

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

MATHEUS GRANDE

USO DE NANOTECNOLOGIA OCC® PARA AUMENTO DO RESIDUAL DE
INSETICIDA NO CONTROLE DE *Dalbulus maidis* NA CULTURA DO MILHO

PONTA GROSSA
2025

MATHEUS GRANDE

USO DE NANOTECNOLOGIA OCC® PARA AUMENTO DO RESIDUAL DE
INSETICIDA NO CONTROLE DE *Dalbulus maidis* NA CULTURA DO MILHO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado para obtenção de grau de
Engenheiro Agrônomo na Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Orcial Ceolin
Bortolotto.

PONTA GROSSA
2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2025

AVALIAÇÃO DE TCC RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia: Uso de nanotecnologia OCC para aumento de residual de inseticida no controle de Dalbulus maidis na cultura do milho

Autor (a): Mathheus Grande

Data da defesa: 23/05/2025 Horário: 8:00 Local: Sala F-40

Avaliadores:

1-Orientador (a): Ricardo E. Borro Assinatura: [Assinatura]

2-Avaliador (a): William Iordy dos Anjos Assinatura: [Assinatura]

3-Avaliador (a): Benedicta Zemann Assinatura: [Assinatura]

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	2.0	1,85	2,0
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5.5	5,50	5,50
III- Arguição (Até 2,0)	1.8	1,65	2,0
TOTAL	9.3	9,00	9,5
MÉDIA FINAL *	9.3		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em **evento técnico-científico**, no qual o acadêmico conste como **autor**, poderá ser acrescentado **ATÉ 10%** da nota, na somatória final. Apresentar **comprovante** junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

FORMULÁRIO 4
OTCC
AGRONOMIA

AGRADECIMENTOS

A Deus, o grande arquiteto deste universo que me conduziu e me conduz, e sempre está ao meu lado diante de toda e qualquer situação me dando sabedoria.

Ao meu pai, Peterson Grande, por sempre me garantir uma vida muito boa e ser meu mentor, ajudando a tomar as melhores decisões para minha vida pessoal e profissional.

A minha Mãe, Simone F. Souza, por estar ao meu lado em toda situação da vida e permitir uma vida muito boa em casa e em família.

A minha irmã, Maria Júlia Grande, por estar ao meu lado nessa caminhada.

Aos meus Avós, Verci J. G. Grande, Marilda Grande e Ernestina Maria F. Souza.

Ao meu padrinho, Claiton J. S. Souza, e a minha madrinha, Júlia Marilú de Souza por todo ensinamento e apoio que me ajudou e ajuda a ser uma pessoa e um profissional melhor.

A toda minha família que esteve ao meu lado me apoiando.

Ao Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto, pela oportunidade e contribuição durante a graduação.

A todos meus amigos da graduação que me apoiaram e estiveram ao meu lado nesta caminhada.

Ao André Pichaid Solareviski, Alexandre Gonçalves Ochonski e Guilherme Taborda dos Santos por toda amizade e ajuda na condução dos trabalhos desenvolvidos.

A toda equipe do Laboratório de Entomologia Aplicada.

A toda equipe da Fazenda Escola Capão da Onça pelo apoio e ensinamentos durante minha jornada no curso.

RESUMO

GRANDE, M. **USO DE NANOTECNOLOGIA OCC® PARA AUMENTO DO RESIDUAL DE INSETICIDA NO CONTROLE DE *Dalbulus maidis* NA CULTURA DO MILHO**. Orientador: Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto. Ponta Grossa, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

O cultivo do milho (*Zea mays* L.) se estende por todo o território nacional e em algumas regiões ocorre a produção de duas safras, sendo essas o milho de primeira safra e o milho de segunda safra (safrinha). Uma cultura de extrema importância para o agronegócio como milho pode sofrer ataques de diversas pragas, dentre elas, a que vem causando muitas perdas na cultura devido à dificuldade de seu controle, é a cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*). Esta praga causa o complexo de enfezamentos no milho e do Maize Rayado Fino Virus, o vírus da risca. Para um controle efetivo desta praga é necessário aplicar os princípios do manejo integrado de pragas, otimizando as aplicações de inseticidas com técnicas mais modernas que surgem para melhorar a eficiência de produtos no campo, como é o caso da nanotecnologia OCC® (Organic Colloidal Concentrate), que promete aumentar o residual de agroquímicos a campo permitindo redução de dose do inseticida. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência e residual da associação de inseticidas com a nanotecnologia OCC® no controle de *D. maidis* na cultura do milho. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça, em Ponta Grossa, no Paraná, com híbrido de milho de importância para região. Os tratamentos foram: T1 – testemunha (sem aplicação de inseticida), T2 – Acefato 1 kg ha⁻¹, T3 – Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC® e T4 – Acefato 0,25 kg ha⁻¹ + OCC®. Dentre os tratamentos, o Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC® apresentou a melhor performance inseticida quando comparado com os outros tratamentos e consequentemente, melhores resultados de controle de cigarrinha-do-milho, diminuição das doenças transmitidas pelo inseto e maior produtividade.

