi alcançada uma eficiência de controle acima de 50% para o tratamento com 0,2g de gesso em 20g de milho (T8) em grãos de milho,

e uma eficiência superior a 80% para todos os tratamentos relacionados à terra de diatomácea.

Em torno de 20 dias foi possível observar uma eficiência de controle superior a 50% para todos os tratamentos relacionados ao pó de basalto, exceto o T1 (0,025g/20g de milho) de menor dosagem; para o pó de gesso todos atingiram percentual superior a 50% e o tratamento de maior dosagem (T8 – 0,2g/20g de milho) atingiu um percentual superior a 80%, e 100% de eficiência de controle para os tratamentos com terra de diatomácea, com exceção ao T10 (0,05g/20g de milho), com 97,3%, porém sem discrepância estatística entre os demais. E ao final da avaliação com 30 dias de exposição foi possível alcançar um percentual maior que 80% para todos os tratamentos, exceto o T1 de 0,025g de pó de basalto em 20g de grãos de milho o qual alcançou um percentual superior a 60%, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, apesar de não atingir uma eficiência de controle acima de 80%, ainda assim é um percentual interessante para futuramente testar-se sua influência em inimigos naturais, deixando em aberto como uma possível alternativa para utilização em campo para redução de população do inseto-praga. Quando comparados ao tratamento controle todos os tipos de pós utilizados, apresentaram potencial inseticida. Sendo os tratamentos com terra de diatomácea os que apresentaram melhor custo benefício por já ser conhecida a sua toxicidade, seguido do tratamento com 0,2g/20g de pó de gesso em milho, o qual possui o custo muito baixo para aquisição, porém seu teor de toxicidade aos seres não alvo ainda não está completamente esclarecido.

O tempo médio de sobrevivência (TL50) de adultos do gorgulho-do-milho diferiu significativamente entre os tratamentos (GL 12; X^2 541,94; $P < 0,001$). Contabilizando cerca de 20 dias para os tratamentos com pó de basalto, sendo o tratamento de 0,2g/20g de milho (T4) o que atingiu a melhor média (15,07 dias). Para os tratamentos com pó de gesso a média foi de 9 a 16 dias, sendo o tratamento de 0,2g/20g de milho (T8) o que atingiu melhor média contemplando 9,82 dias. E para a terra de diatomácea a média foi de 4 a 8 dias, sendo a melhor média relacionada ao tratamento de concentração 0,2g/20g de milho (T12) com 4,47 dias (Tabela 3).

Tabela 3- Tempo médio de mortalidade (TL50, em dias) de *Sitophilus zeamais* expostos a diferentes concentrações de pós de basalto, gesso e terra de diatomácea em grãos de milho.

TRATAMENTOS		TEMPO MÉDIO (IC95%)
Basalto	T1 (0,025g/20g)	22,57 (20,00 – 25,14) b
	T2 (0,05g/20g)	20,15 (18,05 – 22,24) bc
	T3 (0,1g/20g)	16,87 (15,10 – 18,65) c
	T4 (0,2g/20g)	15,07 (12,47 – 17,68) c
Gesso	T5 (0,025g/20g)	15,57 (13,43 – 17,72) c
	T6 (0,05g/20g)	16,32 (14,06 – 18,58) c
	T7 (0,1g/20g)	16,00 (14,10 – 17,90) c
	T8 (0,2g/20g)	9,82 (8,22 – 11,43) d
Terra de Diatomácea	T9 (0,025g/20g)	8,05 (6,80 – 9,29) de
	T10 (0,05g/20g)	5,57 (4,82 – 6,32) f
	T11 (0,1g/20g)	5,70 (4,83 – 6,56) ef
	T12 (0,2g/20g)	4,47 (3,80 – 5,14) f
Controle	T13 (0,0)	-- (--) a
	GL	12
	X ²	541,94
	P	< 0,001

The log rank statistic for the survival curves is greater that would be expected by chance; there is a statistically significant difference between survival curves ($P < 0.001$). To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure. Multiple Comparisons: All pairwise multiple comparison procedures (Holm-Sidak method).

3.7. DISCUSSÃO

Todos tratamentos testados causaram mortalidade em *S. zeamais*. Dentre eles o pó de basalto apresentou diferença estatística significativa ao final do período de avaliação (30 dias) com eficiência superior a 90% para os tratamentos T2 (0,05g/20g de grãos de milho) e T3 (0,1g/20g de pós de milho), 100% de eficiência para o tratamento T4 (0,2g/20g de grãos de milho), apenas o tratamento T1 (0,025g/20g de milho) ficou com eficiência menor que o necessário como requisito (63,64%), diferentemente do discutido no trabalho de Jairoce *et al.* (2016), em que após 21 dias de exposição todos os seus tratamentos já diferiam do grupo controle. Os autores alcançaram uma mortalidade superior a 80% para a dosagem de 2.000g/t aos 29 dias, o que corrobora com nosso estudo quando aos 30 dias resultou em 100% de mortalidade de *S. zeamais* nesta mesma dosagem.

O principal componente do pó de basalto é o dióxido de silício (JAIROCE *et al.*, 2016) este possui a capacidade de romper a camada de cera da epicutícula de

insetos (SUBRAMANYAM; ROESLI, 2000). Com isto o esperado é que a partir do uso do pó de basalto, este penetre na camada de cera superficial do inseto, rompendo a camada de lipídios que os protege e por fim resulte na morte deste inseto, devido à perda de líquidos pelo organismo (JAIROCE *et al.*, 2016).

A mortalidade de *S. zeamais* aumenta conforme o aumento do tempo de exposição em todos os tratamentos utilizados neste estudo. A terra de diatomácea possuiu destaque em relação aos pós de basalto e de gesso, com tratamentos chegando a 100% de mortalidade já nos primeiros dias assim como foi observado por Jairoce *et al.* (2016), onde a dosagem de 2.000g/t teve 100% de mortalidade ao quinto dia de exposição. Apesar da alta mortalidade nas concentrações com terra de diatomácea com bom tempo letal médio (TL50) neste estudo, o mesmo diferiu de outros estudos. Para Ribeiro; Lovatto; Vendramim (2018) o tempo médio letal oscilou entre 1,86 e 2,18 dias com as concentrações de 0,1 e 0,2g de terra de diatomácea para 20g de milho (1.000 e 2.000g/t), enquanto para este estudo a oscilação nestas concentrações foi entre 4,47 e 5,70 dias.

As dosagens de 0,1 e 0,2g de terra de diatomácea/20g de milho obtiveram alta acima de 90% aos 10 dias de exposição e 100% a partir de 20 dias corroborando com demais estudos que envolvem as mesmas dosagens com umidade de 12% (ANTUNES *et al.*, 2011; ANTUNES *et al.*, 2013). A dosagem de 500g/t de terra de diatomácea também chamou atenção, assim como no estudo de Ceruti *et al.* (2008), que observaram 90% de mortalidade de *S. zeamais* com esta concentração. A menor concentração de terra de diatomácea (0,025g/20g) proporcionou mortalidade maior que 80% a partir dos 10 dias de avaliação, indicando que a menor concentração utilizada apresenta boa eficiência (RIEDO; NEITZKE; OLIVEIRA, 2010).

