



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E
BIOPROCESSOS**

MESTRADO PROFISSIONAL

ARYANNE RODRIGUES DE LIMA COSTA

**APLICAÇÃO DE MICROALGAS MARINHAS FOSSILIZADAS EM
FORMULAÇÕES DE BIOPRODUTOS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS**

ARARAQUARA

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

ARYANNE RODRIGUES DE LIMA COSTA

**APLICAÇÃO DE MICROALGAS MARINHAS FOSSILIZADAS EM
FORMULAÇÕES DE BIOPRODUTOS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Prata Gaona

ARARAQUARA

2025

C937a Costa, Aryanne Rodrigues de Lima.
Aplicação de microalgas marinhas fossilizadas em formulações de bioprodutos agrícolas sustentáveis / Aryanne Rodrigues de Lima Costa. – Araraquara, 2025.
61 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de concentração: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos.

Orientador: Carlos Augusto Prata Gaona.

1. Terra de diatomáceas. 2. Produtos biológicos. 3. Caruncho. 4. Agricultura sustentável. 5. Recursos marinhos. I. Gaona, Carlos Augusto Prata, orient. II. Título.

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara
Kazumi Tomoyose - CRB 8/10904

CAPES: 33004030170P0
Esta ficha não pode ser modificada

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE MICROALGAS MARINHAS FOSSILIZADAS EM FORMULAÇÕES DE BIOPRODUTOS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS

AUTORA: ARYANNE RODRIGUES DE LIMA COSTA

ORIENTADOR: CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em null, área: Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira - FCAVR - UNESP - Registro/SP

Dr. DANILO CINTRA PROENÇA (Participação Presencial)
BioMonetize - Valoração e Monetização de Serviços Ambientais Ltda.

Prof. Dr. GUILHERME WOLFF BUENO (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira - FCAVR - UNESP - Registro/SP

Araraquara, 10 de setembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi uma jornada marcada por desafios, descobertas e muitas mãos estendidas. Esta dissertação é fruto de esforço coletivo, construído com apoio, inspiração e colaboração de pessoas e instituições que deixaram marcas profundas no meu caminho.

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha base, minha força e meu farol mesmo nos momentos mais turbulentos.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Carlos Gaona e Prof. Dr. Levi Pompermayer, pela orientação dedicada, pelas discussões enriquecedoras e pelo incentivo constante para que eu avançasse com autonomia, propósito e profundidade científica, e a Prof. Dra. Bruna Roque Loureiro, pela paciência e contribuição para conclusão deste trabalho.

À FAPESP, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2023/10412-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À UNESP – Faculdade de Ciências Farmacêuticas e à UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, pelo espaço acadêmico acolhedor e pela formação sólida que moldaram minha trajetória.

Ao Aquário de Ideias e à Agência de Inovação da UNESP, por fomentarem pontes entre pesquisa, criatividade e inovação — valores que carrego com orgulho e aplico na minha atuação como empreendedora científica.

À minha equipe na GrowD, em especial à Thamires, por acreditar na visão de um futuro mais sustentável e caminhar comigo com coragem e espírito colaborativo, pois nosso trabalho vai além dos laboratórios.

À minha família, por ser minha raiz, minha estrutura e meu porto seguro. A vocês, todo meu amor e gratidão. Em especial agradeço às mulheres da minha vida — minha mãe, minha avó, minha sogra e minhas "cunhas"- Vocês são o verdadeiro exemplo de coragem, mulheres fortes, sensíveis e determinadas, que me inspiram todos os dias a persistir nos meus sonhos, mesmo quando tudo parece difícil. Muito do que sou, carrego de vocês.

Ao meu noivo, Maurício, por estar ao meu lado com leveza, incentivo e amor incondicional. Você é parte essencial de cada conquista.

Aos amigos e colegas que compartilharam essa jornada acadêmica, pelos aprendizados mútuos e pelas conversas que clarearam ideias, em especial agradeço ao Kayque, por tornar o caminho mais leve.

À minha mãe, que me ensinou a contar nos dedos, com paciência, simplicidade e afeto.

Ao meu pai avô, que me ensinou a fazer conta de cabeça, com lógica, foco e firmeza.

À minha avó, que me ensinou a contar com Deus, com fé, sabedoria e esperança.

Ao meu padrasto, que me ensinou a contar com o coração, com cuidado, presença e
generosidade.

Ao meu noivo, que me ensinou a contar os dias com leveza, parceria e amor verdadeiro.

Enfim, à minha família, que são com quem eu conto!

RESUMO

O diatomito, também conhecido como Terra de Diatomáceas (TD), é um pó inerte obtido de fósseis dessas algas, caracterizado por sua granulação fina e estrutura altamente porosa. A TD tem uso consolidado no controle de pragas por atuar na desidratação de insetos, sendo eficaz contra diversas espécies. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de formulações à base de terra de diatomáceas, isoladamente e em associação com extratos vegetais, no controle de *Sitophilus spp.* em grãos de milho armazenados. Foram avaliadas propriedades físico-químicas da TD, como capacidade de adsorção e secagem, cor, odor e granulometria. Em seguida, determinaram-se os valores de CL_{50} (Concentração Letal Média) da TD e TL_{50} (Tempo Letal Médio) das formulações, com o intuito de identificar a composição mais eficaz no controle de infestações por carunchos. Os resultados preliminares indicaram que a formulação contendo TD associada ao fumo com extrato alcoólico apresentou a maior taxa de mortalidade em curto prazo, com TL_{50} de aproximadamente 4 dias, comprovando sua eficiência. Destaca-se que a TD possui granulometria fina, característica de silte-argila, o que favorece sua aderência à camada epicuticular dos insetos, intensificando o processo de desidratação e contribuindo para sua ação letal. Além disso, a TD demonstrou propriedades singulares que viabilizam a secagem de extratos sem comprometer características essenciais como cor, odor e funcionalidade — fatores que podem influenciar positivamente na atratividade do inseto ao bioproduto. A pesquisa reforça o potencial da TD como base para formulações naturais no controle de pragas no pós-colheita do milho, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas aos pesticidas convencionais e abrindo caminhos para inovações com aplicação prática no setor agrícola.

Palavras-chave: terra de diatomáceas; bioproduto; caruncho.

ABSTRACT

Diatomite, also known as Diatomaceous Earth (DE), is an inert powder derived from fossilized algae, characterized by its fine granulation and highly porous structure. DE has a well-established use in pest control due to its ability to dehydrate insects, proving effective against various species. This study aimed to evaluate the efficacy of diatomaceous earth-based formulations, both alone and in combination with plant extracts, in controlling *Sitophilus spp.* in stored corn grains. The physicochemical properties of DE were assessed, including adsorption and drying capacity, color, odor, and particle size distribution. Subsequently, the LC_{50} (Median Lethal Concentration) of DE and the LT_{50} (Median Lethal Time) of the formulations were determined to identify the most effective composition for controlling weevil infestations. Preliminary results indicated that the formulation combining DE with tobacco alcoholic extract showed the highest short-term mortality rate, with an LT_{50} of approximately 4 days, confirming its effectiveness. Notably, DE has a fine particle size, similar to silt-clay, which enhances its adhesion to the insect's epicuticular layer, intensifying dehydration and contributing to its lethal action. Furthermore, DE demonstrated unique properties that enable the drying of extracts without compromising essential characteristics such as color, odor, and functionality—factors that may positively influence insect attraction to the bioproduct. This research highlights the potential of DE as a foundation for natural formulations in post-harvest corn pest control, contributing to the development of alternatives to conventional pesticides and paving the way for practical innovations in the agricultural sector.

Keywords: diatomaceous earth; bioproduct; woodworm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- (A) Descrição da diversidade da TD, onde cada quadrante representa uma espécie de terra de diatomácea de água doce. – Fonte: (DRUM; GORDON, 2003), (B) Descrição da terra de diatomáceas comercialmente utilizada e fornecida para utilização no trabalho -----	21
Figura 2- Processo de peneiramento e pesagem da TD- (A e B) peneiramento e (C) pesagem.-----	24
Figura 3 - Descrição do processo de sedimentação após processo de homogeneização: (A) Início e (B) 240 min após o início. -----	24
Figura 4 - Demonstração do processo feito no teste de adsorção de água pela TD. ----	25
Figura 5- Descrição do processo de secagem dos extratos para produção das formulações (A) e pesagem (B). -----	26
Figura 6 - Processo de absorção de cor da terra de diatomácea. -----	27
Figura 7- (A) descrição do meio de proliferação de caruncho (<i>Sitophilus spp.</i>) em milho, (B) milho utilizado durante os bioensaios. -----	28
Figura 8 - Processo de testagem das formulações para conter as infecções por caruncho (A e B). -----	30
Figura 9 - Bioensaio em BOD.-----	30
Figura 10 - Verificação do teste de concentração (A e B). -----	31
Figura 11. (A) Demonstração do hábito dos carunchos de furar os milhos, (B, C) Avaliação da mortalidade dos carunchos. -----	32
Figura 12. Demonstração da retenção de cor após adsorção de extrato de <i>Kappaphycus alvarezii</i> , onde a placa de petri a esquerda contém TD e a placa de petri a direita contém TD + EA. -----	34
Figura 13 - Teste de letalidade acumulado (TL50%) de carunchos em milho armazenado de acordo com a concentração de TD em ppm. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. -----	36
Figura 14 - Teste de tempo letal (TL50%) acumulado de carunchos em milho, E1T1: TD, E1T2: TD+ EA (<i>Kappaphycus alvarezii</i>), E1T3: Mix de extratos - ME. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. 37	
Figura 15 - Tempo letal (TL50%) acumulado, E2T1: terra de diatomáceas, E2T2: TD sem EA (<i>Kappaphycus alvarezii</i>), E2T3: sem TD, E2T4: ME. -----	38
Figura 16 - Teste de tempo letal (TL50%) para avaliação de eficiência dos extratos em um período de 10 dias. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. -----	39
Figura 17 - Teste de letalidade (TL50%) onde E4T1= extrato de fumo extraído com água, E4T2= extrato de fumo extraído com água e álcool. -----	40
Figura 18 - Variação de mortalidade entre os tipos de produtos utilizados como controladores de pragas após 2 dias (a), tempo necessário para atingir o TL50 e após 10 dias, tempo total de experimento (b). Onde E4T1= extrato extraído com água, E4T2=	

extrato extraído com água e álcool. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. ----- 41

Figura 19 - Teste de letalidade (TL50%) de caruncho no milho onde, Controle= sem nenhum extrato, E5T1= diatomácea, E5T2= diatomácea+ fumo+ água, E5T3= diatomácea+ fumo+ álcool, E5T4=ME. ----- 41

Figura 20 - Mortalidades observadas entre os tratamentos após 2 dias, tempo necessário para obter-se o TL50 (a), mortalidade observada entre tratamentos após 10 dia, tempo total do experimento (b), onde: Controle= sem nenhum extrato, E5T1= TD, E5T2= TD+ fumo+ água, E5 T3= TD+ fumo+ álcool, E5T4=ME. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. ----- 42

Figura 21 - Teste de tempo letal (TL50%), E6T1: TD em pó, E6T2: TD + fumo extraído com Álcool em formato pastoso, E6T3: TD + fumo em pó, E6T4: ME formato pastoso. ----- 43

Figura 22. Mortalidades observadas entre os tratamentos no período de 4 dias TL50% (a), mortalidade observada entre tratamentos após 10 dias, tempo total do experimento (b), onde E6T1: TD em pó, E6T2: TD + fumo extraído com Álcool em formato pastoso, E6T3: TD + fumo em pó, E6T4: ME formato pastoso. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. ----- 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio de peneiramento para a obtenção de granulometria de Terra de Diatomácea, onde foi avaliado a porcentagem de massa de TD retida nas malhas.....	35
Tabela 2 - Ensaio de sedimentação para verificação do tamanho das partículas da TD, onde foi avaliado a altura da queda das partículas de TD no processo de sedimentação no decorrer do tempo.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS

TD- Terra de Diatomáceas.

CL50- Concentração Letal Média.

Keepdry®- IRRIGAÇÃO DIAS CRUZ LTDA/ Marca comercial Keepdry®.

BOD- Incubadora de Demanda Bioquímica de Oxigênio.

TL50- Tempo Letal Médio.

EA-extrato de algas marinhas.

ME- Mix de Extratos Orgânicos Antifúngico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1 Produção de Grãos no Brasil	16
3.2 Desafios no Pós-Colheita e Armazenamento de Grãos	17
3.3 Problemas Gerados pelo Uso de Defensivos Agrícolas Químicos (agrotóxicos).....	18
3.4 Definição e Princípios do Controle Biológico.....	19
3.5 Benefícios do Uso de Biopesticidas	19
3.6 Uso de Terra de Diatomáceas como Biopesticida	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Aquisição de Amostras de Terra de Diatomáceas (TD).....	23
4.2 Teste de Granulometria.....	23
4.3 Teste de Adsorção de Umidade.....	25
4.4 Teste de Secagem da Terra de Diatomáceas	25
4.5 Teste de Absorção de Cor e Aroma.....	26
4.7 Teste de Eficiência das Formulações	28
4.8 Bioensaio	30
4.9 Teste de Concentração Letal (CL50)	31
4.10 Teste de Tempo Letal (TL50)	31
4.11 Análise estatística.....	32
5 RESULTADOS	33
6 DISCUSSÃO	45
7 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

As diatomáceas são microalgas presentes em praticamente todas as latitudes do planeta, destacando-se por sua abundância em relação a outros organismos planctônicos (Battarbee, 1986; Vilela; Carvalho, 2004; Hermany *et al.*, 2006). O diatomito, também conhecido como Terra de Diatomáceas (TD), é um sedimento amorfo derivado de fósseis dessas algas, obtido por meio da extração e moagem de rochas marinhas. Com o dióxido de silício (SiO_2) como componente principal, a TD apresenta propriedades como granulação fina, estrutura altamente porosa, baixa condutividade térmica, elevado ponto de fusão, ampla área superficial, baixa densidade e inércia frente à maioria dos líquidos (Antonides, 1998; Dolley, 2003).