Palavras-chave: *Zea mays*, fitossanidade, enfezamentos, tecnologia.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Precipitação e temperatura média nos meses de cultivo	20
FIGURA 2 – Estádio fenológico do milho onde iniciou-se as aplicações	21
FIGURA 3 – Croqui da área experimental	22
FIGURA 4 – Presença de vírus da risca em folhas de milho	23
FIGURA 5 – Paquímetro digital utilizado para avaliação de diâmetro de colmo	23
FIGURA 6 – Aferição de peso de espigas com balança digital de precisão	24
FIGURA 7 – Porcentagem de plantas infectadas com vírus da risca entre os tratamentos	25
FIGURA 8 – Severidade de enfezamento (%) entre os tratamentos	26
FIGURA 9 – Médias de diâmetro de colmo (cm) entre os tratamentos	27
FIGURA 10 – Médias de altura de planta (m) entre os tratamentos	28
FIGURA 11 – Médias de diâmetro de espiga (cm) para todos os tratamentos	30
FIGURA 12 – Médias de peso de espiga (g) entre os tratamentos	30
FIGURA 13 – Médias de comprimento de espiga (cm) entre os tratamentos	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tratamentos e doses dos produtos aplicados no experimento	21
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO	12
3.2 CIGARRINHA DO MILHO	13
3.3 ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA CIGARRINHA.....	15
3.4 CONTROLE QUÍMICO	15
3.5 USO DE NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA	16
4 HIPÓTESE.....	19
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	20
5.2 CONDUÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	20
5.2 APLICAÇÕES E TRATAMENTOS	21
5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICA	22
5.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	22
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
7 CONCLUSÃO.....	34
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho é produzida do Norte ao Sul do país, ganhando destaque pelo tamanho de área cultivada para produção, estando atrás apenas da cultura da soja. O milho é uma excelente opção para rotação de cultura na safra de verão ou ainda para safrinha em algumas regiões do Brasil como o Norte do Paraná, região Centro- Oeste, Minas Gerais e São Paulo, estando presente em grandes propriedades, com alto nível tecnológico, mas também em pequenas propriedades, na agricultura de subsistência, demonstrando ainda mais sua importância no cenário nacional como um todo (Pereira Filho; Cruz; Garcia, 2021).

Segundo estimativa de safra de milho verão 2024/25 feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), estima-se uma produção de 322,47 milhões de toneladas, volume cerca de 8,3% maior em relação à safra passada, ou seja, 24,62 milhões de toneladas a serem colhidas a mais que no ciclo anterior (Safra 2023/24) (Conab, 2025).

Entretanto, para se alcançar altas produtividades, é necessário se atentar as pragas e doenças que podem ocorrer na cultura do milho. Dentre os insetos-praga, destaca-se a cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), que ocasiona a transmissão de mollicutes, que por sua vez causam o complexo de enfezamento nas plantas de milho e de viroses como por exemplo o vírus da risca. Estas doenças são vasculares, afetando o floema do milho e consequentemente toda a absorção de nutrientes da cultura ao longo de seu desenvolvimento, podendo causar perdas de até 70% na produção de grãos (Oliveira; Frizzas, 2021).

Por se tratar de uma cultura de alta importância em termos globais, é sempre necessário ressaltar sobre o fator essencial para prevenção de insetos-praga e doenças que acometem as lavouras, o manejo. O manejo integrado de pragas em específico, como um conjunto de técnicas de amostragem, monitoramento e controles, genético, cultural, comportamental, varietal, biológico e o químico, o qual é mais utilizado com o uso de inseticidas (Ribeiro *et al.*, 2023).