O gesso composto provindo de rocha gipsita possui características interessantes como o rápido endurecimento, resistência mecânica e aderência (ARAGÃO, 2005). O gesso deve ter ação de ingestão e de contato pela aderência ao corpo do inseto prejudicando seu movimento. Os tratamentos com gesso apresentaram eficiências próximas as dos tratamentos com terra de diatomácea, pois as dosagens de 0,1 e 0,2g de gesso por 20g de grãos de milho não diferiram estatisticamente dos tratamentos de terra de diatomácea. O gesso em baixas concentrações também apresenta eficiência na mortalidade no caruncho do feijão,

Zabrotes subfasciatus (Boheman, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae) (CARVALHO, 2008), assemelhando-se aos resultados de nosso estudo.

Segundo Garcia (2014) é recomendado que um produto tenha no mínimo 80% de eficiência no controle de uma praga, neste sentido os tratamentos com terra de diatomácea T9 (0,025g/20g de milho), T10 (0,05g/20g de milho), T11 (0,1g/20g de milho) e T12 (0,2g/20g de milho) aos dez dias, acrescentando aos anteriores para os 20 dias o tratamento T8 (0,2g de gesso em 20g de milho) e aos trinta dias todos os tratamentos testados com exceção do T1 de 0,025g de pó de basalto em 20g de milho (63,64%), atingiram este nível de recomendação.

Os três tipos de pós (gesso, basalto e terra de diatomácea) em determinadas concentrações tornam-se eficientes em controlar *S. zeamais*, e que com o passar do tempo e o aumento da concentração esta eficiência tende a aumentar. Entretanto, pesquisas devem continuar sendo realizadas para melhorar a investigação da parte logística de aplicação, para que assim o produtor consiga colocar em prática com segurança o uso destas substâncias como uma alternativa no controle de insetos pragas de grãos armazenados.

3.8. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a mortalidade do inseto aumenta de acordo com o período em que o inseto fica exposto aos diferentes tipos de pós. E assim concluímos que:

As maiores taxas de mortalidade de *S. zeamais* foram obtidas no período de 11, 21 e 28 dias com a aplicação de terra de diatomácea (T10 – 0,05g/20g de milho), pó de gesso (T8 - 0,2g/20g de milho) e pó de basalto (T4 – 0,2g/20g de milho) respectivamente. Sendo assim, estes três tratamentos podem ser utilizados como controle efetivo no controle de *Sitophilus zeamais*. Podendo ser considerado um resultado rápido, levando em consideração que, por exemplo, as fêmeas do gorgulho-do-milho podem sobreviver em média 140 dias, sendo que deste período de sobrevivência 104 são de oviposição. A mortalidade nesta margem de tempo pode reduzir muito a quantidade de novas infestações, pois estará diminuindo a quantidade de tempo disponível para as fêmeas realizarem novas oviposições.

Aos dez dias de exposição os tratamentos com terra de diatomácea T10 (0,05g/20g de milho), T11 (0,1g/20g de milho) e T12 (0,2g/20g de milho) obtiveram

uma eficiência de controle (EC%) maior que 90%. Já aos 20 dias os tratamentos de terra de diatomácea alcançaram 100% de eficiência de controle e o tratamento com 2.000 g de pó de gesso por tonelada de milho obteve 97.30% de eficiência de controle.

Os tratamentos T12 (2.000g de terra de diatomácea/t de grãos de milho), T8 (2.000g pó de gesso/t de grãos de milho) e T4 (2.000g pó de basalto/t de grãos de milho) possuíram as melhores médias de tempo letal (TL50), respectivamente cerca de 4, 9 e 15 dias.

Existiu diferença estatística entre as curvas de sobrevivência e todos os tratamentos testados apresentaram mortalidade significativa superior ao do controle.

Capítulo 2 - Efeito de sais imidazólicos na mortalidade do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório

4.1. RESUMO

O controle químico é o método mais utilizado no controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855, tornando necessária a busca de métodos com menor impacto ambiental e de saúde pública. Com isso, o objetivo deste trabalho é conhecer o efeito de sais imidazólicos na mortalidade deste inseto em laboratório. Foram testados sais (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl), nas concentrações de 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g e 0,2g por 20g de grãos de milho, com 10 insetos em quatro repetições. Foi realizada análise de variância, eficiência de controle (EC%), tempo letal mediano (LT50) e curvas de sobrevivência. Os tratamentos utilizando sais imidazólicos são eficientes em controlar *S. zeamais*, a partir da concentração de 0,01g/20g de grãos de milho com todas as moléculas testadas. O composto C16MImCl apresentou 100% de eficiência para todas as concentrações utilizadas aos 10 dias. Este é o primeiro estudo aplicando sais imidazólicos em adultos de *S. zeamais*.

Palavras-Chave: controle alternativo; C18MImCl; C16MImMeS e C16MImCl.

4.2. ABSTRACT

Chemical control is the most used method to control *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855, making it necessary to search for methods with less environmental and public health impact. Thus, the objective of this work is to know the effect of imidazole salts on the mortality of this insect in the laboratory. Salts (C18MImCl, C16MImMeS and C16MImCl) were tested at concentrations of 0.01g, 0.02g, 0.04g, 0.1g and 0.2g per 20g of corn grains, with 10 insects in four replications. Analysis of variance, efficiency of control (EC%), median lethal time (LT50) and survival curves were performed. The treatments using imidazole salts are efficient in controlling *S. zeamais*, from the concentration of 0.01g/20g of corn grains with all the molecules tested. The compound C16MImCl showed 100% efficiency for all concentrations used at 10 days. This is the first study using imidazole salts in adults of *S. zeamais*.

Keywords: alternative control; C18MImCl; C16MImMeS and C16MImCl

4.3. INTRODUÇÃO

A estimativa de produção de grãos no Brasil em 2021 é em torno de 271,7 milhões de toneladas, comparada a safra de 2019/2020, a possibilidade é de ocorrer 5,7% ou 14,7 milhões de toneladas de aumento, com destaque para o milho. Para o milho existe uma previsão de 106,4 milhões de toneladas com crescimento de 3,7% superior a safra anterior (CONAB, 2021). Para garantir a viabilidade dos grãos, através da qualidade e quantidade, evitando prejuízos pós-colheita torna-se indispensável à adoção de boas práticas de armazenamento e eficientes na proteção no decorrer da produção (QUEIROZ *et al.*, 2009; LORINI, 2015). Desta forma, é importante manter o cuidado de um cultivo sustentável que valorize e potencialize a produção, diminuindo os prejuízos durante todas as etapas.

O gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) causa elevados prejuízos, sendo a principal praga do milho armazenado (TREMATERRA *et al.*, 2013). Devido ao hábito de perfurar profundamente na massa de grãos de milho para alimentar-se e se reproduzir, acaba danificando o mesmo. As fêmeas sobrevivem em média 140 dias; cada uma pode ovipositar em torno de 282 ovos, sendo que o período de oviposição perdura por até 104 dias. Com os grãos de milho como substrato, o período que o ovo leva até eclodir a larva é de três a seis dias. O ciclo biológico se completa ao redor de 34 dias (LORINI; SCHNEIDER, 1994). A fase larval é a mais prejudicial pois a alimentação da larva é constante (NWOSU, 2018), ocasionando perdas significativas na qualidade do produto (LORINI *et al.*, 2015). Esta infestação em estágio larval facilita a dispersão de esporos de fungos já existentes nos grãos, com aumento de produção de micotoxinas (FERREIRA-CASTRO *et al.*, 2012), podendo causar respostas tóxicas a humanos ou a outros animais que ingerem estes grãos contaminados (QUEIROZ *et al.*, 2012; LEGGIERI CAMARDO *et al.*, 2019). O gorgulho-do-milho também pode possibilitar o aparecimento de pragas secundárias aumentando os prejuízos na produção final de grãos (ALENCAR *et al.*, 2011).

O controle químico é o método mais comum no controle do gorgulho-do-milho (KIM *et al.*, 2019). Porém, devido aos impactos negativos a saúde humana, outros animais e ao ambiente (KIM *et al.*, 2019; HAWKINS *et al.*, 2019) torna-se fundamental a busca de métodos alternativos (FINKLER, 2012).

Dentre as novas possibilidades estão os sais imidazólicos constituídos de energia livre de Gibbs de solvatação negativa, sendo funcionais para formar compostos orgânicos flexíveis (WASSERSCHIED; KEIM, 2000). Além de ter alta entropia e baixa energia reticular, o que resulta em compostos termoestáveis, e também uma janela eletroquímica ampla, com solubilidade possível de ser ajustada, e uma condutividade alta (WASSERSCHIED; KEIM, 2000). Até o momento possuem relatos de poucos aspectos negativos em relação ao meio ambiente e sua toxicidade é baixa sobre micro-organismos importantes ambientalmente (RANKE *et al.*, 2007; BICZAK *et al.*, 2014). Estudos com culturas de células de mamíferos demonstraram que sais imidazólicos não são citotóxicos (RANKE *et al.*, 2006).

A eficiência das moléculas de sais imidazólicos (C16MImMeS e C18MImCl) foram recentemente aplicadas em baixas concentrações como larvicida de mosquitos *Aedes aegypti* (GOELLNER *et al.*, 2018), com percentual elevado de mortalidade, deteriorando o intestino médio do inseto. Porém estes compostos ainda têm muitos parâmetros a serem estudados e muitos organismos a serem testados (GOELLNER *et al.*, 2018).

Este trabalho tem o objetivo de testar a eficiência de sais imidazólicos no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais*, criados em condições de laboratório.

4.4. MATERIAS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Ecologia de Insetos (LABEL) do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas-UFPel, Campus Capão do Leão, RS (IB - UFPEL), em 2021. Os grãos de milho (*Zea mays*) foram adquiridos através do comércio local. Estes foram previamente peneirados e desinfestados a partir de um congelamento por sete dias à -4°C, sendo mantidos posteriormente em recipientes de vidro cobertos por tecido Voil por dez dias até atingir seu equilíbrio higroscópico, evitando assim infestações de qualquer tipo de praga pré-existentes.

Os gorgulhos foram obtidos a partir da criação mantida no LABEL, mantida no LABEL, na qual foi realizada uma análise morfológica para garantir que o inseto de trabalho não era *Sitophilus oryzae*. Esta análise baseou-se em verificar a genitália dos espécimes, pois em *S. zeamais* o edeago tem o ápice do esclerito agudo e é mais achatado. Na fêmea os lobos do esternito VIII são afilados e agudos

apicalmente, enquanto em *S. oryzae* o edeago tem o ápice arredondado e a fêmea tem o esternito VIII com os lobos arredondados apicalmente (HALSTEAD, 1964) e foi mantido um acompanhamento para garantir a espécie desejada. Foram realocados 20 adultos não sexados em novos recipientes de vidro contendo grãos de milho por 15 dias, posteriormente foram separados os grãos de milho com possível oviposição para a obtenção de insetos de mesma idade.

Foram testados os seguintes sais imidazólicos: 1-methyl-3-*n*-octadecylimidazolium chloride (C18MImCl), 1-*n*-hexadecyl-3-methylimidazolium methanesulfonate (C16MImMeS) e 1-*n*-hexadecyl-3-methylimidazolium chloride (C16MImCl).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 16 tratamentos e quatro repetições (Tabela 4), sendo que cada unidade experimental foi composta por um recipiente de plástico transparente (60 ml), com 20 g de grãos de milho. Os frascos foram cobertos com tecido Voile para evitar a fuga de indivíduos e permitir a entrada de oxigênio. Foram testadas as concentrações de 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g e 0,2g por 20g de grãos de milho, e um grupo controle (20 g de grãos de milho sem aplicação de tratamentos).

Tabela 4- Tratamentos com diferentes sais imidazólicos (C16MImMeS; C16MImCl e C18MImCl) nas concentrações de 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,1g e 0,2g/20g de grãos de milho e grupo controle.

TRATAMENTOS	CONCENTRAÇÕES (Com 20g de milho)
T1 – C16MImMeS	0,2g
T2 - C16MImMeS	0,1g
T3 - C16MImMeS	0,04g
T4 - C16MImMeS	0,02g
T5 - C16MImMeS	0,01g
T6 – C16MImCl	0,2g
T7 - C16MImCl	0,1g
T8- C16MImCl	0,04g
T9- C16MImCl	0,02g
T10- C16MImCl	0,01g
T11- C18MImCl	0,2g

T12- C18MImCI	0,1g
T13- C18MImCI	0,04g
T14- C18MImCI	0,02g
T15- C18MImCI	0,01g
T16- Controle	0,0g

Cada unidade experimental foi composta de 20 g de grãos de milho (teor de $\pm 12\%$ de umidade). Cada concentração dos tratamentos foi agitada por dois minutos e em seguida foram alocados 10 insetos adultos (± 14 dias de idade) em cada recipiente (JAIROCE *et al.*, 2016). Os insetos na massa de grãos foram mantidos em câmara climatizada do tipo B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) sob temperatura de $28 \pm 3^\circ\text{C}$, umidade relativa de $30 \pm 10\%$ e fotofase de 12 h. A análise de mortalidade dos insetos efetuou-se durante 15 dias a cada 24 h após aplicação. A mortalidade dos insetos foi quantificada, sendo essa constatada quando o inseto não apresentou nenhum movimento durante dois minutos mediante estímulo com pincel macio e de ponta fina (ANTUNES *et al.*, 2013).

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, os dados de mortalidade foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de variâncias de Bartlett. A análise de variância (ANOVA) não-paramétrica de Kruskal-Wallis com Dunn com correção de Bonferroni post hoc ($P < 0,05$) foi empregada aos dados que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, mesmo após transformações, pelos pacotes “easynova” e “dunn.test” do software R 4.0.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

Os dados de mortalidade (%), dos tratamentos e do controle, também foram utilizados para o cálculo do percentual de mortalidade corrigida (%) [ou eficiência de controle (%)], por meio da fórmula de correção de mortalidade de Schneider-Orelli (contagem de insetos mortos; população uniforme de insetos nos tratamentos) $\{[MC\% = (\%M\text{Trat} - \%M\text{Test}) / (100 - M\text{Test}) * 100]$; em que MC é a mortalidade corrigida (%) em função do controle, MTrat é a mortalidade (%) observada no tratamento e MTest é a mortalidade (%) observada no controle} (PÜNTENER, 1981).