Além de sua relevância ecológica, devido ao ciclo de vida curto, facilidade de coleta e rápida recuperação após distúrbios ambientais, as diatomáceas são amplamente utilizadas como bioindicadores da qualidade da água (Round *et al.*, 1990; Lobo *et al.*, 2014). No contexto agrícola, a TD possui um histórico consolidado como inseticida natural, sendo eficaz contra besouros desfolhadores, formigas, lagartas, grilos e outros (Korunic, 1998). Suas partículas aderem ao tegumento dos insetos, removendo a cera epicuticular por abrasão e adsorção, o que leva à evaporação da água e à morte por desidratação em um período de 1 a 7 dias (Quarles, 1992; Korunic, 1998). Por isso, seu uso é predominante no controle de pragas em grãos armazenados.

A pós-colheita de grãos representa um desafio global, com perdas que variam entre 15% e 50% do volume produzido em países em desenvolvimento, muitas vezes causadas por pragas que comprometem o peso, valor comercial e qualidade nutricional dos grãos. No Brasil, o controle de insetos em grãos armazenados é limitado a poucos produtos registrados, o que evidencia a necessidade de estratégias de manejo integrado baseadas em monitoramento constante, práticas de higienização e métodos de controle diversificados (Pinto JR. *et al.*, 2008).

Nesse cenário, a TD desponta como uma alternativa promissora e segura para o controle de pragas em sementes cultivadas, mantendo sua eficácia ao longo do tempo e sendo considerada segura para operadores e consumidores (Ribeiro *et al.*, 2017; Lorini, 2001). Estudos como o de Pranke *et al.*, (2016) demonstram que fatores como cor podem aumentar a atratividade dos insetos, otimizando armadilhas, enquanto a liberação

controlada de voláteis como álcoois e aromas de café potencializam a captura. Complementarmente, Ribeiro; Vendramim (2019) destacam que pós inertes à base de TD, combinados com compostos botânicos, apresentam propriedades inseticidas e insetistáticas, interferindo na fisiologia dos insetos e contribuindo para um controle mais sustentável.

Diante disso, este estudo propõe o desenvolvimento de novas formulações à base de diatomito, visando sua aplicação como matriz em bioprodutos voltados ao manejo eficiente de pragas agrícolas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia de formulações à base de terra de diatomáceas, isoladamente e em associação com extratos vegetais, no controle de *Sitophilus spp.* em grãos de milho armazenados.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar e descrever as propriedades únicas da Terra de Diatomáceas (TD) que podem ser exploradas para o desenvolvimento de soluções eficazes.
- Criar soluções práticas para a preservação de grãos de milho na pós-colheita, e
- Avaliar a eficácia das formulações desenvolvidas, buscando validar a viabilidade prática e a aplicabilidade dessas soluções no contexto agrícola.
- Determinar a quantidade da formulação necessária para preservar grãos na pós-colheita, visando a redução de perdas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Produção de Grãos no Brasil

O início da trajetória exportadora do Brasil colonial remonta à chegada dos portugueses e à implantação dos primeiros engenhos de cana-de-açúcar. Desde o período colonial até o século XX, o Brasil manteve-se predominantemente como um exportador de *commodities* minerais e agrícolas, como café, borracha, ouro e, mais recentemente, soja. A produção de açúcar não só impulsionou a colonização do território, como também consolidou o perfil exportador do país desde seus primórdios, uma tendência que persiste até hoje (Furtado, 1974).

Na década de 1970, o Brasil começou a se destacar no mercado internacional de *commodities* agrícolas, aproveitando a retração dos Estados Unidos em mercados estratégicos como Europa, União Soviética e Ásia, estabelecendo-se como um competidor de peso (Paula; Bastos, 2009).

O Brasil continua a ser um dos líderes mundiais no fornecimento de alimentos. Entre 2000 e 2020, as exportações agrícolas do país cresceram de US\$ 20,6 bilhões para US\$ 100 bilhões, com destaque para produtos como soja, carnes, milho, açúcar, café, algodão, suco de laranja e produtos florestais, que têm grande potencial de expansão no mercado global (Aragão; Contini, 2021). Essa evolução reafirma o Brasil como uma superpotência agrícola, com um legado que remonta aos primeiros engenhos de açúcar e se estende até as plantações de soja atuais.

A produção brasileira de grãos na safra 2024/25 está estimada em 345,2 milhões de toneladas, configurando-se como novo recorde na série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), superando a safra 2022/23 quando foram colhidas 320,91 milhões de toneladas. Se comparado com o volume obtido na safra passada, o resultado representa uma alta de 47,7 milhões de toneladas. Esse aumento é influenciado tanto pela maior área cultivada no país, com uma alta de 2,5% sendo estimadas em 81,9 milhões de hectares, como, principalmente, pela recuperação da produtividade média nacional das lavouras, saindo de 3.722 quilos por hectare em 2023/24 para 4.214 quilos por hectare na atual temporada (CONAB 2025).

O avanço do setor agrícola brasileiro também representa uma maior integração da agricultura nas dimensões econômicas, técnicas e sociais globais, um desenvolvimento essencial para o agronegócio (Salles Filho, 1993). No entanto, esse crescimento enfrenta

desafios, como as limitações impostas pelo ciclo biológico das culturas e as variações sazonais, que podem impactar a produção, como evidenciado pela volatilidade dos preços das *commodities* em 2004 (Prates, 2007).

3.2 Desafios no Pós-Colheita e Armazenamento de Grãos

As instalações de armazenamento de grãos são fundamentais para a conservação dos produtos agrícolas, mas muitas vezes não são acessíveis a pequenos e médios produtores. Por isso, é crucial escolher sistemas de armazenamento eficientes e de baixo custo, que sejam adequados à realidade desses produtores, que representam uma parcela significativa da produção agrícola nacional (Martins *et al.*, 2018).

A armazenagem de grãos de milho no Brasil enfrenta diversos desafios, incluindo pragas, fungos, danos aos grãos e problemas de umidade, que podem resultar em perdas significativas e impactar negativamente a economia dos produtores e empresas. Para minimizar esses problemas, é essencial adotar técnicas eficazes de controle e sistemas de armazenamento adequados, a fim de preservar a qualidade dos grãos e reduzir as perdas financeiras (Caneppele *et al.*, 2003; Lorini, 2018; Pimentel *et al.*, 2020).

Estima-se que as perdas pós-colheita de grãos no país alcancem aproximadamente 10% da produção total, com insetos-praga, fungos e roedores sendo os principais responsáveis por essas perdas (IBGE, 2011). Entre os insetos mais prejudiciais aos grãos armazenados estão o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) e o besouro vermelho da farinha (*Tribolium castaneum*), que comprometem a qualidade das sementes ao consumir nutrientes e, através da atividade respiratória, podem causar fermentação e crescimento de fungos (Lorini; Beckel, 2002).

A infestação pode ocorrer em várias etapas, desde o campo até o armazenamento e a comercialização ao consumidor final, incluindo supermercados e residências. A presença de insetos em produtos agrícolas pode depreciar o valor dos grãos ou até mesmo levar à rejeição comercial do produto (Pinto JR, 2008).

Embora o uso de inseticidas químicos, como piretróides e organofosforados, seja uma prática comum para proteger os grãos, esses produtos apresentam riscos e requerem períodos de carência específicos. Alternativas mais seguras e sustentáveis incluem métodos de controle físicos, como ajustes de temperatura e o uso de pós-inertes, que são opções ecologicamente corretas (Antunes *et al.*, 2011).

3.3 Problemas Gerados pelo Uso de Defensivos Agrícolas Químicos (agrotóxicos).

Os agrotóxicos são compostos químicos utilizados no setor agrícola para proteger as culturas de pragas e doenças. O termo deriva do grego "agros" (campo) e "toxikon" (veneno), abrangendo uma variedade de produtos, incluindo inseticidas, herbicidas e fungicidas, cada um com o objetivo específico de combater diferentes tipos de ameaças às plantações. Apesar de serem frequentemente chamados por outros nomes, como pesticidas ou defensivos agrícolas, todos esses termos referem-se a substâncias com a mesma finalidade (Fernandes, 2024).

No Brasil, a regulamentação dos agrotóxicos era estabelecida pela Lei Federal n.º 7.802, de 1989, e pelo Decreto n.º 4.074, de 2002, que os define como substâncias destinadas ao controle ou prevenção de agentes nocivos à agricultura (Lopes; Albuquerque, 2018), e atualmente sofreu mudanças pela Lei n.º 14.785, de 27 de dezembro de 2023, conhecida também como nova Lei dos Agrotóxicos, ela visa simplificar o processo de registro e incentivar o uso de produtos biológicos, assim como fortalecer a fiscalização do setor.

A toxicidade dos agrotóxicos é avaliada por meio de estudos que determinam: O TL50- Tempo Letal Médio, representando o tempo necessário para eliminar 50% da população de insetos e a Concentração Letal Média (CL50), que indicam a quantidade do produto necessária para causar a morte de 50% dos organismos testados (Santos *et al.*, 2024).

Embora o uso de agrotóxicos seja uma prática comum para a proteção das culturas, deve ser feito com cautela, pois o uso inadequado pode resultar em problemas ambientais e de saúde. A contaminação do solo, da água e do ar, o impacto negativo na biodiversidade e os riscos à saúde humana, como doenças respiratórias e câncer, são algumas das consequências do uso indevido desses produtos. Além disso, o uso contínuo de agrotóxicos pode levar à resistência de pragas, exigindo quantidades maiores de produtos químicos para o controle efetivo (Oliveira, 2021).

A transição para práticas agroecológicas, o uso de bioinsumos e a valorização do conhecimento tradicional representam alternativas viáveis e urgentes (Altieri, 2020; Caporal; Costa, 2022). Assim, ao reconhecer os limites e os impactos dos agrotóxicos, abre-se espaço para um modelo agrícola mais equilibrado, que respeite os ciclos naturais e promova a sustentabilidade a longo prazo. Portanto, é crucial seguir as diretrizes de

segurança e regulamentações para minimizar os riscos associados ao uso de agrotóxicos, garantindo a proteção das culturas e a saúde do meio ambiente e das pessoas.

3.4 Definição e Princípios do Controle Biológico

O controle biológico pode ser compreendido de três maneiras: (1) como um campo de estudos em diversas áreas, tais como ecologia de populações, biosistemática, comportamento, fisiologia e genética; (2) como um fenômeno natural, onde quase todas as espécies têm inimigos naturais que regulam suas populações; e (3) como uma estratégia de controle de pragas através da utilização de parasitoides, predadores e patógenos (Bueno *et al.*, 2015).

Desse modo, o controle biológico é empregado para resolver problemas sanitários, como pragas e doenças, e pode ser aplicado de quatro formas: natural, onde as populações de organismos são mantidas em equilíbrio pela própria natureza; conservacionista, onde o homem estimula a prevenção e o aumento natural dos agentes benéficos no campo; clássico, que se baseia na coleta de inimigos naturais em suas regiões de origem para liberá-los em áreas desejadas; e aumentativo, que envolve a aplicação de parasitoides, predadores e entomopatógenos, conhecidos e utilizados por agricultores no tratamento de sementes (Miranda; Sousa; Santana, 2023).

Visto isso, novas tecnologias têm sido adotadas para controlar pragas de forma sustentável, e o controle biológico desempenha um papel essencial nessa abordagem. A utilização de seres vivos e substâncias naturais como agentes de controle de pragas na agricultura é benéfica para os cultivos, pois envolve o uso de outras espécies por meio de antagonismo, aplicando técnicas biológicas na produção agrícola e utilizando apenas recursos naturais (Mondin *et al.*, 2022).

3.5 Benefícios do Uso de Biopesticidas

Biopesticidas são certos tipos de pesticidas derivados de materiais naturais, como animais, plantas, bactérias e certos minerais (US EPA, 2024). Esses microrganismos funcionam como agentes biológicos, reduzindo ou substituindo pesticidas químicos, contribuindo para um controle de pragas mais sustentável e benéfico para o meio ambiente e a agricultura (Ferreira, 2011). Atualmente, estas novas fórmulas mais sustentáveis têm ganhado destaque no contexto da produção agrícola sustentável, com ênfase na redução da contaminação do solo e dos recursos naturais (Rodrigues, 2025).

Nos últimos 5 anos, a taxa anual composta de crescimento, do mercado brasileiro de biopesticidas foi de 45%, enquanto para os agrotóxicos foi de 6% (EMBRAPA,2024).

De acordo com Freires (2022), o uso de biopesticidas oferece diversas vantagens:

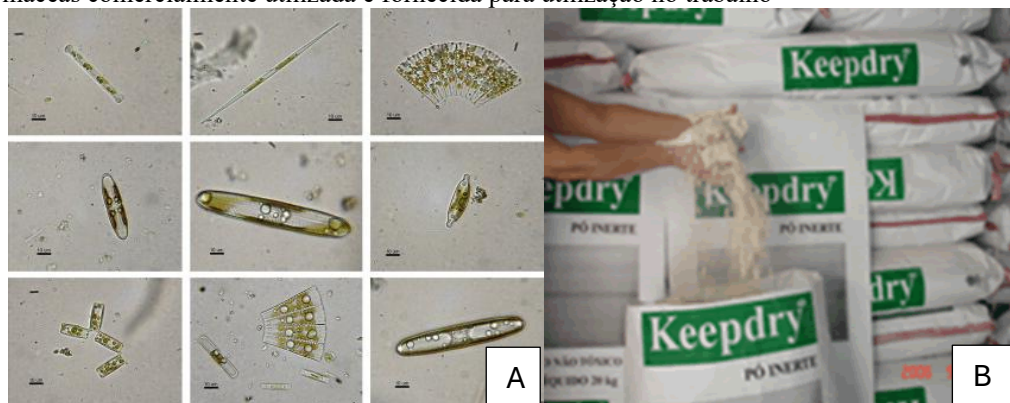
- (i) baixo custo:** Substâncias botânicas são acessíveis e amplamente disponíveis, permitindo que pequenos produtores as utilizem sem comprometer seus orçamentos;
- (ii) toxicidade controlada:** Embora algumas possam ser tóxicas, não deixam resíduos prolongados, reduzindo impactos ambientais e afetando apenas as pragas-alvo;
- (iii) segurança para mamíferos:** A maioria das substâncias botânicas não é venenosa para mamíferos, garantindo a saúde humana e a segurança dos trabalhadores agrícolas;
- (iv) óleos vegetais com potencial inseticida:** Além de serem eficazes contra pragas e fungos, são biodegradáveis, reforçando a sustentabilidade ambiental.