O controle químico é conduzido de forma equivocada por muitos agricultores, ao não rotacionarem da devida maneira os mecanismos de ação dos inseticidas, causando seleção de resistência nos insetos. A cigarrinha-do-milho se adequa a este exemplo, em que a pressão de seleção gerou populações resistentes a diversos inseticidas, fazendo com que o controle químico não fosse tão eficiente isoladamente, algo que vai contra o conceito do manejo integrado, onde o intuito é juntar os tipos diferentes de controle (Waquil; Viana; Cruz, 2021).

A partir deste paradigma, nos últimos anos vem-se adaptando junto ao manejo de culturas técnicas mais modernas que aprimoram o desempenho dos produtos químicos já utilizados, como é o caso da nanotecnologia ou agroquímicos nanoencapsulados. Esta tecnologia surge como aliada, pois oferece uma entrega controlada do ingrediente ativo no alvo

em questão, uma vez que protege as moléculas do produto e diminui sua volatilização, degradação e lixiviação, sendo, portanto, uma estratégia de manejo junto ao controle químico (Sarkar *et al.*, 2022).

Um exemplo recente dentre as nanotecnologias utilizadas é o OCC® (Organic Colloidal Concentrate), tecnologia de micela lipídica que tem finalidade de otimização de princípios ativos, aumentando seu residual a campo (Nutrित्रahl, 2024). No entanto, são necessárias mais informações a respeito do desempenho deste produto em associação a inseticidas a campo, mais especificamente no manejo da cigarrinha-do-milho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a performance residual e eficiência de inseticida isolado e em associação com a nanotecnologia OCC®, em função da diminuição de dose do inseticida, no controle da cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) na cultura do milho (*Zea mays* L.).

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar o efeito do uso de inseticida isolado e em associação com a nanotecnologia OCC® sobre os parâmetros biométricos de diâmetro de colmo e altura de planta;

Avaliar o efeito do uso de inseticida isolado e em associação com a nanotecnologia OCC® sobre os componentes de produção: diâmetro de espiga, comprimento de espiga e peso de espiga;

Quantificar por meio da presença ou ausência, a incidência de enfezamento e do vírus da risca, em decorrência do uso de inseticida isolado e em associação com a nanotecnologia OCC®.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é originário da América, sendo uma das culturas mais antigas do mundo e de maior importância no cenário agrícola, onde a sua grande adaptabilidade é devido a ampla variabilidade genética (Barros; Calado, 2014), faz com que seja possível cultivá-lo nos mais diferentes ambientes. Sua produção possui uma grande relevância no mundo inteiro, devido a importância estratégica do cereal, o qual é utilizado para a alimentação humana através da industrialização, originando subprodutos como farinha de milho, fubá, óleo, quirera, entre outros.

Sua principal utilização é na cadeia produtiva de bovinos, suínos e aves, na qual é consumida aproximadamente 70% do milho produzido no mundo, e entre 70 e 80% do milho produzido no Brasil (Garcia *et al.*, 2006). Seus grãos são ricos em energia, carboidratos, proteínas, vitaminas do complexo B, sais minerais e fibras, os quais desempenham papéis essenciais no funcionamento do organismo humano (Sobrinho *et al.*, 2020).

Este cereal pertence à família Poaceae, se caracterizando como uma gramínea, monocotiledônea, com raízes fasciculadas e podendo atingir até 4 metros de altura (Magalhães *et al.* 2002). Além disso se trata de uma planta herbácea, anual com seu ciclo variando de 4 a 5 meses, se caracterizando também por ser alógama e monóica, espécies que se reproduzem por polinização cruzada e que possuem as flores femininas (espigas) e masculinas (panículas) separadas no mesmo indivíduo (Silva *et al.*, 2021).

O milho é cultivado em regiões com precipitação que varia de 300 a 5000 mm anuais e durante seu ciclo a cultura consome em torno de 600 mm, sendo, portanto, muito exigente em água. Se trata de uma planta C4, altamente eficiente no uso da luz solar, onde as temperaturas ideais para seu desenvolvimento estão na faixa dos 24°C até os 30°C. Temperaturas abaixo de 24°C e acima de 30°C em diferentes etapas do ciclo do milho podem afetar negativamente sua produção e produtividade, acelerando ou retardando fases cruciais para um excelente resultado em sua colheita (Landau; Magalhães; Guimarães, 2021).