Além disso, para avaliar a sobrevivência ao longo do tempo (dias) dos gorgulhos expostos aos tratamentos, visando o cálculo do tempo letal mediano (LT50), foram utilizados os estimadores de Kaplan-Meier (método Log-Rank) e as curvas de sobrevivência foram comparadas pelo teste de Holm-Sidak ($P < 0,05$), por meio do software SigmaPlot 12.3 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA, USA).

4.6. RESULTADOS

Através das curvas de sobrevivência demonstraram que todos os tipos de sais imidazólicos causaram alta mortalidade em *S. zeamais* quando misturados aos grãos de milho (Figura 2).

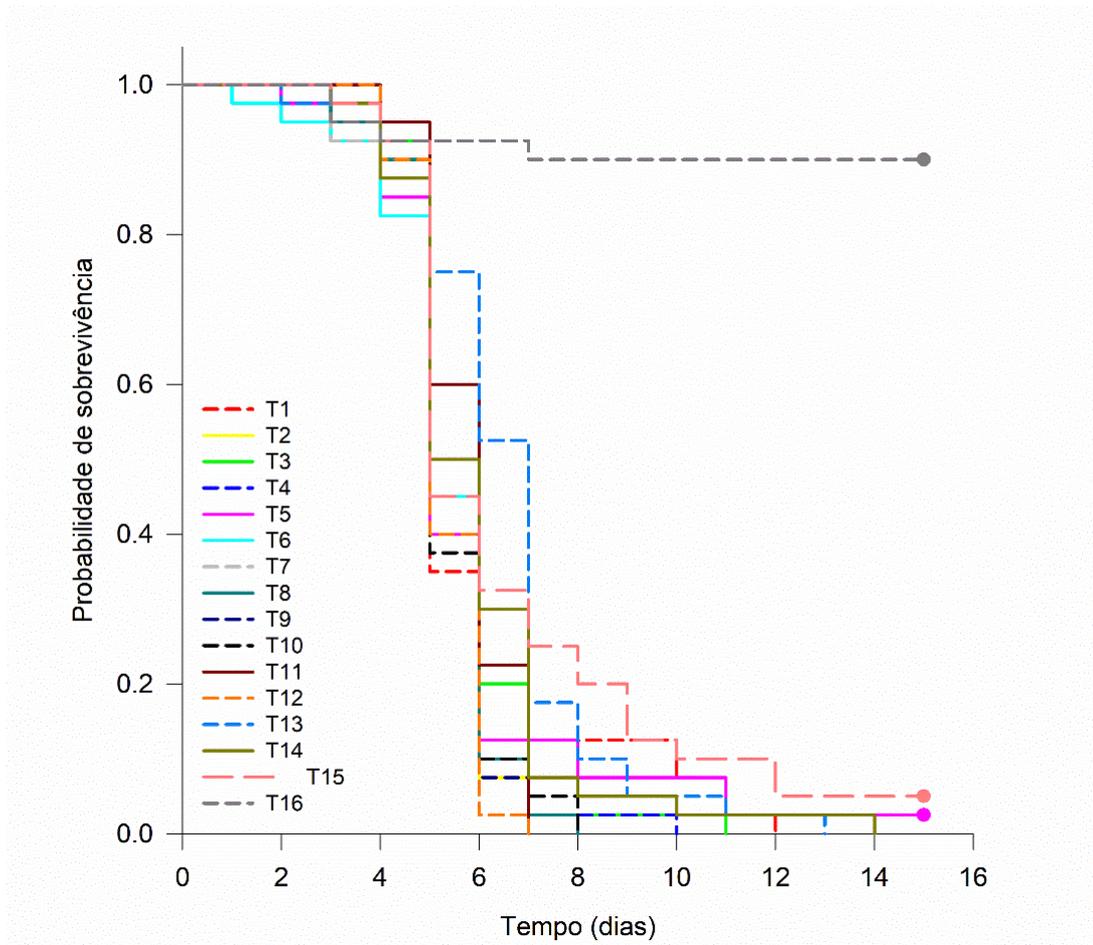


Figura 2- Curvas de sobrevivência de *Sitophilus zeamais* exposto aos tratamentos com diferentes dosagens de sais imidazólicos (C16MImMeS, C16MImCl e C18MImCl) em laboratório.

Legenda: T1- 0,2 g de C16MImMeS em 20 g de grãos de milho (2.000 g/t); T2- 0,1 g de C16MImMeS em 20 g de grãos de milho (1.000 g/t); T3- 0,04 g de C16MImMeS em 20 g de grãos de milho (400 g/t); T4- 0,02 g de C16MImMeS em 20 g de grãos

de milho (200 g/t); T5-0,01 g de C16MImMeS em 20 g de grãos de milho (100 g/t); T6- 0,2 g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho (2.000 g/t); T7- 0,1 g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho (1.000 g/t); T8- 0,04 g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho (400 g/t); T9- 0,02 g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho (200 g/t); T10- 0,01 g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho (100 g/t); T11- 0,2 g de C18MImCl em 20 g de grãos de milho (2.000 g/t); T12- 0,1 g de C18MImCl em 20 g de grãos de milho (1.000 g/t); T13 – 0,04 g de C18MImCl em 20 g de grãos de milho (400 g/t); T14 0,02 g de C18MImCl em 20 g de grãos de milho (200 g/t); T15- 0,01 g de C18MImCl em 20 g de grãos de milho (100 g/t) e T16- Controle (sem adição de produtos).

Aos cinco dias após a aplicação, a maioria dos tratamentos diferiu do grupo controle, com eficiências variando de 35,14% a 62,16%, mas igualaram entre si. Aos 10 dias após a aplicação, todos os tratamentos diferiram do grupo controle, com eficiências entre 88,89% a 100,00%. O mesmo padrão ocorreu aos 15 dias com eficiências entre 94,44 a 100,0% (Tabela 5).

Tabela 5- Média de mortalidade e eficiência de controle de *Sitophilus zeamais* exposto a diferentes dosagens de sais imidazólicos (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl) em grãos de milho.