Em resumo, o controle biológico de pragas equilibra a relação entre pragas e seus inimigos naturais, diminuindo ou eliminando o uso de defensivos químicos na agricultura. Essa abordagem não apenas protege o meio ambiente e a saúde humana, mas também evita resíduos tóxicos nos alimentos. Um exemplo promissor é a **Terra de Diatomáceas (TD)**, derivada do dióxido de sílica, que preserva grãos armazenados sem deixar resíduos prejudiciais.

3.6 Uso de Terra de Diatomáceas como Biopesticida

As diatomáceas são microalgas unicelulares pertencentes ao filo *Bacillariophyta* que desempenham um papel importante nos ecossistemas aquáticos e terrestres (Sharma, 2021). Elas são microrganismos dinâmicos com rica diversidade e design detalhado de membrana, dominando o fitoplâncton com cerca de 200.000 espécies (Figura 1). Suas dimensões e formas variáveis são amplamente distribuídas em todas as latitudes do planeta, desde os pólos até os trópicos (Sharma, 2021). Esses microrganismos, com suas paredes celulares composta por sílica, são fundamentais para a produção primária nos ambientes aquáticos, contribuindo significativamente para a fixação de carbono e a produção de oxigênio (Sharma, 2021).

Figura 1- (A) Descrição da diversidade da TD, onde cada quadrante representa uma espécie de terra de diatomácea de água doce. – Fonte: (DRUM; GORDON, 2003), (B) Descrição da terra de diatomáceas comercialmente utilizada e fornecida para utilização no trabalho



Fonte: (GPD Vetquímica).

As diatomáceas possuem características estruturais e biológicas únicas, que as tornam valiosas para a remediação de águas residuais e na redução da poluição, uma vez que podem atuar como bioabsorventes de metais pesados e de nutrientes em excesso. Além disso, são excelentes bioindicadores e ferramentas de biomonitoramento em ecossistemas de água doce e marinhos (Dhanker, 2024).

Por outro lado, a TD, originada dos fósseis dessas algas, é um material de grande relevância na agricultura e no controle de pragas (Serviço geológico do Brasil- SGB, 2014). O diatomito, extraído de minerais de rochas marinhas e submetido a um processo de moagem, apresenta notáveis propriedades físicas e químicas como: (i) fina granulação, o que facilita sua aderência a superfícies e aplicação em grãos armazenados; (ii) estrutura porosa que permite a absorção de líquidos e interação com insetos, tornando-o eficaz como inseticida natural; (iii) baixa condutividade térmica, mantendo a temperatura estável, evitando danos aos grãos durante o armazenamento; (iv) alto ponto de fusão, sendo resistente ao calor, relevante em ambientes de armazenamento; e (v) extensa área superficial, potencializando sua ação inseticida ao entrar em contato direto com os insetos.

O desafio de manter a qualidade dos produtos (grãos armazenados) devido ao crescimento populacional e a demanda crescente por alimentos é constante. Além disso, os mercados exigem produtos de alta qualidade enquanto indústrias buscam minimizar perdas internas causadas por pragas que danificam grãos armazenados, como arroz, milho e feijão (Antunes, 2021; EMBRAPA, 2023). No sistema convencional de controle de pragas, o uso de inseticidas químicos é comum, mas pode causar intoxicações humanas e

danos ambientais. Ademais, a resistência das pragas aos químicos dificulta o controle e pode deixar resíduos nos alimentos (Bernardi, 2021).

Diante da necessidade de construir uma sociedade mais verde e sustentável, a busca por métodos alternativos de controle de pragas tem sido constante. Inseticidas biológicos, utilizados há mais de 50 anos no Brasil, são uma alternativa promissora (Sharma, 2021; Bernardi, 2021). Nesse contexto, a TD emerge como uma alternativa promissora para o controle biológico de pragas em sementes cultivadas. A sílica amorfa presente na TD causa desidratação nos insetos ao aderir seu tegumento, rompendo a camada epicuticular cerosa e causando a perda de água e morte dos insetos de um a sete dias, dependendo das condições ambientais (Bernardi, 2021). A TD é segura tanto para operadores quanto para consumidores de grãos, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da segurança alimentar, seu potencial como inseticida natural e sua aplicação em sistemas agrícolas modernos são áreas de interesse crescente, com estudos focados em otimizar sua eficácia, dosagem e aplicação (Bernardi, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

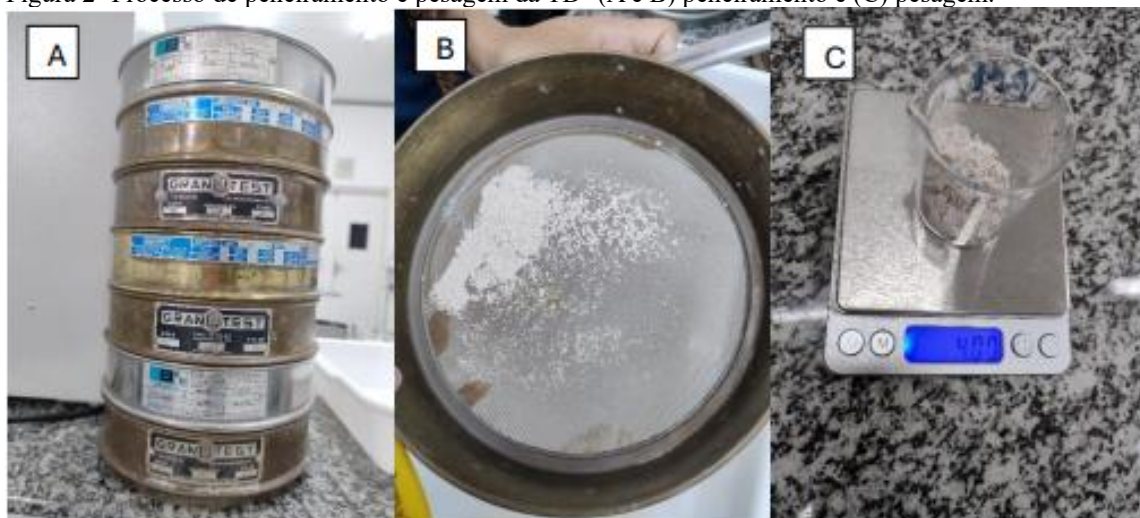
4.1 Aquisição de Amostras de Terra de Diatomáceas (TD)

As amostras de TD foram adquiridas de origem brasileira, especificamente da empresa IRRIGAÇÃO DIAS CRUZ LTDA / Marca comercial Keepdry®. Essa colaboração estratégica visou não apenas a obtenção da TD necessária para a condução dos testes, mas também estabelecer uma parceria duradoura com a Keepdry®. A empresa foi uma fornecedora confiável das amostras, garantindo a qualidade e a procedência da TD utilizada nos experimentos. Esse processo de aquisição foi conduzido de forma ética e em conformidade com as normas regulatórias pertinentes.

4.2 Teste de Granulometria

Foi realizado considerando a necessidade de as partículas aderirem ao corpo dos insetos para remoção da camada protetora dos mesmos. Desta forma, é importante que as partículas de terra diatomácea fossem as menores possíveis para que aderissem ao corpo do inseto em quantidade suficiente. Com isso, testes de granulometria foram realizados com a intenção de conhecer a curva granulométrica da terra diatomácea (TD) proveniente da Keepdry®. Conforme descrito por Divino *et al.* (2010), para a realização do teste de granulometria, foram empregados dois procedimentos: peneiramento e sedimentação. Com os valores obtidos dos procedimentos de peneiramento e sedimentação, foram calculadas e obtidas as curvas granulométricas das TD. No processo de peneiramento, amostras de 4,0 g de TD foram submetidas à secagem em estufa por 24 horas a 45° C. Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinar os pesos das amostras secas. Em seguida, as amostras secas foram submetidas a um conjunto de peneiras de malhas circular (TYLER n° - 4, 10, 42, 60, 100, 270 e 325) com agitador manual. Após o peneiramento, as quantidades de produtos retidos nas peneiras foram pesadas, e os percentuais correspondentes foram calculados (Figura 2).

Figura 2- Processo de peneiramento e pesagem da TD- (A e B) peneiramento e (C) pesagem.



Fonte: Elaborado pelo autor

No procedimento de sedimentação, 20 g de TD Keepdry® foram adicionados a béqueres. Em seguida, as TD foram dissolvidas em água destilada utilizando um agitador mecânico por 5 minutos. Após a agitação, os materiais foram transferidos para provetas graduadas e calibradas, completando as soluções dissolvidas com água destilada até o nível de 1000 ml. A mistura foi realizada com o auxílio de uma haste metálica. Os valores densimétricos foram registrados nos intervalos de tempo de 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120 e 240 minutos (Figura 3).

Figura 3 - Descrição do processo de sedimentação após processo de homogeneização: (A) Início e (B) 240 min após o início.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Teste de Adsorção de Umidade

Para determinar a capacidade de adsorção de água da Terra de Diatomáceas (TD) e, assim, definir a melhor proporção nas formulações testadas, foi realizado o ensaio de adsorção de água com base na norma ASTM D570. Amostras da TD foram previamente medidas e pesadas, sendo em seguida imersas em água destilada à temperatura ambiente (Figura 4).

A cada intervalo de tempo pré-determinado, as amostras eram avaliadas até a formação de uma pasta homogênea, sem excedente visível de água sobre o material sólido, e por fim pesados em uma balança de precisão, conforme descrito por (Raymundo, *et al.*, 2012; Goulart, *et al.*, 2011).

Figura 4 - Demonstração do processo feito no teste de adsorção de água pela TD.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Teste de Secagem da Terra de Diatomáceas

O teor de umidade foi determinado de acordo com o método descrito na Farmacopéia Brasileira (1988). Esse método baseia-se na perda por dessecação em estufa e visa determinar a quantidade de substância(s) volátil(eis) de qualquer natureza eliminada(s). Desta forma, após a conclusão dos testes de umidade, a (TD) foi cuidadosamente despejada em placas de Petri. Estas amostras foram então transferidas para uma estufa, onde passaram por um processo de evaporação lenta dos líquidos

anteriormente adicionados, (Figura 5). Este teste teve como objetivo investigar a influência da temperatura na eficiência do processo de secagem da TD, com o intuito de investigar se as temperaturas otimizariam a secagem sem comprometer a qualidade da formulação, desta forma duas condições de temperatura foram avaliadas: 40 e 60 °C. As amostras permaneceram na estufa por períodos distintos, sendo 24 horas a 40 °C e 12 horas a 60 °C. Essas variáveis permitiram identificar a melhor temperatura para otimizar o processo de secagem da TD (Farmacopéia Brasileira.1988).

Figura 5- Descrição do processo de secagem dos extratos para produção das formulações (A) e pesagem (B).



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Teste de Absorção de Cor e Aroma

Para avaliar a influência da cor na atratividade de armadilhas, foi realizado o teste de Absorção de Cor, incorporando pigmentos, como extrato de *Kappaphycus alvarezii*, *Spirulina* e outros corantes, e avaliar a capacidade da TD de reter a coloração mesmo após o processo de secagem (Pranke *et al.*, 2016), conforme descrito na Figura 6.

Figura 6 - Processo de absorção de cor da terra de diatomácea.



Fonte: Elaborado pelo autor

A avaliação do teste de Absorção de aroma foi verificada por meio da retenção ou neutralização de aromas após o processo de adsorção e secagem por meio de observação sensorial e olfativa das amostras, que continham líquidos derivados da extração de óleos essenciais e extratos utilizados nas formulações. Esse teste permite verificar se a TD preserva os aromas característicos ou atenuava suas intensidades, conforme descrito por Pranke *et al.*, (2016).

4.6 Obtenção do material biológico

Os grãos de milho utilizado no projeto foram obtidos em estabelecimento comercial e mantido em freezer por um período de no mínimo dez dias para eliminação de qualquer agente biológico que pudesse comprometer a sanidade e a qualidade dos grãos como descrito por (Ribeiro; Vendramim, 2019). Os carunchos (*Sitophilus spp.*) utilizados no bioensaio foram obtidos em grãos de milho comprados em estabelecimento comercial. A proliferação dos insetos foi feita “in vitro”, em grãos de milho dentado amarelo em recipientes de vidro com capacidade de 2,5L com tampa contendo uma abertura revestida com tecido fino para ventilação e evitar fugas como descrito na Figura 7. Após 10 dias em freezer, os grãos de milho foram transferidos para recipientes de vidros totalmente vedados, com a finalidade de atingirem o equilíbrio higroscópico e em seguida, utilizados. Os insetos foram confinados durante 60 dias para realizarem a postura, até a emergência dos adultos. Esse procedimento resultou em sucessivas gerações, para certificar a quantidade de adultos necessários para montar os bioensaios, seguindo o protocolo de (Rocha, 2019).

Figura 7- (A) descrição do meio de proliferação de caruncho (*Sitophilus spp.*) em milho, (B) milho utilizado durante os bioensaios.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7 Teste de Eficiência das Formulações

Com o objetivo de identificar a formulação mais eficaz para conter a infestação de carunchos e potencializar os efeitos da terra de diatomáceas, foram conduzidos testes experimentais com diferentes composições, conforme detalhado no quadro 1 e na Figura 8 - Processo de testagem das formulações para conter as infecções por caruncho (A e B)., onde as misturas foram realizadas manualmente com o auxílio de uma espátula (1 g de cada componente), durante aproximadamente 1 minuto, até se obter uma composição homogênea.

Os extratos utilizados foram selecionados com base em uma revisão bibliográfica (Ribeiro; Vendramim, 2019) e adquiridos já prontos para uso. Para cada teste, os extratos foram cuidadosamente pesados em balança de precisão, utilizando-se 1 grama de extrato por amostra. Em seguida, cada extrato foi diluído em 1 mL de água destilada e homogeneizado manualmente, conforme as instruções do fabricante.