No Brasil, o estado do Mato Grosso tem a maior produção, com 47,2 milhões de toneladas na safra 2023/24, em segundo lugar vem o estado do Paraná com 15,7 milhões de toneladas nesta última safra e em terceiro lugar, o estado de Goiás com 10,7 milhões de toneladas, considerando tanto o milho de primeira safra quanto o milho de segunda safra ou safrinha.

Se tratando de produtividade, na safra 2023/24 o Brasil teve em média 5,5 toneladas/hectare, enquanto os três estados mais produtivos foram Santa Catarina com 7,9

toneladas/hectare, Distrito Federal com 6,9 toneladas/hectare e Mato Grosso com 6,6 toneladas/hectare. O estado do Paraná teve uma produtividade de 5,7 toneladas/hectare (Conab, 2024). Para a safra de milho verão 2024/25, a estimativa de produção feita pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), estima-se uma produção de 322,47 milhões de toneladas, volume cerca de 8,3% maior em relação à safra passada, ou seja, 24,62 milhões de toneladas a serem colhidas a mais que no ciclo anterior (Safra 2023/24) (Conab, 2025).

3.2 CIGARRINHA DO MILHO

Como qualquer outra cultura agrícola, durante o ciclo de desenvolvimento do milho, pode ter ocorrência de diversas doenças e insetos-praga que causam perdas significativas na produção e na qualidade final do produto. Isto gera um impacto negativo para o produtor rural que, nesta situação, deve entender e conviver com o desafio de manejar o patógeno ou a praga de forma com que não gere mais perdas e ainda tentar manter o lucro para sua propriedade dentro do possível a ser feito, uma vez que o dano já foi causado na lavoura (Abdulsalami; Akinsanya, 2018). Dentre as principais pragas que ocorrem no milho, o destaque vai para a Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), Percevejo barriga verde (*Diceraeus* spp.) e, mais recentemente e ocasionando danos severos, a cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*).

A cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) pertence a ordem *Hemiptera* e a família *Cicadellidae*. Possui aparelho bucal do tipo sugador labial com três seguimentos e possui desenvolvimento incompleto, ou seja, é hemimetábolo, apresentando as fases de ovo, ninfa e adulto. Os adultos possuem em torno de 3,7 a 4,3 mm de comprimento e coloração amarelo-palha, dois pares de asas transparentes com nervuras, olhos compostos e entre eles, duas manchas negras circulares (Sabato; Landau; Oliveira, 2014).

A *Dalbulus maidis* se tornou uma das principais pragas da cultura do milho devido sua capacidade de transmitir os mollicutes, que por sua vez causam o complexo de enfezamento nas plantas. São dois tipos de enfezamento que podem ocorrer, o enfezamento vermelho, causado pelo Fitoplasma (Maize Bushy Stunt Phytoplasma) e o enfezamento pálido, causado por *Spiroplasma kunkelii* (Corn Stunt Spiroplasma). O período considerado normal de transmissão de enfezamentos é de 21 a 28 dias e os sintomas geralmente aparecem após a emissão do pendão ou inflorescência masculina, em vista que os sintomas de vírus da risca aparecem antes, cerca de 8 a 14 após a infecção (ainda no período vegetativo) (Oliveira; Sabato, 2018). Além disso, este inseto pode transmitir o vírus da risca do milho (Maize Rayado Fino Virus) e tanto os enfezamentos como este vírus, podem causar perdas severas de produção, chegando a mais de 70% (Oliveira; Frizzas, 2021).

Afetando o floema, os enfezamentos são doenças vasculares que por consequência terão dificuldades na translocação de nutrientes. Os sintomas causados são listras descoloridas ou amareladas nas folhas no caso do enfezamento pálido. Já o enfezamento vermelho as folhas apresentam um avermelhamento, além disso outros sintomas para ambos os casos são o encurtamento dos entrenós, deformação no pendão e nas espigas, perfilhamento gerando plantas anãs, não produtivas e ainda uma formação de várias espigas na planta, não produtivas da mesma forma. O vírus da risca causa pequenos pontos cloróticos de maneira alinhada ao longo das folhas, que em estágios mais avançados, os pontos acabam se fundindo formando as “riscas” (Waquil, 2004).