TRATAMENTOS		5 DIAS		10 DIAS		15 DIAS	
		m±EP*	E%**	m±EP	E%	m±EP	E%
C16MImMeS	T1 (0,2g/20g)	6,50±1,55a	62,16	9,25±0,75a	91,67	10,00±0,00a	100,00
	T2 (0,1g/20g)	6,00±1,00a	56,76	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T3 (0,04g/20g)	5,50±0,96a	51,35	9,75±0,25a	97,22	10,00±0,00a	100,00
	T4 (0,02g/20g)	5,50±1,50a	51,35	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T5 (0,01g/20g)	6,00±1,73a	56,76	9,25±0,75a	91,67	9,75±0,25a	97,22
C16MImCl	T6 (0,2g/20g)	5,50±0,87a	51,35	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T7 (0,1g/20g)	5,00±1,78a	45,95	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T8 (0,04g/20g)	5,00±0,82a	45,95	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T9 (0,02g/20g)	6,00±1,22a	56,76	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T10 (0,01g/20g)	6,25±0,75a	59,46	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
C18MImCl	T11 (0,2g/20g)	4,00±0,41a	35,14	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T12 (0,1g/20g)	6,00±0,71a	56,76	10,00±0,00a	100,00	10,00±0,00a	100,00
	T13 (0,04g/20g)	2,50±0,87b	18,92	9,50±0,50a	94,44	10,00±0,00a	100,00

T14 (0,02g/20g)	5,00±0,58a	45,95	9,75±0,25a	97,22	10,00±0,00a	100,00
T15 (0,01g/20g)	5,50±1,26a	51,35	9,00±0,71a	88,89	9,50±0,50a	94,44
Controle T16 (0,00)	0,75±0,48b	--	1,00±0,58b	--	1,00±0,58b	--
GL _{Trat; Erro}	15; 48	--	15; 48	--	15; 48	--
X ^{2*} ou F ^{**}	1,835 ^{**}	--	34,28 [*]	--	47,72	--
P	0,047	--	0,003	--	< 0,001	--
CV%	53,94	--	8,28	--	4,28	--

E%= Eficiência de controle conforme fórmula de Schneider-Orelli.

Média de indivíduos mortos ± erro padrão ("EP"). *Análise de variância não-paramétrica de Kruskal-Wallis com Dunn-correção de Bonferroni post-hoc ($P<0.05$).

**Análise de variância paramétrica (ANOVA; Teste F) com Scott-Knott post-hoc ($P<0.05$).

Em cinco dias de exposição foi alcançada uma eficiência de controle acima de 60% para o tratamento com dosagem de 0,2 g de C16MImMeS em 20 g de grãos de milho (T1), e uma eficiência superior a 50% para todos os demais tratamentos relacionados a esta mesma molécula, bem como para os tratamentos com concentração de 0,2g/20g de milho (T6), 0,02g/20g de milho (T9) e 0,01g/20g de milho nos tratamentos com a molécula de C16MImCl e nas concentrações de 0,1g/20g de milho (T12) e 0,01g/20g de milho do tratamento com C18MImCl (T15). Em torno de 10 dias foi possível observar uma eficiência de controle superior a 90% para todos os tratamentos exceto para o T15 de menor concentração (0,01g/20g de milho) de C18MImCl, porém já apresentando mortalidade superior a 80%. Sendo que ao final das avaliações (15 dias) foi possível constatar mortalidade de 100% dos gorgulhos para quase todos os tratamentos testados, com exceção somente para as menores concentrações (0,01g/20g de grãos de milho) de C16MImMeS (T5) e C18MImCl (T15), os quais atingiram mortalidade de 97,22% e 94,44%, respectivamente.

Levando em consideração que as fêmeas do gorgulho-do-milho podem sobreviver em sua fase adulta cerca de 140 dias, ovipositando em torno de 282 ovos dentro de um período de 104 dias, e que estes compostos podem atingir nas condições estudadas uma eficiência de controle superior a 80% em baixas

concentrações já no decorrer de 10 dias é possível observar sua rapidez no controle do inseto estudado.

O tempo médio de sobrevivência (TL50) de adultos do gorgulho do milho exposto variou significativamente entre os tratamentos (GL 15; X^2 207,447; $P < 0,001$). Contabilizando uma média letal em torno de cinco a sete dias para todos os tratamentos testados, exceto para o tratamento controle (Tabela 6).

Tabela 6- Tempo médio de mortalidade (TL50, em dias) de *Sitophilus zeamais* expostos a diferentes concentrações de sais imidazólicos (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl) em grãos de milho.

TRATAMENTOS		TEMPO MÉDIO (IC95%)
C16MImMeS	T1 (0,2g/20g)	5,850 (5,232 – 6,468) bc
	T2 (0,1g/20g)	5,350 (5,101 – 5,599) c
	T3 (0,04g/20g)	5,675 (5,295 – 6,055) bc
	T4 (0,02g/20g)	5,450 (5,145 – 5,755) c
	T5 (0,01g/20g)	5,725 (5,023 – 6,427) bc
C16MImCl	T6 (0,2g/20g)	5,225 (4,838 – 5,612) c
	T7 (0,1g/20g)	5,425 (5,120 – 5,730) c
	T8 (0,04g/20g)	5,475 (5,169 – 5,781) c
	T9 (0,02g/20g)	5,300 (5,018 – 5,582) c
	T10 (0,01g/20g)	5,400 (5,104 – 5,696) c
C18MImCl	T11 (0,2g/20g)	5,775 (5,508 – 6,042) bc
	T12 (0,1g/20g)	5,325 (5,110 – 5,540) c
	T13 (0,04g/20g)	6,525 (5,930 – 7,120) b
	T14 (0,02g/20g)	5,925 (5,353 – 6,497) bc
	T15 (0,01g/20g)	6,600 (5,726 – 7,474) b
Controle	T16 (0,00)	-- (--a)
GL		15
X^2		207,447
P		< 0,001

The log rank statistic for the survival curves is greater that would be expected by chance; there is a statistically significant difference between survival curves (P

<0.001). To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure. Multiple Comparisons: All pairwise multiple comparison procedures (Holm-Sidak method).

Observando-se a mortalidade absoluta dos tratamentos utilizando sal comum (NaCl) e o grupo controle, foi possível estabelecer que não é qualquer tipo de sal que possui um potencial inseticida contra o gorgulho-do-milho (Tabela 7). Estatisticamente os tratamentos com NaCl não diferiram do grupo controle, por este motivo evitou-se acrescentá-los nas tabelas e gráficos, pois deixaria a visualização poluída prejudicando a interpretação das análises.

Tabela 7- Mortalidade absoluta de *Sitophilus zeamais* em grãos de milho tratados com diferentes concentrações de NaCl e grupo controle (sem aplicação).

Tratamentos (Com 20g de grãos de milho)		Mortalidade Absoluta
Grupo Controle	0,0g	03
	0,2g	01
NaCl	0,1g	00
	0,04g	06
	0,02g	04
	0,01g	00

4.7. DISCUSSÃO

Observou-se que as três moléculas de sais imidazólicos testadas (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl) possuem ação inseticida sobre *S. zeamais*.

De acordo com Garcia (2014) é necessário que um produto tenha pelo menos 80% de eficiência de controle da praga para ter seu uso como inseticida. Neste sentido, aos dez dias os tratamentos com C16MImCl foram os mais eficientes, pois constatou-se 100% de mortalidade em todos as concentrações, permitindo considerar um possível uso da menor concentração utilizada (T10 - 0,01g/20g de

grãos de milho) como o ideal para futuro custo benefício na aplicação pelos produtores. Entretanto não diferiu estatisticamente das moléculas C16MImMeS e C18MImCl, nas quais apresentaram eficiência superior a 80% no tratamento T15 (0,01 g de C18MImCl/20g de grãos de milho), superior a 90% nos tratamentos T1(0,2g/20g), T3(0,04g/20g) e T5(0,01g/20g) respectivos à molécula de C16MImMeS e nos tratamentos T13(0,04g/20g) e T14(0,02g/20g) respectivos à molécula C18MImCl. Além de todos os tratamentos com C16MImCl, também resultou em 100% de eficiência para os tratamentos T2(0,1g/20g) e T4(0,02g/20g) com C16MImMeS e nos tratamentos T11(0,2g/20g) e T12(0,1g/20g) em C18MImCl. Em 15 dias a eficiência de controle dos sais imidazólicos foi de 100% para todos os sais imidazólicos utilizados no teste, exceto na menor concentração aplicada de C16MImMeS e C18MImCl (T5 e T15 – 0,01g/20g de grãos de milho), atingindo respectivamente uma mortalidade 97,22% e 94,44%.