Para realização dos bioensaios foi utilizado o caruncho do milho (*Sitophilus spp.*), cuja seleção das amostras foi conduzida de maneira aleatória, sem distinção entre machos e fêmeas, sendo utilizado 30 indivíduos por tratamento, utilizando grãos de milho dentado amarelo em frascos plásticos de 250 ml (Rocha, 2019).

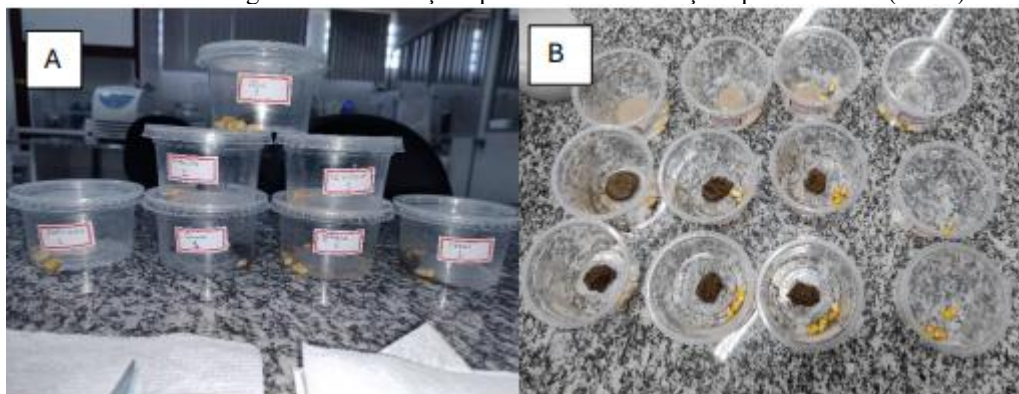
Para validar os resultados, foi avaliado o TL50 uma vez que foi feita a comparação da letalidade dos extratos no decorrer de 10 dias, neste caso não foi avaliado o CL50 pois não foi testado concentrações distintas.

Quadro 1 - Quadro descrevendo as formulações testadas, os testes foram feitos em circunstância das respostas dos extratos levantados por revisão bibliográfica.

Testes	Objetivos	Componentes avaliados
E1	Verificar a eficiência da terra de diatomáceas com os extratos em pó selecionados por revisão bibliográfica Ribeiro; Vendramim (2019).	E1T1 Somente TD (terra de diatomácea); E1T2 TD com EA (extrato de alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>); E1T3 TD com ME (mix de extratos orgânicos).
E2	Identificar os componentes que estavam otimizando a eficiência da TD	E2T1 TD (Terra de diatomáceas) E2T2 TD sem EA (<i>Kappaphycus alvarezii</i>) E2T3 ME sem TD E2T4 ME.
E3	Analisar a eficiência dos extratos selecionados por revisão bibliográfica.	• Terra de diatomácea; • Extrato de fumo; • Extrato de cravo; • Extrato de graviola; • Extrato de alho; • Extrato de pimenta.
E4	Determinar a melhor metodologia de extração do extrato de fumo para otimizar o controle de pragas.	E4T1 Extração utilizando apenas água; E4T2 Extração combinando água e álcool, conforme as recomendações do fabricante.
E5	Comparar as melhores formulações com o intuito de encontrar a melhor forma de otimizar a eficiência de TD.	E5T1 Somente TD; E5T2 TD com fumo líquido; E5T3 TD com fumo em pó; E5T4 Formulação completa com 5 ME.
E6	Comparar as melhores formulações e o formato de aplicação, em pó ou formato pastoso	E6T1 TD em pó E6T2 TD + fumo extraído com álcool em formato pastoso E6T3 TD + fumo em pó E6T4 ME formato pastoso.

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 - Processo de testagem das formulações para conter as infecções por caruncho (A e B).



Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 Bioensaio

Foram conduzidos bioensaios em estufa BOD – Incubadora de Demanda Bioquímica de Oxigênio (Figura 9), para avaliar o TL50%, para simular o melhor ambiente de crescimento para os carunchos o experimento foi conduzido em temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa de $60 \pm 10\%$, em escuro total, utilizando um delineamento inteiramente aleatorizado (Rocha, 2019). Como substrato nos testes, foram empregados grãos de milho inteiros do híbrido AG 1051 [dentado amarelo; semiduro], previamente selecionados manualmente, provenientes de um cultivo realizado sem o uso de inseticidas. Antes de sua utilização nos bioensaios, os grãos foram mantidos em sala climatizada, nas condições mencionadas anteriormente, por um período mínimo de 30 dias para atingirem o equilíbrio higroscópico, conforme descrito por (Ribeiro; Vendramim, 2019) (Figura 9).

Figura 9 - Bioensaio em BOD.

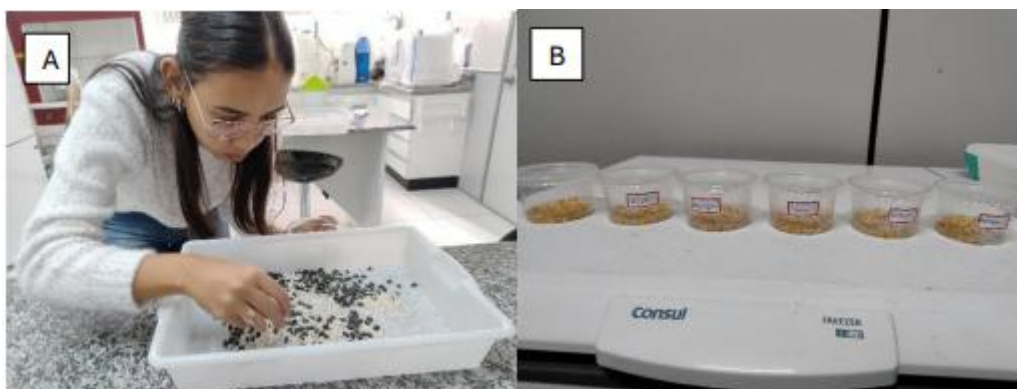


Fonte: Elaborado pelo autor

4.9 Teste de Concentração Letal (CL50)

Para a avaliação da eficácia da TD em diferentes concentrações, foi realizada a estimativa por meio da CL50, expressas em ppm (mg de TD por kg de milho), amostras de 50 g de grãos de milho (unidades amostrais) foram dispostas em frascos plásticos com volume de 250 mL. Estas amostras foram tratadas com as respectivas formulações em um intervalo de concentrações de 0 a 2000 ppm (0, 125, 250, 500, 1000 e 2000 ppm), 3 repetições foram utilizadas para cada concentração, conforme definido por Finney (1971). A mistura do produto com os grãos foi realizada por agitação manual por um minuto em cada frasco plástico contendo os grãos e a concentração específica do produto. Cada unidade amostral foi infestada com 30 insetos adultos (caruncho do milho *Sitophilus spp.*), não sexados e com idade entre 10 e 20 dias (Ribeiro; 2018) (Figura 10).

Figura 10 - Verificação do teste de concentração (A e B).

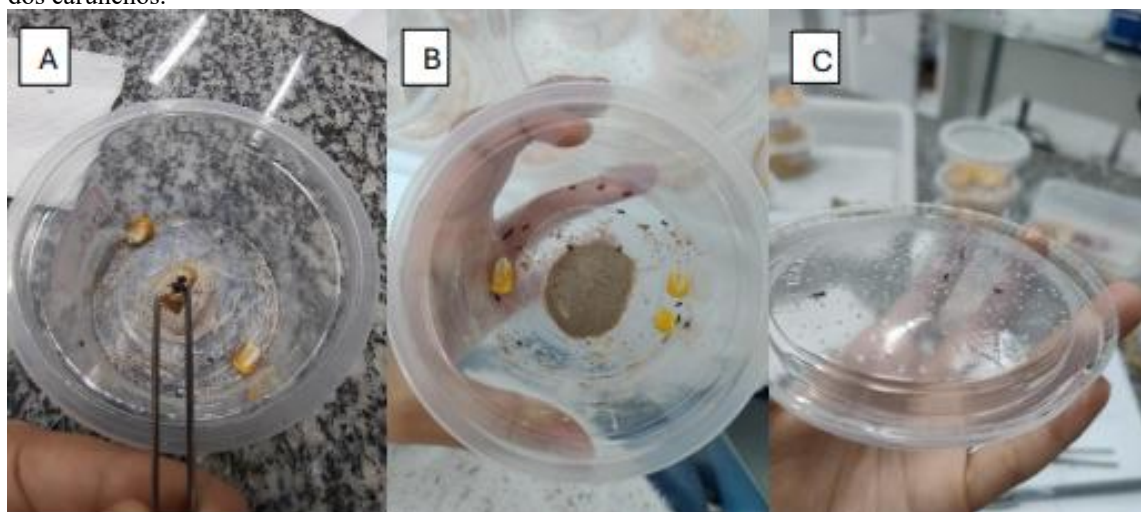


Fonte: Elaborado pelo autor

4.10 Teste de Tempo Letal (TL50)

Para a avaliar o tempo necessário para eliminar 50% da população de insetos (caruncho do milho *Sitophilus spp.*), os mesmos procedimentos empregados nos bioensaios anteriores foram aplicados neste teste. Entretanto, as avaliações de mortalidade foram conduzidas diariamente ao longo de um período de 10 dias (Figura 11), e posteriormente avaliadas estatisticamente através da média acumulada. Este método proporciona uma compreensão mais aprofundada sobre a eficácia das formulações ao longo do tempo, todo o teste seguiu o protocolo descrito por (Ribeiro, L.P.; 2018).

Figura 11. (A) Demonstração do hábito dos carunchos de furar os milhos, (B, C) Avaliação da mortalidade dos carunchos.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.11 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi conduzida com base em diferentes métodos, selecionados conforme os objetivos específicos de cada etapa experimental. Inicialmente, foi aplicada estatística descritiva utilizando o software Microsoft Excel, com o cálculo das médias acumuladas das variáveis de interesse, permitindo uma visão geral dos resultados obtidos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para comparação de médias ($p < 0,05$). Ambas as análises foram realizadas considerando um nível de confiança de 95. Adicionalmente, a estimativa da Concentração Letal Média (CL_{50}) foi realizada por meio do programa PROBIT, amplamente utilizado em estudos toxicológicos, o qual permite ajustes precisos de modelos de regressão para determinar os parâmetros letais com maior acurácia.

5 RESULTADOS

Avaliação da Capacidade de Adsorção de Água

Os testes indicaram que a TD possui uma capacidade de adsorver umidade. Ao adicionar água gradualmente em 20 gramas de TD, verificou-se que foi adsorvido até 40 ml de líquido, equivalendo ao dobro de sua massa.

Os resultados do teste de secagem indicaram que temperaturas mais elevadas aceleram o processo de remoção de umidade, porém alteram a textura da terra de diatomáceas (TD), tornando-a mais rígida e comprometendo sua granulometria fina, característica essencial para a aderência à superfície dos insetos e, consequentemente, para sua ação inseticida. Além disso, conforme apontado por Soares (2015), temperaturas superiores a 45 °C podem afetar negativamente propriedades físico-químicas da microalga fossilizada, reduzindo sua eficácia. Esses resultados são fundamentais para compreender o comportamento da TD sob diferentes condições térmicas e para otimizar seu uso em formulações biológicas. Por esse motivo, optou-se por fixar a temperatura de secagem em 40 °C nas etapas subsequentes do estudo, visando preservar a integridade e funcionalidade do produto.

Teste de Retenção de Cor

A TD apresentou uma notável capacidade de reter pigmentos como observado na Figura 12. Ao incorporar substâncias como o extrato de *Spirulina* e extrato de *Kappaphycus alvarezii*, a TD manteve a cor dos pigmentos mesmo após o processo de secagem. Esse resultado é fundamental para aplicações que exigem estabilidade de cor em suas formulações.

Figura 12. Demonstração da retenção de cor após adsorção de extrato de *kaphapycus alvarezii*, onde a placa de petri a esquerda contém TD e a placa de petri a direita contém TD + EA.



Fonte: Elaborado pelo autor

Teste de Retenção de Aroma

Quando exposta a líquidos com aromas provenientes de óleos essenciais, a TD não apenas adsorveu os cheiros, mas também os preservou após a secagem. Essa característica é vital para produtos que precisam manter seus aromas característicos, facilitando a identificação e garantindo a segurança no manuseio. No entanto, foi observado que, se a TD não for armazenada corretamente (a vácuo ou congelada), ela pode desenvolver um odor desagradável ao longo do tempo (1 mês). Isso ocorre devido à sua natureza biológica e à ausência de aditivos químicos para preservar sua integridade, sugerindo que o produto deve ser comercializado a vácuo para evitar a deterioração.

Teste de granulometria

Os dados do teste de granulometria, apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, ilustram os resultados de peneiramento e sedimentação da TD. Durante o processo de peneiramento, foi observado que apenas uma pequena quantidade de material ficou retida nas peneiras de menor diâmetro, indicando que a TD é majoritariamente composta por partículas muito pequenas. Esta propriedade é essencial para aplicações específicas, como a aderência aos corpos de insetos.

Tabela 1- Ensaio de peneiramento para a obtenção de granulometria de Terra de Diatomácea, onde foi avaliado a porcentagem de massa de TD retida nas malhas.

Nº TYLER Malhas [mm]	Diâmetro [mm]	Massa retida [g]	Retido [%]
4	4,75	0	0%
10	2	0	0%
42	0,35	0	0%
60	0,25	0,6	15%
100	0,15	2,74	69%
270	0,053	0,56	14%
325	0,045	0,1	3%
Total		4	100%

Nº- número, TYLER- indica o número de aberturas por polegada linear, sendo a abertura medida em milímetros.

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela apresenta a distribuição granulométrica das partículas, evidenciando que a maioria possui diâmetros inferiores a 0,2 mm. Essa predominância de partículas extremamente finas caracteriza a TD como uma matriz silte argilosa. Segundo SANTOS *et al.*, (2013), as partículas de silte variam entre 0,053 mm e 0,002 mm, enquanto as de argila possuem diâmetro inferior a 0,002 mm, indicando alta finura e potencial coesivo do material.