Os efeitos dos enfezamentos estão relacionados também à sensibilidade do milho e às condições ambientais, como a temperatura do ar. Borges (2020) mostrou em seu estudo que temperaturas noturnas acima de 17°C e diurnas em torno de 30°C favorecem a proliferação da cigarrinha e a disseminação dos mollicutes. Temperaturas elevadas reduzem o período de incubação dos mollicutes na cigarrinha, correspondendo ao intervalo de tempo entre a aquisição do patógeno e seu início de multiplicação nos tecidos, com a cigarrinha sendo o principal vetor das doenças. Já o período latente dos mollicutes na cigarrinha é de cerca de três a quatro semanas, e essa capacidade de transmitir persiste durante a vida do inseto, sendo esse tipo de transmissão denominada persistente-propagativa. A transmissão dos mollicutes ocorre em período de uma hora de acesso da cigarrinha à plântula de milho para alimentação.

O ciclo de ovo, ninfa e adulto da cigarrinha varia de 8 a 11 dias, 15 dias e 45 a 70 dias, respectivamente, atingindo a fase adulta em cerca de 24 dias (a depender das condições ambientais). Apesar deste inseto estar presente em outras gramíneas, ele só consegue se reproduzir e completar seu ciclo na cultura do milho. Os danos diretos causados pela *Dalbulus maidis* se trata da alimentação da seiva e pela oviposição das fêmeas, que ocorre de forma endofítica, no tecido foliar do milho, podendo ovipositar 400 a 600 ovos durante seu ciclo de vida. Quando se alimenta, a cigarrinha insere seus estiletes na planta, destruindo o mesófilo e células parenquimáticas. Além disso, este inseto secreta o chamado “honeydew”, substância açucarada que favorece o desenvolvimento de fungos oportunistas do gênero *Capnodium*, causando a fumagina na superfície foliar, diminuindo a taxa fotossintética da planta (Virla; Araoz; Albarracin, 2021; Ávila *et al.*, 2021).

O inseto vetor tem preferência pela alimentação e colonização em plantas de milho durante seus estádios iniciais, até no máximo V8 (oito folhas totalmente expandidas), porém pode se reproduzir durante todo o estágio vegetativo da planta (Araujo, 2020). Além disso, para

Waquil (2004), geralmente quanto mais novo é o estágio da planta no momento da infecção, maior será a severidade da doença e maiores serão as perdas de produtividade.

3.3 ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA CIGARRINHA

Para conseguir enfrentar as pragas que ocorrem na cultura do milho, é necessário realizar algumas ações que compõem o manejo integrado de pragas (MIP), que por sua vez se caracteriza por ser o uso de um conjunto de ferramentas de forma inteligente e sustentável para o controle de pragas agrícolas, que irão assegurar consequências econômica, ecológica e socialmente aceitas (Valicente, 2015).

Sua importância dentro da agricultura se destaca pelos resultados que a adoção de tais técnicas de manejo irá trazer para o sistema agrícola, dentre elas estão a minimização dos danos causados por pragas nos cultivos, preservação da biodiversidade e sustentabilidade (Tinoco; Silva; Rocha, 2023). As estratégias de controle correspondem ao controle cultural, varietal, genético, comportamental, biológico e químico.

Entretanto, a utilização do controle químico para diminuição da população do inseto vetor tem igual ou maior utilização e importância do que os demais controles citados acima. De acordo com o Agrofitec (2025), atualmente existem cerca de 72 produtos comerciais, da classe de inseticidas químicos, registrados para controle da cigarrinha-do-milho. Parte desses produtos são registrados para tratamento de sementes e outra parte para aplicação em pós-emergência da cultura.

Segundo Silveira (2019), o momento ideal para controle da cigarrinha do milho é quando os insetos estão na fase de ninfa durante seu ciclo de vida. Nessa fase, o inseto permanece imóvel na folha de milho, garantindo então uma maior alimentação da seiva da planta de milho e adquirindo mais facilmente os patógenos causadores do enfezamento e vírus da risca. Desse modo, o controle eficaz do inseto deve ser realizado nessa fase de desenvolvimento (fase de ninfa), utilizando principalmente inseticidas de ação sistêmica na planta, como neonicotinóides. Depois que o inseto chega a fase de adulto, recomenda-se a utilização de inseticidas com ação de contato (organofosforados e carbamatos), pois a eficiência de controle é maior visto que a cigarrinha, após a fase de ninfa, se move muito entre as plantas.