A mortalidade do gorgulho-do-milho aumentou com o aumento de tempo de exposição aos tratamentos, com uma média letal (TL50) em torno de cinco dias para todos os tratamentos com sais imidazólicos, sendo a melhor média de letalidade observada no tratamento T6 (0,2g de C16MImCl em 20 g de grãos de milho) em contra partida T15 (0,01g de C18MImCl em 20g de milho) foi o tratamento que levou mais tempo para atingir 50% de mortalidade, respectivamente em torno de 5,23 e 6,6 dias.

As moléculas de sais imidazólicos C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl são eficientes no controle de *S. zeamais*, e com o passar do tempo esta eficiência tende a aumentar. Em um estudo utilizando larvas de *Aedes aegypti*, em meio aquoso, no qual foram aplicados também os três compostos de sais imidazólicos utilizados no presente estudo observou-se eficiência de controle aproximada de 90% de mortalidade larval após 48h com a molécula C18MImCl. O estudo realizado com *A. aegypti*, corrobora com o fato dos compostos de sais imidazólicos possuírem potencial para controlar insetos em status de praga (GOELLNER *et al.*, 2018). Devido à diminuta quantidade de pesquisa com estes compostos utilizando-os para controle de insetos, é de grande importância que pesquisas continuem sendo realizadas para avaliar os efeitos da ação dos sais imidazólicos no desenvolvimento biológico do gorgulho-do-milho, além de idealizar uma boa logística de aplicação,

para o produtor ter condições seguras para por em prática a utilização destas substâncias no controle de pragas de grãos armazenados.

4.8. CONCLUSÕES

Os sais imidazólicos são eficientes para causar mortalidade de *Sitophilus zeamais*, e sua ação está diretamente relacionada ao tempo de exposição do inseto a essas substâncias.

Existiu diferença estatística significativa entre as curvas de sobrevivência em todos os tratamentos com sais imidazólicos testados, diferindo do grupo controle.

Todos os três sais imidazólicos testados (C18MImCl, C16MImMeS e C16MImCl) são promissores ao futuro uso como alternativa ao controle de *S. zeamais*, sendo que todas as concentrações testadas apresentaram média de letalidade (TL50) em torno de cinco dias após a exposição.

C16MImCl é o composto de sal imidazólico que se destacou, pois apesar de não diferir estatisticamente dos demais, obteve mortalidade de 100% dos insetos expostos aos dez dias em todas as suas concentrações testadas. Sendo assim o mais indicado, pois o uso de sua menor concentração (0,01g de C16MImCl/20g de grãos de milho) possivelmente já seria o suficiente para seu controle na situação testada no presente estudo.

Estes resultados de mortalidade possuem muita rapidez, levando em consideração, por exemplo, o ciclo de vida de uma fêmea do gorgulho-do-milho. A qual pode viver em torno de 140 dias, onde destes estará ovipositando por volta de 104 dias. A mortalidade neste período de tempo acarreta em redução do tempo de oviposição, e isto certamente implica em menor infestação conseguinte.

Este é o segundo trabalho testando a eficiência inseticida de sais imidazólicos em insetos e é o primeiro estudo aplicando estes compostos em inseto de importância agrícola, utilizando adultos de *S. zeamais*, indicando assim seu promissor potencial no controle de insetos em status de praga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados neste estudo demonstram que com os compostos testados a mortalidade de *Sitophilus zeamais* tende a aumentar de acordo com o tempo em que o inseto fica exposto.

Os pós de basalto, gesso e terra de diatomácea, apresentam potencial inseticida dependendo da concentração e do tempo de exposição. Com destaque para a terra de diatomácea que apresentou o maior índice de mortalidade e a melhor média em relação ao tempo de sobrevivência. Dentre os demais tratamentos, o que possuiu a concentração de 0,2g de gesso em 20g de milho obteve destaque quando comparado aos tratamentos com terra de diatomácea.

Referente ao experimento com sais imidazólicos, foi possível observar que os três compostos utilizados são eficientes em controlar *S. zeamais*, a partir da concentração de 0,01g/20g de grãos de milho. Ocorrendo destaque para o composto C16MImCl, o qual resultou em dez dias numa eficiência de controle de 100% para todas as concentrações utilizadas.

Este é o primeiro estudo aplicando sais imidazólicos em adultos de *S. zeamais*. Observando potencial promissor como inseticida, bem como para novas pesquisas para entender melhor sobre a ação destes compostos na biota desse inseto.

Estes resultados de mortalidade tanto com os diferentes tipos de pós, como com os diferentes compostos de sais imidazólicos possuem muita rapidez, levando em consideração, por exemplo, o ciclo de vida de uma fêmea do gorgulho-do-milho. A qual pode viver em torno de 140 dias, onde destes estará ovipositando por volta

de 104 dias. A mortalidade neste período de tempo acarreta em redução do tempo de oviposição, e isto certamente implica em menor infestação conseguinte.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; FERREIRA, L. G.; COSTA, A. R.; PIMENTEL, M. A. G. Qualidade de milho armazenado e infestado por *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 09-18, 2011.

ALMEIDA FILHO, A. J.; FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Determinação de perda de peso do milho (*Zea mays*) provocada por *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zeamais*. **Revista Ecosistema**, v. 27, n. 1, p. 41-44, 2003.

ALMEIDA, F. de A. C.; GOLDFARB, A. C.; GOUVEIA, J. P. G. de. Avaliação de extratos vegetais e métodos de aplicação no controle de *Sitophilus* spp. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 1, p. 13-20, 1999.

ANDERSON, E. B.; LONG, T. E. Imidazole- and imidazolium- containing polymers for biology and material science applications. **Polymer**. v. 51, n. 12, p. 2447-2454, 2010.

ANTUNES, L. E. G.; VIEBRANTZ, P. C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 615-620, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a12>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

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, p. 169-176, 2013.

ARAGÃO, M. M. **Materiais de construção II – Aglomerantes – Gesso: especificações e propriedades**. 2005. Disponível em: <<http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/gesso>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ARTHUR, F. H. Grain protectant chemical: present status and future trends. In: Proceedings. **International Working Conference on Stored-Product Protection**. v. 2, p. 719-721, 1994.

BANKS, H. J.; FIELDS, P. G. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N. D. G.; MUIR, W. E. **Stored grain ecosystems**. Marcell Dekker, p. 353-409, 1995.