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 2 - Ensaio de sedimentação para verificação do tamanho das partículas da TD, onde foi avaliado a altura da queda das partículas de TD no processo de sedimentação no decorrer do tempo.

Tempo [min]	LD [g/cm³]	Temperatura [°C]	μ [g/cm.s]	γ_w [g/cm³]	H [cm]	Lc [g/cm³]	D [mm]	P [%]
1	1,0080	20	0,0103	0,9981	16,944	7,902	0,195	72,6
2	1,0070	20	0,0103	0,9981	16,944	6,902	0,138	63,4
4	1,0065	20	0,0103	0,9981	16,061	6,402	0,095	58,8
8	1,0060	20,5	0,0102	0,9980	16,061	6,024	0,066	55,3
15	1,0055	20,5	0,0102	0,9980	16,061	5,524	0,048	50,7
30	1,0045	21,5	0,0099	0,9978	16,061	4,784	0,034	43,9
60	1,0040	21,5	0,0099	0,9978	16,061	4,284	0,024	39,3
120	1,0025	22	0,0098	0,9977	16,062	2,922	0,011	26,8
240	1,0015	22	0,0098	0,9977	16,062	1,922	0,011	17,6
10080	1,0015	22	0,0098	0,9977	16,062	1,922	0,001	17,6

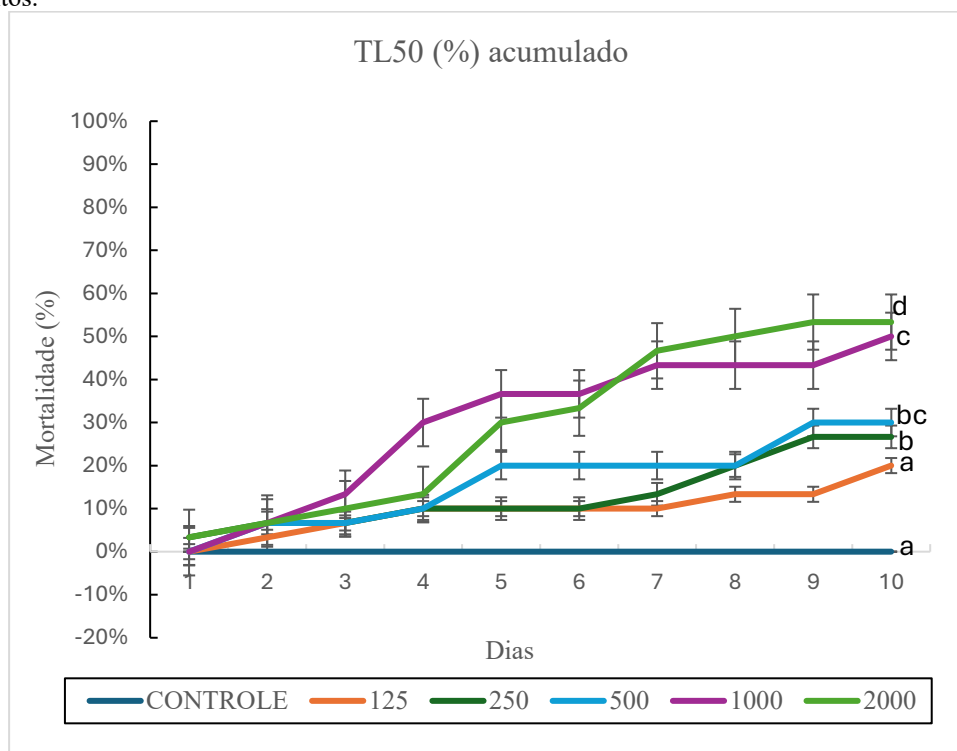
LD – Leitura do densímetro; μ – viscosidade; γ_w – densidade da água; H – Altura de queda da partícula no meio; Lc – Leitura do densímetro corrigida; D – Diâmetro da partícula; P – Percentual acumulado passante.

Fonte: elaborado pelo autor.

Teste de concentração

Conforme demonstrado na Figura 13, a concentração de 2000 ppm de TD apresentou maior eficiência, sendo a única a alcançar uma mortalidade de 50% da população de caruncho (*Sitophilus zeamais*) em milho armazenado, desta forma, as concentrações menores não foram tão eficazes quanto a concentração de 2000 ppm. Os resultados do TL50 (%) acumulado evidenciam que o aumento da concentração do tratamento impacta diretamente os valores observados, indicando uma tendência progressiva na resposta experimental conforme a concentração aumenta.

Figura 13 - Teste de letalidade acumulado (TL50%) de carunchos em milho armazenado de acordo com a concentração de TD em ppm. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

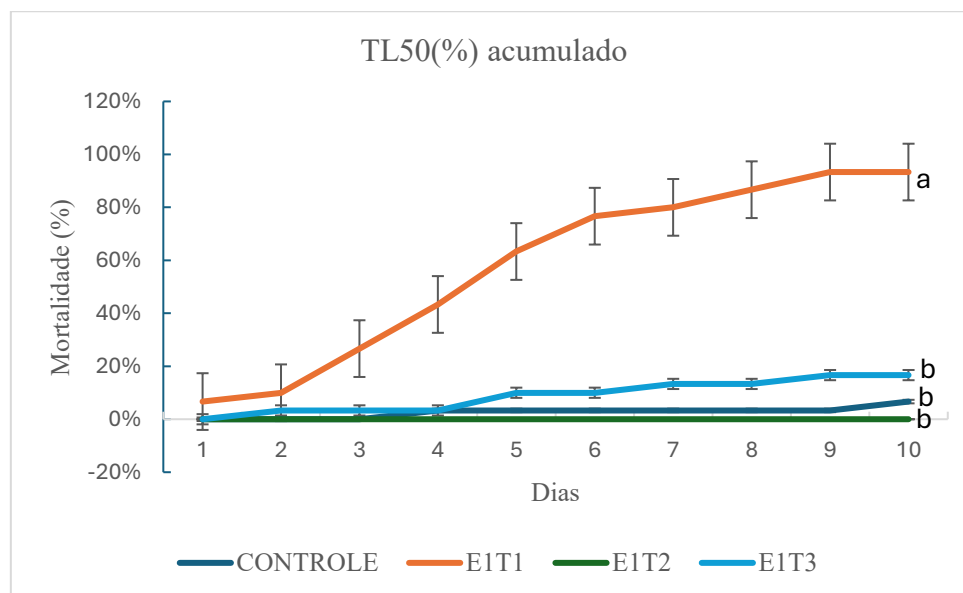
Com base nos resultados obtidos, a análise estatística indicou diferenças significativas entre os grupos testados ($p < 0,05$), o grupo controle possui semelhança estatística com o 125ppm (a), 250 ppm por sua vez tem semelhança estatística com o 500 ppm (b), 500 ppm tem semelhança com 1000 ppm (bc), e 2000 ppm difere de todos os tratamentos (d), mostrando que a concentração de 2000 PPM apresenta valores estatisticamente superiores aos das concentrações mais baixas e do grupo. Assim, os dados sugerem que as concentrações elevadas influenciam significativamente o comportamento da variável analisada, reforçando a relevância do tratamento aplicado.

O presente estudo determinou a concentração letal média (CL50) para o grupo de insetos analisado. Com uma amostra de 30 indivíduos, o valor estimado do CL50 foi de 1155,35 PPM, com intervalo de confiança de 95%, variando entre 75,56 PPM e 17665,37 PPM. O método Spearman-Kärber Trim foi utilizado para o cálculo, resultando em uma taxa de 46,67%. Esses dados fornecem uma base sólida para a análise da toxicidade da substância testada e sua aplicação no controle da população-alvo.

Teste de Eficiência das Formulações

Com a intenção de descobrir a melhor formulação para eliminar as infestações de caruncho e otimizar a eficiência da TD, foi avaliada diversas formulações para identificar a mais eficiente. A formulação composta exclusivamente por terra de diatomácea apresentou a maior eficiência no controle do caruncho, destacando-se como a opção mais promissora entre as testadas. Os demais extratos incluídos nas formulações não demonstraram impacto significativo na mortalidade das pragas conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Teste de tempo letal (TL50%) acumulado de carunchos em milho, E1T1: TD, E1T2: TD+ EA (*Kappaphycus alvarezii*), E1T3: Mix de extratos - ME. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

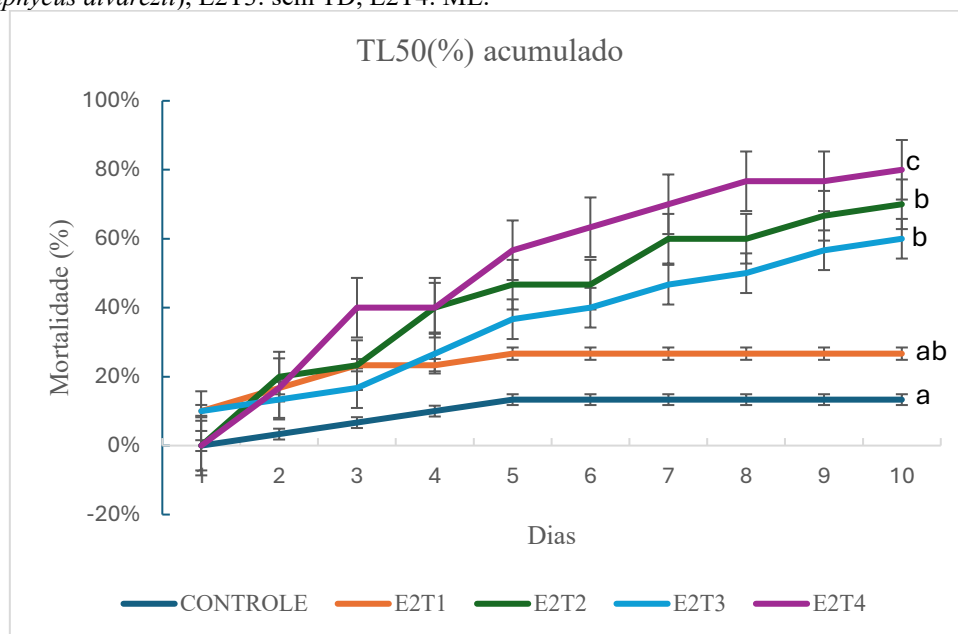
A análise estatística revelou que o grupo E1T1 (a) apresentou resultados significativamente diferentes dos demais ($p < 0,05$), enquanto os demais grupos E1T2,

E1T3 e o Controle não diferiram entre si estatisticamente (b). Esses resultados indicam que apenas o tratamento E1T1 teve impacto significativo na variável analisada.

No Teste 2 (E2), como descrito na Figura 15, o mix de extratos- ME demonstrou maior eficácia no controle de pragas, evidenciando que a combinação dos extratos contribui significativamente para esse efeito. A forma pastosa apresentou um tempo de letalidade mais rápido em comparação ao formato em pó, indicando uma diferença na taxa de ação entre as duas apresentações.

No E2, observou-se também que o extrato de *Kappaphycus alvarezii* (EA) não exerce influência no controle de pragas, sendo eficiente exclusivamente para a germinação.

Figura 15 - Tempo letal (TL50%) acumulado, E2T1: terra de diatomáceas, E2T2: TD sem EA (*Kappaphycus alvarezii*), E2T3: sem TD, E2T4: ME.



Fonte: Elaborado pelo autor

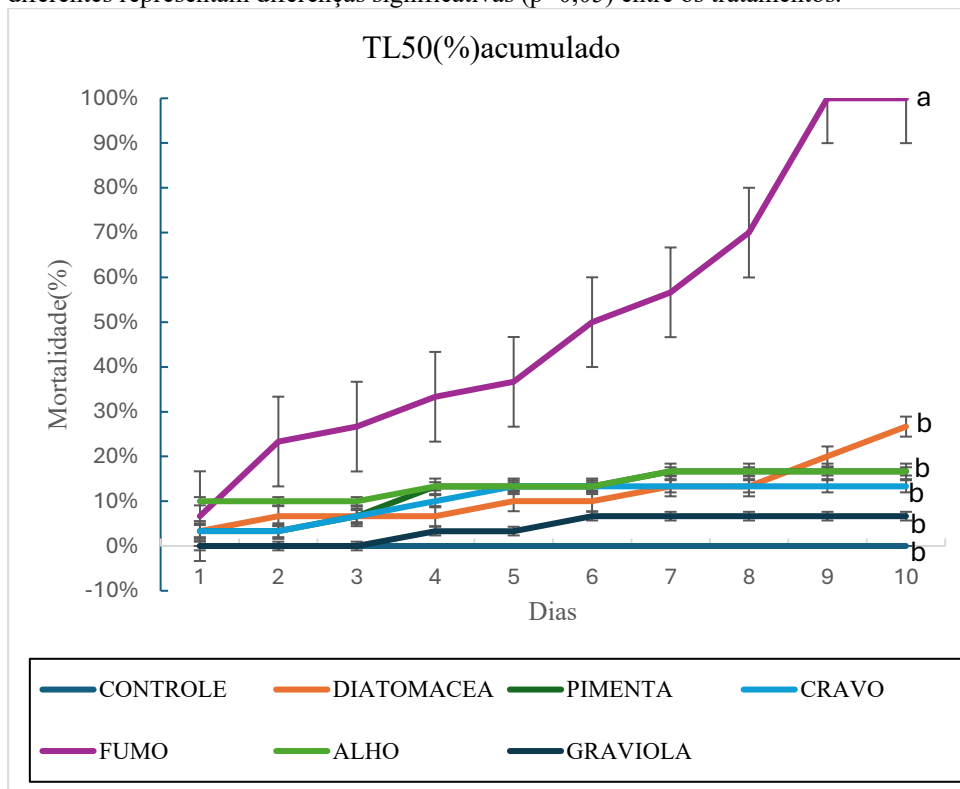
Os resultados indicam que há diferenças estatísticas significativas entre os grupos analisados ($p < 0,05$). O grupo controle (a) apresentou médias semelhante ao grupo E2T1 e médias distintas em relação aos grupos E2T3 (b) e E2T4 (c) e, esses dois últimos entre si, já os grupos E2T2 e E2T3 compartilham semelhanças estatísticas (ab).