3.4 CONTROLE QUÍMICO

Se tratando do controle químico, sua descoberta revolucionou a agricultura no cenário mundial uma vez que tornou possível maiores quantidades de alimentos serem produzidas na

mesma área, além de atender a demanda da população por alimento, sendo num primeiro momento muito eficiente no controle de pragas, doenças e ervas daninhas. Os inseticidas são produtos químicos que tem como finalidade causar a morte de insetos-praga, contribuindo para os processos agrícolas (Shimada *et al.*, 2021). Estes produtos compreendem cinco grandes grupos que se referem o sítio onde agem no inseto, são eles: sistema nervoso e muscular, sistema digestivo, crescimento e desenvolvimento, respiração celular, composto de modo de ação desconhecido ou incerto (Irac, 2025).

Os agroquímicos no geral possuem benefícios como por exemplo a diminuição de mão-de-obra, possibilidade de uso em plantio direto ou convencional, resultados mais rápidos do que outros métodos de controle e ainda a capacidade de atingir alta porcentagem de controle em diversos estágios das pragas. Para a cigarrinha-do-milho em específico, as aplicações muitas vezes ultrapassam o número de quinze por safra, como consequência deste manejo não adequado (Shimada *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2023).

Apesar do grande número de inseticidas registrados para controle da praga, são poucos grupos químicos nos quais esses ingredientes ativos fazem parte, sendo os principais deles os neonicotinóides, piretróides, organofosforados e carbamatos. Recomendando-se sempre que possível a utilização de ingredientes ativos sistêmicos, característica que permite a ingestão do químico pelo inseto no momento da alimentação; em vista que a cigarrinha-do-milho possui alta capacidade de dispersão e acaba dificultando o seu controle por meio de inseticidas de contato (Silveira, 2019).

Os inseticidas químicos utilizados em TS (tratamento de sementes) são mais eficientes no controle do vetor até 25 dias após semeadura da cultura, possuindo decréscimo de controle com o passar dos estádios vegetativos. Os inseticidas químicos isoladamente utilizados em pós emergência podem reduzir a taxa de alimentação do inseto e consequente menor transmissão dos Enfezamentos, porém não possuem uma boa eficiência no controle do inseto diretamente (Silveira, 2019). A utilização de inseticidas em TS, seguida de aplicações em pós emergência (se colocados de maneira correta) proporcionam um melhor controle da praga e consequente menor disseminação dos patógenos até no máximo 40 dias após a semeadura ou até o estágio V8 (Silveira, 2019; Martins, 2008).

3.5 USO DE NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA

Para conseguir atingir a produção de alimentos, diversas estratégias e tecnologia estão surgindo para conseguir produzir alimento de forma segura e sustentável. Então, para atender essa demanda deve-se aprimorar o manejo das culturas agrícolas com ferramentas modernas

que surgem para tal dentro da agricultura de precisão, como é o caso da nanotecnologia (Sarkar *et al.*, 2022).

As nanopartículas podem ser definidas como materiais naturais ou artificiais, tendo entre 1 a 1000 nanômetros de tamanho, de origem orgânica, inorgânica e a partir de polímeros. Dentre as vantagens do uso da nanotecnologia na agricultura estão o potencial para aumentar o crescimento de plantas, ajudar no combate a doenças e patógenos, minimizar os efeitos de contaminação ambiental pelo uso de agroquímicos, aumentar a produtividade das culturas e diminuir doses de produtos com o aumento de seu residual (Lang *et al.*, 2021).

As nanopartículas que atuam como nano-encapsuladoras de pesticidas funcionam da seguinte forma: os nanocarreadores são formados por nanopartículas poliméricas, inorgânicas não-metálicas e metálicas, assim uma vez que encapsulam as partículas de um pesticida, estas se tornam menores e mais centralizadas causando uma estabilidade maior e uma liberação mais lenta, aumentando o residual do produto e diminuindo a toxicidade para os humanos (Liu; Zhou; Zhou, 2021).

A liberação controlada da molécula do inseticida é um dos maiores benefícios da utilização da nanopartícula. A partir da associação desses produtos, ocorre uma entrega controlada do ingrediente ativo do inseticida ao meio, resultando em maior sustentabilidade, elevando a eficiência de controle e possibilitando entrega direcionada ao alvo (Hayles *et al.* 2017). Segundo Ocho *et al.* (2016), as nanopartículas associadas a pesticidas, não só aumentam a estabilidade e a dispersão dos pesticidas, mas também facilitam os ingredientes ativos dos pesticidas para os organismos visados, a fim de aumentar a sua biodisponibilidade.