BARBOSA, F. R.; YOKOYAMA, M.; PEREIRA, P. A. A.; ZIMMERMANN, F. J. P. Controle do caruncho do feijoeiro *Zabrotes subfasciatus* com óleos vegetais, munha, matérias inertes e malathion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1213-1217, 2002.

BICZAK, R.; PAWLOWSKA, B.; BALCZEWSKI, P.; RYCHTER, P. The role of the anion in the toxicity of imidazolium ionic liquids. **Journal of Hazardous Materials**. p. 181-190, 2014.

CAMPOS, A. C. T. de.; RADUNZ, L.L.; RADÜNZ, A, L.; MOSSI, A. J.; DIONELLO, R. G.; ECKER, S. L. Atividade repelente e inseticida do óleo essencial de carqueja doce sobre o caruncho do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 861-865, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n8/v18n08a13>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

CARVALHO, L. H. T. de. **Atividade inseticida de pós de vegetais e do gesso em relação ao caruncho do feijão, *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae)**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, 2008.

CERUTI, F. C.; LAZZARI, S. M. N. Combination of diatomaceous earth and powder deltamethrin for insect control in stored corn. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, p. 580-583, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262005000400020>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

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**, v. 9, n. 1, p. 73-78, 2008.

CHANBANG, Y.; ARTHUR, F. H.; WILDE, G. E.; THRONE, J. E. Diatomaceous earth plus methoprene for control of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in rough rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 396-401, 2007

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Oitavo levantamento, maio 2021 - Safra 2020/21. Brasília, Companhia Nacional de Abastecimento. 2021.

COPATTI, C. E.; MARCON, R. K.; MACHADO, M. B. Avaliação de dano de *Sitophilus zeamais*, *Oryzaephilus surinamensis* e *Laemophloeus minutus* em grãos de arroz armazenados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 855-860, 2013.

CUI, B.; ZHENG, B. L.; ZHENG, Q. Y. Imidazole alkaloids from *Lepidium meyenii*. **Journal of Natural Products**, v. 66, n. 8, p. 1101-1103, 2003.

FARONI, L. R. A.; SILVA, J. S. Manejo de pragas no ecossistema de grãos armazenados. In: SILVA, J. S. (Org.). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. 2.ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008. p. 371-406.

FERREIRA-CASTRO, F. L.; POTENZA, M. R.; ROCHA, L. O.; CORREA, B. Interaction between toxigenic fungi and weevils in corn grain samples. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 594-600, 2012.

FIELDS, P. G.; KORUNIC, Z. The effect of grain moisture content and temperatures on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-products beetles. **Journal of Stored Products Research**, v.36, p.1-13, 2000.

FINKLER, C. L. L. Controle de insetos: uma breve revisão. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 8 n. 9, p. 169-189, 2012.

FLORES, A. V.; RIBEIRO, J. N.; NEVES, A. A.; QUEIROZ, E. L. R. Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 111-125, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/asoc/v7n2/24690>> Acesso em: 13 mai. 2021.

FONTES, L. S.; ALMEIDA FILHO, A. J.; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (linné, 1763) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivo Instituto Biológico**, v. 70, n. 3, p. 303-307, 2003.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; BAPTISTA, 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, S. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GARCIA, F. R. M. **Zoologia Agrícola: manejo ecológico de pragas**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Rígel, 2014. 256p.

GENG, F.; ZHENG, L. Q.; YU, L.; LI, G. Z.; TUNG, C. H. Interaction of bovine serum albumin and long-chain imidazolium ionic liquid measured by fluorescence spectra and surface tension. **Process Biochemistry**, v. 45, p. 306-311, 2010.

GOELLNER, E.; SCHMITT, A. T.; COUTO, J. L.; MÜLLER, N. D.; PILZ-JUNIOR, H. L.; SCHREKKER H. S.; SILVA C. E.; DA SILVA O. S. Larvicidal and residual activity of imidazolium salts against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Pest Management Science**. v. 74 n. 4, p. 1013-1019, 2018.

GOLOB, P. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. **Journal of Stored Products Research**, v. 33, n. 1, p. 69-79. 1997.

GRENIER, B, OSWALD, I. Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, n. 3, p. 285-313, 2011.

GUSMÃO, N. A. C.; LEON, M. E. S. Implementação de um sistema de manejo e controle integrado de pragas em uma indústria de arroz. **Revista da 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, vol. 14, n.14, p.1894-1902, 2017. Disponível em: <<http://revista.urcamp.tche.br/index.php/rcjppg/article/view/666>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

HALSTEAD, D. G. H. The separation of *Sitophilus oryzae* (L.) and *S. zeamais* Motschulsky (Col., Curculionidae), with a summary of their distribution. **The Entomologist's Monthly Magazine**. n. 99, p. 72- 74, 1964.

HAWKINS, N.J.; BASS, C.; DIXON, A.; NEVE, P. The evolutionary origins of pesticide resistance. **Biological Reviews**, v. 94, n. 1, p. 135-155, 2019.

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.

JAYAS, D. S.; N. D. G. WHITE & W. E. MUIR. **Stored Grain Ecosystems**. Marcel Dekker, New York, 1995, 757p.

KIM, B. S.; SONG, J. E.; PARK, J. S.; PARK, Y. J. SHIN E, M.; YANG, J. O. Insecticidal Effects of Fumigants (EF, MB, and PH 3) towards Phosphine-Susceptible and -Resistant *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Insects**, v. 10, n. 10, p.

327, 2019. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31575082/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

KNILLMANN, S.; LIESS, M. Pesticide Effects on Stream Ecosystems: Drivers, Risks, and Societal Responses. In: SCHRÖTER, M.; BONN, A.; KLOTZ, S.; SEPPELT, R.; BAESSLER, C. (eds) **Atlas of Ecosystem Services**. Springer, 2019, p. 211-214.

KORUNIC, Z. Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earths without conducting bioassays. **Journal of Stored Products Research**, v.33, p.219-229, 1997.

KORUNIC, Z. Review *Diatomaceous earths*, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, n. 2, p. 87-97, 1998.

LEGGIERI, M. C.; GIORNI, P.; PIETRI, A.; BATTILANI, P. *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* Interaction: Modeling the Impact on Mycotoxin Production. **Frontiers in Microbiology**, v. 10:2653, 2019.

LIU, Y.; LONAPPAN, L.; BRAR, S. K.; YANG, S. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. **Science of The Total Environment**, v. 645, p. 60–70, 2018.

LORINI, I.; SCHNEIDER, S. Pragas de grãos armazenados: resultados de pesquisa. **Embrapa–CNPT**, Passo Fundo, p. 47. 1994.

LORINI, I. Controle integrado de pragas de grãos armazenados. **EMBRAPA-CNPq**, Passo Fundo, p. 52. 1998.

LORINI, I. Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo, p. 80. 2001. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/820424/1/ID8655LV0370>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo, p. 72. 2008.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING, A. A. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o Armazenamento. **ABRATES**. v. 19, n. 1, p. 21-28, 2009.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento. **Série sementes**. Paraná: Embrapa, p. 12, 2010.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. Brasília, **Embrapa**, DF, p. 84. 2015.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; MOURAO JUNIOR, M.; DE PAIVA, W. R. S. C.; BARRETO, H. C. S. Eficiência da terra de diatomácea no controle de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado. **Revista Acadêmica de Curitiba**, v. 5, n. 1, p. 27-32, 2007.