Baseado nos resultados do E2 que mostraram a eficiência da formulação baseada em mix de extratos, foi realizado o E3 para avaliar qual extrato era realmente eficaz no controle das pragas. Cada extrato foi testado separadamente, e os resultados indicaram que o extrato de fumo apresentou a maior taxa de mortalidade das pragas.

Por outro lado, os demais extratos não demonstraram influência positiva no tratamento das sementes, conforme evidenciado pela Figura 16. Além de não eliminar os

insetos, o extrato de alho causou mofo nas sementes, fato que pode trazer problemas para a estabilidade da formulação.

Figura 16 - Teste de tempo letal (TL50%) para avaliação de eficiência dos extratos em um período de 10 dias. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

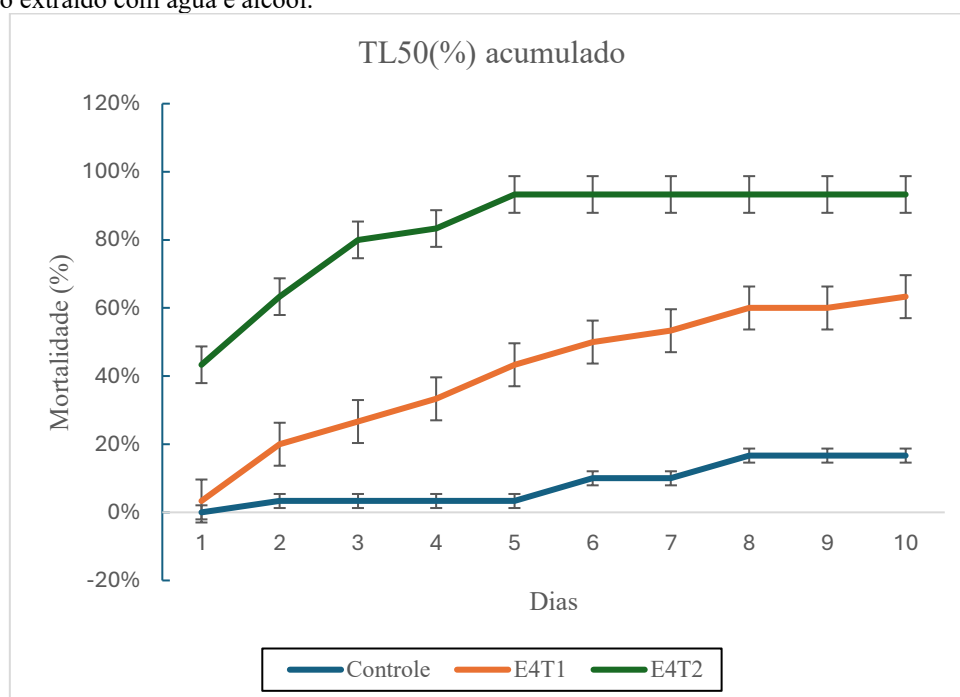


Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados indicam que o grupo Fumo (a) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação aos demais grupos. Já os grupos Diatomácea, Cravo, Pimenta, Alho, Graviola e Controle não diferiram significativamente entre si (b). Isso significa que esses grupos compartilham médias estatisticamente semelhantes, enquanto o grupo Fumo se destaca por apresentar uma resposta superior.

Após os resultados obtidos no E3 onde foi encontrado o extrato mais eficiente, foi realizado o E4. Os resultados obtidos por TL50% evidenciaram que a extração com álcool produziu um efeito significativamente superior (E4T2), já que a mortalidade foi completa em um curto período, conforme observado na Figura 17.

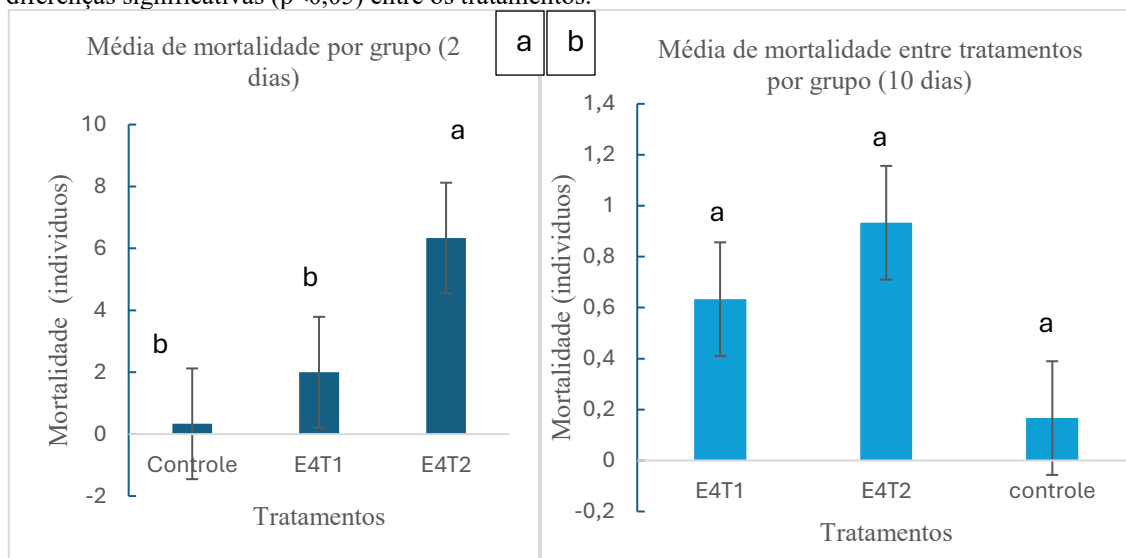
Figura 17 - Teste de letalidade (TL50%) onde E4T1= extrato de fumo extraído com água, E4T2= extrato de fumo extraído com água e álcool.



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando avaliado a mortalidade após 2 dias, uma vez que foi o tempo necessário para atingir o TL50%, o teste de Tukey indica que o tratamento E4T2 difere significativamente dos grupos Controle e E4T1, enquanto E4T1 e Controle não apresentam diferença estatística entre si. Isso sugere que E4T2 teve um efeito marcadamente superior na variável analisada. Já após os 10 dias de experimento, os resultados indicam que não há diferença estatística ($p > 0,05$) na mortalidade entre os grupos E4T1, E4T2 e controle (Figura 18).

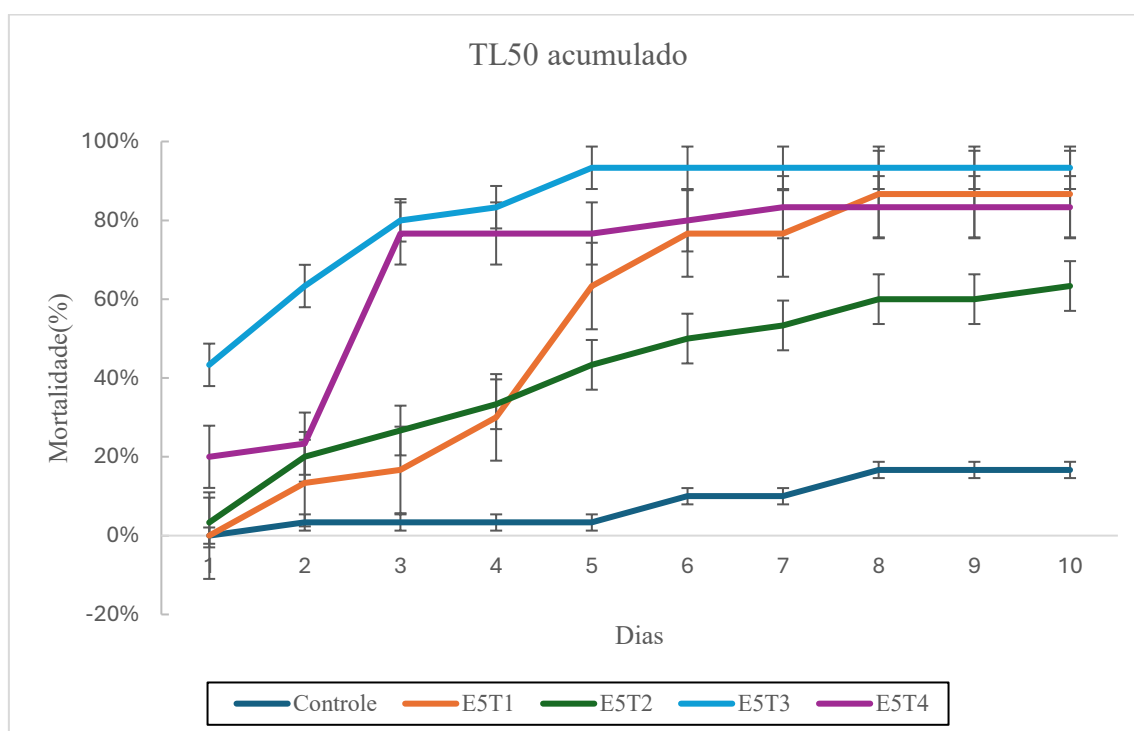
Figura 18 - Variação de mortalidade entre os tipos de produtos utilizados como controladores de pragas após 2 dias (a), tempo necessário para atingir o TL50 e após 10 dias, tempo total de experimento (b). Onde E4T1= extrato extraído com água, E4T2= extrato extraído com água e álcool. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a conclusão do E4, foi realizado o E5. Os resultados indicaram que a combinação mais eficaz foi a terra de diatomácea com álcool e fumo. Essa combinação demonstrou ser extremamente eficiente no combate ao caruncho no milho, destacando-se como uma solução promissora para o controle de pragas, conforme ilustrado na Figura 19.

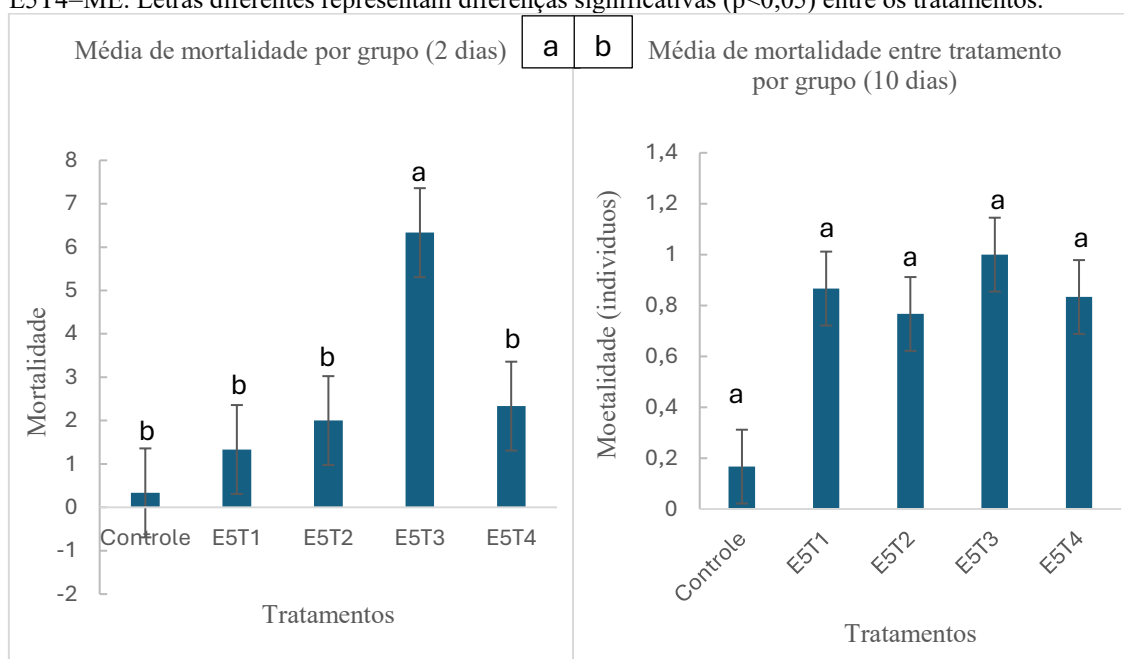
Figura 19 - Teste de letalidade (TL50%) de caruncho no milho onde, Controle= sem nenhum extrato, E5T1= diatomácea, E5T2= diatomácea+ fumo+ água, E5T3= diatomácea+ fumo+ álcool, E5T4=ME.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se que apenas o tratamento E5T3 apresentou diferença significativa em relação aos demais grupos na mortalidade acumulada ao longo de 2 dias, período em que foi observado o TL_{50} . Os demais tratamentos (E5T1, E5T2, E5T4 e controle) não diferiram estatisticamente entre si. Já ao final dos 10 dias de experimento, todas as comparações realizadas entre os tratamentos (E5T1, E5T2, E5T3, E5T4) e o grupo controle resultaram médias similares ($p>0,05$). Isso sugere que nenhum dos tratamentos avaliados causou um impacto significativo na variável resposta, indicando uma possível similaridade entre os efeitos dos diferentes tratamentos analisados (Figura 20).