Estudo recente (Adisa *et al.* 2019) indicam que a utilização de químicos associados a nanopartículas pode fornecer estratégias bem-sucedidas para controlar e gerenciar insetos-pragas e espécies de ervas daninhas. Formulações de inseticidas/herbicidas tradicionais, associados com nanotecnologia podem melhorar a penetrabilidade, solubilidade, estabilidade e propriedades de liberação controlada do ingrediente ativo da espécie-alvo por nano-emulsificação e nano-encapsulamento

Yin *et al.* (2018) demonstrou em seu estudo que fertilizantes, defensivos agrícolas químicos e biológicos quando nano-encapsulados, resulta em maior precisão e a exatidão da distribuição de componentes ativos, podendo minimizar a carga de material liberado no sistema, reduzindo os efeitos indesejáveis em organismos não-alvo e no meio ambiente.

Das nanopartículas presentes no mercado, existe a nanotecnologia OCC®, um produto feito de micela lipídica, ou seja, a partir de ingredientes de origem vegetal, se classificando como uma nanotecnologia orgânica, sendo solúvel e biodegradável. Além disso é um material

não-tóxico, seguro para saúde humana e animal, podendo ser utilizado inclusive na agricultura orgânica. Um exemplo de como os lipídios do OCC® funcionam é que estes se espalham em meio aquoso e encapsulam os compostos presentes na solução e formam micelas que por sua vez ativam os receptores nas paredes celulares da planta e por fim as células vegetais absorvem as micelas de OCC® com a substância encapsulada. Ao utilizar juntamente com agroquímicos, este produto pode reduzir os custos em até 50% por aumentar o residual de cada aplicação, aumentando os rendimentos de produção dos cultivos em mais de 20% (Nutrित्रahl, 2024).

4 HIPÓTESE

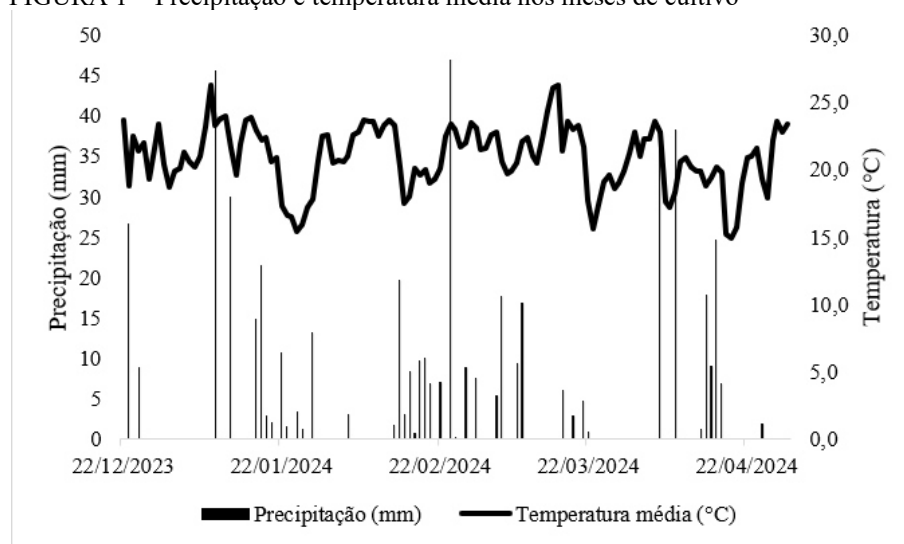
A nano-encapsulação do inseticida aumenta o período residual do ingrediente ativo, permitindo redução de dose do inseticida, controlando a taxa de crescimento da cigarrinha, diminuindo a incidência de enfezamento e vírus da risca, além de melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi implantado e conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça, na safra 2023/24, situada no município de Ponta Grossa – PR, com coordenadas 25°05'26,2" S e 50°03'25,8" W, altitude aproximada de 940 m. De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima Cfb, sendo qualificado como clima temperado, contendo verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, não possui estação seca definida e a temperatura média do mês mais quente é inferior à 22°C (Nitsche *et al.*, 2019). O solo da área é classificado como Latossolo vermelho distrófico típico.