MELO, B. A. de; OLIVEIRA, S. R. de; LEITE, D. T.; BARRETO, C. F.; SILVA, H. de S. Revisão de Literatura: Inseticidas botânicos no controle de pragas de produtos armazenados. **Revista Verde**, v. 6, n. 4, p. 01-10, 2011.

MOREIRA, M. A. B.; ZARBIN P. H. G.; CORACINI, M. D. A. Feromônios associados aos coleópteros-praga de produtos armazenados. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 472-477, 2005.

MWANGI, J. K.; MUTUNGI, C. M.; MIDINGYI, S. K. G.; FARAJ, A. K.; AFFOGNON, H. D. An assessment of the magnitudes and factors associated with postharvest losses in off-farm grain stores in Kenya. **Journal of Stored Products Research**, v.73, p.7-20, 2017.

NASR, H. M.; EL-DEMERDASH F. M.; EL-NAGAR W. A. Neuro and renal toxicity induced by chlorpyrifos and abamectin in rats: Toxicity of insecticide mixture. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 1852-1859, 2016.

NEVES, D. P. **Controle de Insetos. Parasitologia humana**. Editora Atheneu, São Paulo, 2003, 387p.

NWOSU, L. C. Impact of Age on the Biological Activities of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) Adults on Stored Maize: Implications for Food Security and Pest Management. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 5, p. 2454-2460, 2018.

PAIXÃO, M. F.; AHRENS, D.C.; BIANCO, R.; OHLSON, O. C.; SKORA NETO, F., SILVA, F. A.; CAIEIRO, J. T.; NAZARENO, N. R. X. Controle alternativo do gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* em milho armazenado com subprodutos de xisto, no Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 67-75, 2009.

PEDOTTI-STRIQUER, L.; BERVIAN, C. I. B.; FAVERO, S. Ação repelente de plantas medicinais e aromáticas sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 10, n. 1, p. 55-62, 2006.

PEREIRA, P. R. V. S.; ALMEIDA, L. M. Chaves para identificação dos principais Coleoptera (*Insecta*) associados com produtos armazenados. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 1, p. 271-283, 2001.

PICANÇO, M. C.; GALVAN, T. L.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, E. C. do; GONTIJO, L. M. Intensidade de perdas ataque de insetos-praga e incidência de inimigos naturais em cultivares de milho em cultivo de safrinha, **Ciência Agrotécnica**, v. 27, n. 2, p. 339- 347, 2003.

PORTO, M. F.; SOARES, W. L. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e proposta para uma agenda de pesquisa inovadora. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 37, p. 17-50. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0303-76572012000100004>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

PÜNTENER, W. **Manual for field trials in plant protection**. Agricultural Division, Ciba-Gueigy Limited, 1981, 205p.

QUEIROZ, V. A. V.; SANTOS, J. P.; TIBOLA, C. S.; QUEIROZ, L. R. Boas práticas e sistema APPCC na fase de pós-colheita de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, 122).

QUEIROZ, V. A. V.; de OLIVEIRA ALVES, G. L.; da CONCEIÇÃO. R. R. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; MENDES, S. M.; de AQUINO RIBEIRO, P. E.; da COSTA, R. V. Ocorrência de fumonisinas e zearalenona em milho armazenado em agricultura familiar em Minas Gerais. **Brazil Food Control**, v. 28, n. 1, p. 83-86, 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2020. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>> Acesso em: 13 dez. 2021.

RANKE, J.; COX, M.; MÜLLER, A.; SCHMIDT, C.; BEYERSMANN, D. Sorption, cellular distribution, and cytotoxicity of imidazolium ionic liquids in mammalian cells – influence of lipophilicity. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 88, n. 2, p. 273-285, 2006.

RANKE, J.; STOLTE, S.; STÖRMANN, R.; ARNING, J.; JASTORFF, B. Design of Sustainable Chemical Products – The example of Ionic Liquids. **Chemical Reviews**, v. 107, n. 6, p. 2183-2206, 2007.

RIBEIRO, L. P.; LOVATTO, M.; VENDRAMIM, J. D. Avaliação da eficácia de duas formulações comerciais de terra de diatomácea no controle do gorgulho-do-milho com base em parâmetros toxicológicos. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 1, p. 56-60, 2018.

RIDUAN, S. N.; ZHANG, Y. Imidazolium salts and their polymeric materials for biological applications. **Chemical Society Reviews**, v. 42, n. 23, p. 9055-9070, 2013.

RIEDO, I. C.; NEITZKE, J.; OLIVEIRA, N. C. de. Controle de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em milho (*Zea mays* L.) tratado com terra de diatomácea. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, p. 185-188, 2010.

RIGAUX, M.; HAUBRUGE, E.; FIELDS, P. G. Mechanisms for tolerance to diatomaceous earth between strains of *Tribolium castaneum*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.101, p.33-39, 2001.

SANTOS, J. P.; FONTES, R. A. Armazenamento e controle de insetos no milho estocado na propriedade agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 165, p. 40-45, 1990.

SCHÖLLER, M.; PROSELL, S.; AL-KIRSHI, A. G.; REICHMUTH, C. H. Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. **Journal of Stored Products Research**, v. 33, n. 1, p. 81-87, 1997.

SILVA, D. F. G.; AHRENS, D. C.; PAIXAO, M. F.; SOKORANETO, F.; ROMEL, C. C.; COMIRAN, F.; NAZARENO, N. R. X.; COELHO, C. J. Tratamento de milho em grão e em espiga com pós-de-rocha e subprodutos do xisto no controle do gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* Mots., 1855. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3, p. 143-151, 2012.

SILVA, P. H.; TRIVELIN, P. C. C. O.; GUIRADO, N.; AMBROSANO, E. J.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AREVALO, R. A. Controle alternativo de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) em grãos de milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 902-905, 2007.

SUBRAMANYAM, B.; ROESLI, R. INERT DUSTS. IN: SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D. W. (ed.), **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 321-380.

TAVARES, M. A. G. C.; VENDRAMIM, J. D. Bioatividade da erva-de-santa-maria, *Chenopodium ambrosioides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 2, p. 319-323, 2005.

TREMATERRA, P.; IANIRO, R.; ATHANASSIOU, C. G, KAVALLIERATOS, N. G. Behavioral responses of *Sitophilus zeamais* Motschulsky adults to conditioned grain kernels. **Journal of Stored Products Research**, v. 53, p. 77-81, 2013.

VAYIAS, B. J.; STEPHOU, V. K. Factors affecting the insecticidal efficacy of an enhanced diatomaceous earth formulation against three stored-product insect species. **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 4, p. 226-231, 2009.

VENDRAMIM, J. D.; THOMAZINI, A. P. B W. Traça *Tuta absoluta* (Meyrick) em cultivares de tomateiro tratadas com extratos aquosos de *Trichilia pallida* Swartz. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 607-611. 2001.

WASSERSCHIED, P.; KEIM, W. Ionic liquids – new “Solutions” for transition metal catalysis. **Angewandte Chemie International**, v. 39, n. 21, p. 3772-3789, 2000.