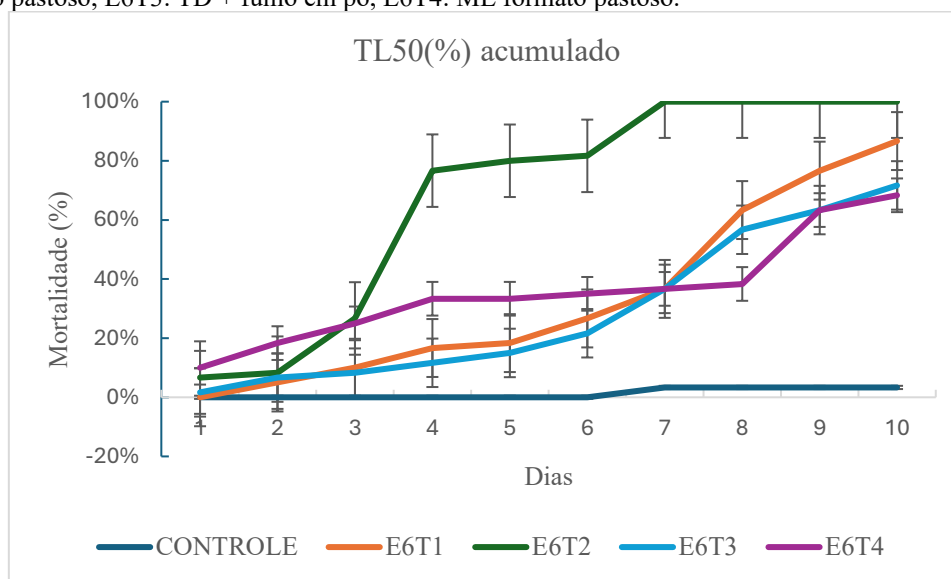
Figura 20 - Mortalidades observadas entre os tratamentos após 2 dias, tempo necessário para obter-se o TL_{50} (a), mortalidade observada entre tratamentos após 10 dias, tempo total do experimento (b), onde: Controle= sem nenhum extrato, E5T1= TD, E5T2= TD+ fumo+ água, E5 T3= TD+ fumo+ álcool, E5T4=ME. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para verificar a exatidão do protótipo final, realizamos o E6, avaliando as formulações mais bem-sucedidas. Os resultados confirmaram que a melhor formulação foi a de terra de diatomácea com fumo extraído com álcool em formato pastoso. Concluímos que a melhor forma de comercialização seria a combinação de fumo extraído com álcool (líquido) com terra de diatomácea em pó formando então uma formulação pastosa (Figura 21).

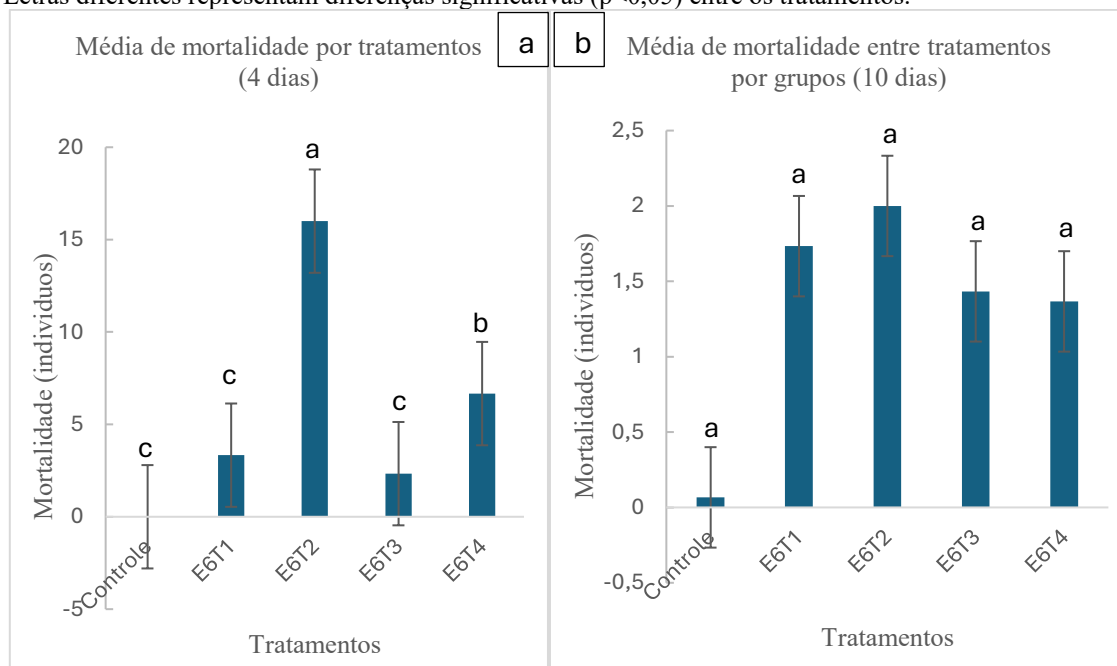
Figura 21 - Teste de tempo letal (TL50%), E6T1: TD em pó, E6T2: TD + fumo extraído com Álcool em formato pastoso, E6T3: TD + fumo em pó, E6T4: ME formato pastoso.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao avaliar a mortalidade acumulada ao longo de 4 dias, período em que foi observado o TL50; foi possível evidenciar a diferença estatística entre os grupos, onde o tratamento E6T2 apresentou desempenho significativamente superior aos demais, enquanto E6T4 também se destacou em relação ao controle, mas não diferiu estatisticamente de E6T1 e E6T3; por outro lado, E6T1, E6T3 e o controle formam um grupo homogêneo, sem diferenças significativas entre si. Já ao avaliar a mortalidade no decorrer dos 10 dias de experimento, as diferentes composições de TD e fumo tiveram efeitos semelhantes ($p > 0,05$) na mortalidade dos insetos (Figura 22).

Figura 22. Mortalidades observadas entre os tratamentos no período de 4 dias TL50% (a), mortalidade observada entre tratamentos após 10 dias, tempo total do experimento (b), onde E6T1: TD em pó, E6T2: TD + fumo extraído com Álcool em formato pastoso, E6T3: TD + fumo em pó, E6T4: ME formato pastoso. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor

6 DISCUSSÃO

Os resultados do teste de granulometria confirmam que a maioria das partículas da TD possui um diâmetro reduzido, o que está em consonância com as observações de Divino (2010). Essa alta proporção de partículas finas resulta em uma maior superfície de contato com os insetos, facilitando a adesão e, conseqüentemente, a eficácia do bioproduto. Estudos indicam que a abrasão da camada cerosa do exoesqueleto dos insetos leva à desidratação e morte, tornando a TD uma alternativa viável aos inseticidas químicos convencionais (Rossato *et al.*, 2024).

A formulação TD Keepdry®, composta predominantemente por partículas na faixa de silte e argila, é altamente adequada para essa aplicação. A distribuição granulométrica sugere que a TD pode penetrar de forma eficaz em pequenas fissuras e porosidades, aumentando sua eficiência no controle de pragas. Além disso, pesquisas indicam que a TD pode ser empregada em grãos como trigo, milho, cevada e arroz para prevenir danos causados por pragas de armazenamento (Lorini, 2025).

Os testes de granulometria confirmam que a TD possui as propriedades necessárias para ser um agente eficaz no controle de pragas em ambientes de armazenamento de grãos. As partículas pequenas e finas com diâmetros inferiores a 0,2 mm não apenas facilitam a adesão e abrasão nos insetos, mas também permitem a penetração em locais de difícil acesso, garantindo uma proteção abrangente (Ventura *et al.*, 2025).

Segundo Divino (2010), a predominância de partículas finas na terra de diatomácea (TD) é crucial para diversas aplicações práticas, especialmente no desenvolvimento de bioprodutos destinados ao controle de pragas. A granulometria das partículas desempenha um papel significativo na eficácia dos produtos inseticidas, pois partículas menores aderem mais facilmente aos corpos dos insetos, aumentando a eficiência do controle.

A análise estatística demonstrou que a concentração de 2000 ppm foi a mais eficaz na mortalidade de caruncho *Sitophilus zeamais*, atingindo 50% de letalidade por volta de 7 dias, enquanto concentrações menores apresentaram eficácia reduzida. Esses resultados são consistentes com os estudos de Lorini (2001) e Ribeiro (2017), que também destacaram a eficácia de altas concentrações (2000 PPM) de TD no controle de pragas em grãos armazenados. Além disso, estudos como os de Marsaro Júnior *et al.*, (2013)

reforçam que a aplicação de TD em concentrações elevadas é uma estratégia eficaz e sustentável, proporcionando uma alternativa viável aos inseticidas químicos convencionais.

O mecanismo de ação da terra diatomácea foi descrito por Korunić (1998), que destaca seu efeito abrasivo sobre a camada externa dos insetos, levando à desidratação e morte. Isso explica por que doses elevadas, como 2000 ppm, apresentam maior eficácia, conforme observado nesta pesquisa e em estudos anteriores. Adicionalmente, FIELDS e Korunić (2000) apontam que a taxa de mortalidade tende a aumentar proporcionalmente com a concentração aplicada e o tempo de exposição.

O estudo atual determinou um valor de CL50 de 1155,35 ppm, significativamente superior ao encontrado por Vendramim (2017), que registrou um CL50 de 2480,75 ppm. Como a metodologia empregada e o intervalo de confiança foram idênticos em ambos os estudos, essa diferença sugere uma possível variação na sensibilidade da população de insetos analisada, podendo estar relacionada a fatores biológicos ou ambientais específicos da amostra utilizada.

Os resultados reforçam essa tendência, indicando que 500 e 1000 ppm demonstraram impacto relevante, mas não diferiram estatisticamente de algumas concentrações mais baixas, sugerindo que doses inferiores podem não ser adequadas para um controle eficiente da praga. Isso está alinhado com os achados de Subramanyam; Roesli (2000), que indicam que doses abaixo de 500 ppm podem não ser suficientemente efetivas para proteger grãos armazenados a longo prazo.

Além da eficácia no controle da praga, a viabilidade econômica da aplicação da TD em concentrações elevadas é um fator crucial. Embora doses mais altas representem um custo inicial maior, estudos como o de Stathers *et al.*, (2004) demonstram que a redução das perdas pós-colheita e a preservação da qualidade dos grãos compensam esses custos.

Visto isso, ressalta-se que a reaplicação periódica pode ser necessária para manter a eficácia ao longo do tempo, especialmente em ambientes de alta umidade. Como discutido por Athanassiou *et al.*, (2005), a umidade pode comprometer a ação da TD, tornando essencial um acompanhamento contínuo para garantir a proteção dos grãos armazenados. Dessa forma, os resultados desta pesquisa fortalecem a recomendação do

uso de 2000 ppm como uma estratégia eficiente, sustentável e de fácil aplicação para o manejo de pragas em grãos armazenados.

De acordo com Ribeiro; Vendramim (2019), a utilização de protetores de grãos, especialmente os pós inertes à base de TD e os derivados botânicos com propriedades inseticidas/insetistáticas, são cruciais para um controle eficaz de insetos-praga. No contexto deste estudo, foi verificado que a TD funciona melhor em consórcio com outros extratos vegetais antifúngicos.

Os resultados indicaram que a melhor formulação foi a combinação de TD com fumo extraído com álcool em formato pastoso. A presença de compostos bioativos no extrato de fumo, como alcaloides e nicotina, contribui para sua ação inseticida, atuando de maneira eficaz contra diferentes espécies de pragas (Corrêa, J.C.R.; Salgado, H.R.N. (2011). O presente estudo demonstra que essa mistura apresentou uma eficácia superior no controle de pragas, destacando-se entre as demais formulações. Portanto, se faz essencial considerar a seleção do tipo de extrato a ser utilizado com base em suas propriedades e eficácia comprovada. Além disso, concluímos que a melhor forma de comercialização seria a combinação de fumo líquido com TD seca.

Embora ao final dos 10 dias de avaliação não tenha sido observada diferença estatística significativa entre os tratamentos, no 4º dia foi registrada uma diferença estatística relevante, com destaque para a formulação pastosa de TD enriquecida com extrato de fumo, que atingiu o TL_{50} nesse período. Esse resultado indica que essa formulação promove uma ação inseticida mais rápida em comparação às demais, o que pode representar uma vantagem importante em estratégias de controle imediato.

Dessa forma, a escolha da melhor formulação deve levar em conta não apenas os aspectos estatísticos, mas também fatores como eficácia prática, impacto ambiental e viabilidade econômica. Além disso, o comportamento similar entre os extratos avaliados reforça a necessidade de estudos adicionais para aprofundar a compreensão sobre os mecanismos de ação da TD combinada com extratos vegetais. A busca por formulações sustentáveis e eficientes para o manejo integrado de pragas permanece essencial, garantindo um equilíbrio entre eficácia biológica e aplicabilidade comercial.

Os resultados referentes à cor e ao aroma das formulações indicam que a terra de diatomácea (TD) apresentou elevada capacidade de retenção das características sensoriais dos extratos vegetais testados. Essa propriedade se mostra relevante, pois pode contribuir

para a atratividade dos insetos às formulações, favorecendo sua aproximação e, consequentemente, aumentando a eficácia do controle. Estudos como o de Pranke *et al.*, (2016) reforçam essa hipótese ao demonstrar que atributos visuais, como a cor, desempenham papel importante na atratividade de insetos, otimizando o desempenho de armadilhas. Além disso, a liberação controlada de compostos voláteis, como álcoois e aromas naturais, incluindo os provenientes do café, tem se mostrado eficaz na potencialização da captura de indivíduos. Dessa forma, a capacidade da TD de preservar e liberar gradualmente esses estímulos sensoriais pode representar um diferencial estratégico no desenvolvimento de formulações mais atrativas e eficientes para o manejo integrado de pragas.

Por fim, conclui-se que a integração de TD com extratos vegetais antifúngicos não apenas potencializa sua eficácia, mas também proporciona uma abordagem mais sustentável e econômica, alinhada com as recomendações de manejo integrado de pragas.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa demonstram que a terra de diatomáceas (TD) apresenta características físico-químicas que a tornam um bioproduto promissor para o controle de pragas em grãos armazenados. Sua granulometria fina favorece a adesão às estruturas externas dos insetos, promovendo abrasão e desidratação, enquanto sua estrutura porosa e elevada área superficial conferem excelente capacidade de retenção de compostos sensoriais, como cor e aroma. Essa propriedade é relevante, pois contribui para a atratividade dos insetos às formulações, potencializando a eficácia do controle.

A associação da TD com extratos vegetais, em especial o extrato alcoólico de fumo, revelou-se eficaz na intensificação da ação inseticida, resultando em maior taxa de mortalidade em menor tempo de exposição. A presença de alcaloides e outros compostos bioativos no fumo atuou de forma sinérgica com a TD, ampliando o espectro de ação da formulação. No entanto, embora o fumo tenha demonstrado eficiência significativa, é necessário considerar os riscos associados à sua composição química. Alcaloides como a nicotina, embora eficazes contra pragas, podem representar desafios à sustentabilidade e à segurança toxicológica, especialmente em contextos de uso prolongado ou em ambientes de produção de alimentos.

Diante dos resultados promissores obtidos em ambiente laboratorial, torna-se evidente a necessidade de avançar para avaliações em condições reais, a fim de validar a eficácia da formulação sob variabilidade ambiental. A performance observada em laboratório, embora relevante, precisa ser confirmada em cenários práticos, onde fatores como umidade, temperatura, tipo de cultura e presença de outras pragas podem influenciar diretamente os resultados.

Além disso, estudos aprofundados sobre a toxicidade dos compostos utilizados e sua viabilidade ambiental são fundamentais para garantir que o desenvolvimento de novos bioprodutos esteja alinhado com os princípios da agricultura sustentável, da segurança alimentar e da saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. F. A.; OLIVEIRA, D. G. P.; NEVES, P. M. O. J. Fatores que afetam a eficiência da terra de diatomácea no controle de adultos de *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 716–722, 1 dez. 2008.
- ANTONIDES, L. E. **Mineral commodity summaries**. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>. Acesso em: 27 dez. 2023, às 14:51.
- ANTUNES, L. E. G. *et al.* Avaliação do uso de terra de diatomácea contra a infestação de grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 662–669, 31 dez. 2011.
- ANTUNES, L. E. G.; GOMES DIONELLO, R. Avaliação do uso de terra de diatomácea para controle de *Sitophilus zeamais* em grãos de arroz com casca. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 7, n. 1, p. 142–151, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21674/2448-0479.71.142-151>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Monografia técnica. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/toxicologia/monografias/t43.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2023, às 10:10.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. Agro do Brasil alimenta quase 10% da população mundial. **Revista Agroanalysis**, jun. 2021.
- ASTM D570 – 98. **Standard test method for water absorption of plastics**. West Conshohocken: ASTM International, 1998.
- ATHANASSIOU, C. G.; KAVALLIERATOS, N. G.; VAYIAS, B. J. Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium confusum* on stored maize and wheat: influence of dose rate and exposure interval. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, n. 1, p. 47–55, 2005.
- BATTARBEE, E. W. Diatom analysis. In: BERGLUND, B. E. (ed.). **Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology**. Chichester: John Wiley & Sons, 1986. p. 527–570.
- BERNARDI, L. H.; CAMILLO, M. F. Terra de diatomácea e a sua eficiência na mortalidade de *Spodoptera frugiperda* em ambiente de laboratório. **Revista Agraria Acadêmica**, v. 4, n. 5, p. 26–31, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354622851_Terra_de_diatomacea_e_a_sua_eficiencia_na_mortalidade_de_Spodoptera_frugiperda_em_ambiente_de_laboratorio. Acesso em: 20 fev. 2025.
- BUENO, V. H. P. *et al.* **Controle biológico e manejo de pragas na agricultura sustentável**. Lavras: Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras, 2015. Disponível em: <http://www.den.ufla.br/attachments/article/75/ApostilaCB>. Acesso em: 20 fev. 2025.

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. The diatoms: biology & morphology of the genera. **Cambridge: Cambridge University Press**, 1990. 747 p.

CANEPELE, M. A. B. *et al.* Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 4, p. 625–630, 2003.

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 500–506, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/d5SxQVKhnYNCcjYfphdPNgn/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

CHIU, S. F. Toxicity studies of so-called “inert” materials with the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say). **Journal of Economic Entomology**, v. 32, p. 240–248, 1939.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra de grãos 2024/25 é estimada em 345,2 milhões de toneladas com recorde na produção de milho e soja**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-de-graos-2024-25-e-estimada-em-345-2-milhoes-de-toneladas-com-recorde-na-producao-de-milho-e-soja>. Acesso em: 19 ago. 2025.

CONTINI, E.; PENA JUNIOR, M. A. G.; SANTANA, C. A.; MARTHA JUNIOR, G. Exportações: motor do agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF: Secretaria Nacional de Política Agrícola, Companhia Nacional de Abastecimento, ano XXI, n. 2, abril-maio, 2012.

DHANKER; SAXENA, A.; TIWARI, A.; SINGH, P. K.; PATEL, A. K.; DAHMS, H.-U.; HWANG, J.-S.; GONZÁLEZ-MEZA, G. M.; MELCHOR-MARTÍNEZ, E. M.; IQBAL, H. M. N.; PARRA-SALDÍVAR, R. Towards sustainable diatom biorefinery: recent trends in cultivation and applications. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 391, p. 129905, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37923226/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

DIVINO, A. *et al.* **Determinação da curva granulométrica de terra de diatomácea**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/16_20160821_00-15-20_309.pdf. Acesso em: 29 dez. 2023.

DIVINO, A. *et al.* **Determinação da densidade de partícula e massa específica aparente em terra de diatomácea**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/16_20160820_23-43-25_308.pdf. Acesso em: 27 dez. 2023.

DOLLEY, T. P. U. S. **Mineral commodity summaries**. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>. Acesso em: 27 dez. 2023, às 15:05.

DRUM, R. W.; GORDON, R. **Star Trek replicators and diatom nanotechnology. Trends in Biotechnology**, [s. l.], v. 21, n. 8, p. 325–328, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/diatom>. Acesso em: 19 ago. 2025.

EBELING, W. Sorptive dusts for pest control. **Annual Review of Entomology**, v. 16, p. 123–158, 1971.

EMBRAPA. **Manejo integrado de pragas (MIP) na cultura da soja**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1154898/1/DOC-147-2023-2.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.

EMBRAPA. **Pesticidas biológicos cresceram 45% no Brasil nos últimos cinco anos. 2017**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/87248594/pesticidas-biologicos-cresceram-45-no-brasil-nos-ultimos-cinco-anos>. Acesso em: 28 ago. 2025.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 1988.

FERREIRA, T. *et al.* **Mercado de produtos biológicos para controle de pragas no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2011.

FERNANDES, A. Agrotóxicos, pesticidas e defensivos agrícolas: qual a nomenclatura adequada conforme a legislação consumerista? **Revista Tamoios**, v. 20, n. 1, 18 jan. 2024.

FIELDS, P. G.; KORUNIĆ, Z. Diatomaceous earth insecticides: physical and chemical characteristics. **Pest Management Science**, v. 56, n. 6, p. 532–539, 2000.

FREIRES, S. T. dos S. **Utilização de inseticidas naturais na agricultura: uma revisão. Releia**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://releia.ifsertaope.edu.br>. Acesso em: 28 maio. 2025.

FINNEY, D. J. Probit analysis. **Cambridge: Cambridge University Press**, 1971. 31 p.

FURTADO, C. Formação econômica do Brasil. **São Paulo: Companhia Editora Nacional**, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Séries estatísticas**. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 28 maio. 2025.

GOULART, M. R. *et al.* Metodologias para reutilização do resíduo de terra diatomácea, proveniente da filtração e clarificação da cerveja. **Química Nova**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 625–629, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/9tpRfDr9CbZyLRTMST5Yrzw/>. Acesso em: 29 maio. 2025.

HERMANY, G. *et al.* Ecology of the epilithic diatom community in a low-order stream system of the Guaíba hydrographical region: subsidies to the environmental monitoring of southern Brazilian aquatic systems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 18, n. 1, p. 9–27, 2006.

JOYCE. Bioatividade de *Piper nigrum* L. (Piperaceae) no manejo de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae). **Universidade Federal de Alagoas**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6151>. Acesso em: 28 maio. 2025.

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

LOBO, E. A.; LEIGHTON, G. Estruturas comunitárias de lãs fitocenosis plantónicas de lós sistemas de desembocaduras de rios y esteros de La zona Central de Chile. **Revista de Biología Marinha**, v. 22, n. 1, p. 1–29, 1986.

LOBO, E. A. *et al.* **Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2014.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 42, n. 117, p. 518–534, jun. 2018.

LORINI, I. Produto natural à base de terra de diatomáceas para controle das pragas de grãos e sementes armazenadas. **Embrapa Soja**, 2025. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/915984/1/folderDiatomaceas.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

LORINI, I. *et al.* **Terra de diatomáceas como alternativa no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2013/09/5-Terra-de-diatom%C3%A1ceas-no-controle-de-pragas.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

LORINI, I. Efeito de pós inertes sobre as pragas de grãos de cevada armazenada *Rhyzopertha dominica* e *Sitophilus* spp.. **Comunicado Técnico (EMBRAPA)**, n. 62. Passo Fundo, RS: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001.

LORINI, I.; BECKEL, H. Descrição, biologia e danos das principais pragas em grãos armazenados. **Armazenagem de Grãos**, Campinas: Embrapa, v. 1, p. 555–568, 2002.

LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. (org.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: IBG, 2018. p. 659–692.

LORINI, I. *et al.* **Colheita e pós-colheita de grãos: capítulo 14 – Colheita**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222456/1/p.-317-345-de-SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

- MARSARO JÚNIOR, A. L.; GOMES, L. F.; OLIVEIRA, C. R. Eficácia da terra diatomácea no controle de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1275–1282, 2013.
- MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V.; ANGONESE, C. Silos de alvenaria armada para propriedade familiar. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; MARQUES, L. A. *et al.* Agroecologia: um olhar para produção de alimentos e desenvolvimento rural sustentável com mais saúde. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 5, p. 637–658, 7 nov. 2023.
- MIRANDA, H. R. N.; SOUSA, E. S. B. de; SANTANA, G. de G. Controle biológico: combate de pragas de forma sustentável na fase vegetativa do milho. **Facit Business and Technology Journal**, v. 2, n. 46, 1 nov. 2023.
- MONDIN, M. *et al.* Biológicos na agricultura. Piracicaba, SP: **Pecege Editora**, 2022.
- OLIVEIRA, A. *et al.* Biotecnologia aliada da agricultura e na produtividade da soja. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/SMli3MfWJotMX7I_2021-6-8-16-41-51.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.
- OS MUITOS USOS DO DIATOMITO – SGB. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/os-muitos-usos-do-diatomito>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- PAULA, N.; BASTOS, L. T. Inserção do agronegócio alimentar brasileiro nos mercados mundiais. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 304–331, 2009.
- PIMENTEL, M. A. G.; OLIVEIRA, I. R. de; NORMANDO, C. A.; OLIVEIRA, C. L. de. Inseticidas recomendados, limites de resíduos e indicações técnicas para aplicação no controle de pragas durante o armazenamento de grãos de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 39 p. (**Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica**, 267).
- PINTO JÚNIOR, A. R. *et al.* Resposta de *Sitophilus oryzae* (L.), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) e *Oryzaephilus surinamensis* (L.) a diferentes concentrações de terra de diatomácea em trigo armazenado a granel. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2103–2108, 1 nov. 2008.
- PRANKE, P. H. L. *et al.* **Dispensor de atraentes para broca-do-café**. BR 102013014232-8 A2. Depósito: 07 jun. 2013. Publicação: 11 out. 2016. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2016.
- PRATES, D. M. A alta recente dos preços das commodities. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 323–344, set. 2007.
- QUARLES, W. **Diatomaceous earth for pest control**. *IPM Practitioner*, v. 14, n. 5–6, p. 1–11, 1992.

RAYMUNDO, E. A. *et al.* Análise de absorção de água em compósito de polímero reforçado com fibras naturais. **Cadernos UNIFOA**, São Paulo, 2012.

RIBEIRO, L. P. *et al.* **Avaliação da eficácia de duas formulações comerciais de terra de diatomácea no controle do gorgulho-do-milho com base em parâmetros toxicológicos.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/354622851>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RIBEIRO, L. P.; VENDRAMIM, J. **Associação de extratos vegetais e terra de diatomácea no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae).** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0e95/edcfe4cd7dbf08165c0cdc74918723d1f131.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2024.

RIBEIRO, M. C. Uso de terra diatomácea no controle de pragas de grãos armazenados. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 61, n. 2, p. 123–130, 2017.

RODRIGUES, A. D. **Biopesticidas: alternativa para sustentabilidade no setor canavieiro.** 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifsp.edu.br/items/3fbade31-a6e5-4466-8830-4d0d533d47b0>. Acesso em: 28 ago. 2025.

ROSSATO, C.; VENTURA, M. U.; LORINI, I. **Composição química de formulações de terra de diatomáceas usadas no controle de pragas de grãos armazenados.** Anais do Congresso Brasileiro de Pós-Colheita, 2024. Disponível em: https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/110_20142111_01-29-49_8667.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

ROSSATO, C.; LORINI, I.; URSI, M. **Composição química de formulações de terra de diatomáceas usadas no controle de pragas de grãos armazenados.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/110_20142111_01-29-49_8667.pdf. Acesso em: 29 dez. 2023.

SALLES FILHO, S. L. M. **A dinâmica tecnológica da agricultura: perspectivas da biotecnologia.** Campinas: UNICAMP-IE, 1993. (Tese de Doutorado).

SANTOS, R. D. *et al.* Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2013. 100 p.

SANTOS, E. L. dos *et al.* Impactos causados pelo uso excessivo de agroquímicos na agricultura familiar: uma revisão. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, p. e3746, 13 mar. 2024.

SHARMA, N. *et al.* Diatoms biotechnology: various industrial applications for a greener tomorrow. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.636613/full>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SOARES, G. **Influência do processo de secagem convectiva na qualidade da carragenana extraída de *Kappaphycus alvarezii*.** [S. l.]: Universidade Federal de

Santa Catarina, 2025. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100876>. Acesso em: 29 maio. 2025.

STATHERS, T.; DENNIS, L.; WALKER, D. The efficacy and persistence of diatomaceous earth formulations used as grain protectants in stores in Zimbabwe.

Journal of Stored Products Research, v. 40, n. 3, p. 349–357, 2004.

SUBRAMANYAM, B.; ROESLI, R. Inert dusts. In: SUBRAMANYAM, B.;

HAGSTRUM, D. W. (org.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Boston: Springer, 2000. p. 321–380.

VENTURA, M. U. *et al.* Terra de diatomáceas no controle de pragas de armazenamento de soja, milho e trigo em função da composição físico-química. **Portal eduCapes**,

2025. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/983787>. Acesso em: 25 fev. 2025.

VILELA, C. G.; CARVALHO, I. S. Diatomáceas. In: CARVALHO, I. S. (org.).

Paleontologia. São Paulo: Interciência, 2004. p. 319–326.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). What are Biopesticides? Washington, D.C.: EPA, 2024. Disponível em:

<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/what-are-biopesticides>.

Acesso em: 22 out. 2025.