FIGURA 1 – Precipitação e temperatura média nos meses de cultivo



Fonte: O autor

5.2 CONDUÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A semeadura ocorreu no dia 22/12/2023, em sistema de plantio direto, em espaçamento de 0,45 metros com híbrido de milho Forseed® 521, recomendado para a região. Foram semeadas 3,2 sementes por metro, totalizando população de 71.111,111 plantas por hectare. As parcelas foram adubadas com fertilizante N-P-K na proporção 10-20-20, na dose de 340 kg ha⁻¹, para suprir a demanda nutricional das plantas. Foram realizadas duas aplicações de uréia protegida para suprir a demanda de nitrogênio das plantas. A primeira aplicação ocorreu quando o milho estava em V4 (29/01/2024), com dose de 220 kg ha⁻¹, e a segunda aplicação ocorreu quando o milho estava em V6 (05/02/2024), com dose de 120 kg ha⁻¹.

Foi realizado dessecação pré-plantio com herbicida glufosinato de amônio na dose de 2 L ha⁻¹. Foram realizadas 2 pulverizações, de forma preventiva, de fungicidas recomendados

para a cultura, em V4 (Tebuconazol + Trifloxistrobina + Oxicloreto de Cobre) no dia 02/02/2024 e V8 (Protioconazol + Trifloxistrobina + Bixafem + Oxicloreto de Cobre) no dia 16/02/2024. Além disso, foi realizada aplicação de herbicida na pós emergência da cultura, com Atrazina à 4 L ha⁻¹ + Glifosato à 1 kg ha⁻¹ no dia 24/01/2024.

5.2 APLICAÇÕES E TRATAMENTOS

As aplicações dos tratamentos (Figura 2) ocorreram após a emissão completa da segunda folha do milho, no dia 19/01/2024 (Fotografia 1), com utilização de pulverizador costal pressurizado por CO₂, vazão de 120 L ha⁻¹ com barra composta por 6 bicos espaçados a 0,5 metro e bicos de pulverização modelo Teejet® 110-02.

FIGURA 2 - Estádio fenológico do milho onde iniciou-se as aplicações



Fonte: O autor

Foram realizadas ao todo, cinco aplicações dos tratamentos, em intervalos de aplicação de 7 dias, nos seguintes estádios fenológicos: V2 (19/01/2024), V4/5 (26/01/2024), V6 (02/02/2024), V7/8 (09/02/2024) e V8/9 (16/02/2024).

TABELA 1 – Tratamentos e doses dos produtos aplicados no experimento.

Tratamento	Dose (g kg ⁻¹ i.a ha ⁻¹) (%V/V)	Dose (P.C ha ⁻¹) (kg) (L)
Testemunha	-	-
Acefato (1 kg ha ⁻¹)	970	1
Acefato (0,5 kg ha ⁻¹) + OCC®	485 + 0,01% v/v	0,5 + 0,012
Acefato (0,25 kg ha ⁻¹) + OCC®	242,5 + 0,01% v/v	0,25 + 0,012

p.c.= Produto comercial; i.a.= Ingrediente ativo.

O acefato (Magnum®) cujo grupo químico é classificado como Organofosforado, de mecanismo de ação do grupo 1B (IRAC) - Inibidores da acetilcolinesterase é um inseticida que atua inibindo a degradação da acetilcolina, a qual quando não degradada, deixa os impulsos nervosos do inseto contínuos e descontrolados, ocorrendo estado de hiperexcitação com consequente convulsão, paralisia e morte do inseto. A hidrólise da molécula da acetilcolina no corpo do inseto acontece de forma lenta. Em consequência a aplicação de organofosforados, há acúmulo de moléculas de acetilcolina na sinapse, que também leva o inseto a uma hiperexcitação, como consequência ocorre a morte do inseto de maneira rápida.

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 5 blocos e 4 tratamentos, totalizando 20 parcelas experimentais de 68,25 metros quadrados cada (Figura 3). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e a diferença entre as médias serão comparadas pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade, através do software estatístico SISVAR®.

FIGURA 3 - Croqui da área experimental

4	2	3	1	4
3	1	1	2	1
2	4	2	3	2
1	3	4	4	3
BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4	BLOCO 5

Fonte: O autor

5.4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para o parâmetro vírus da risca, foram avaliadas 20 plantas aleatórias por parcela no dia 04/03/2024, quando o milho estava no estágio fenológico VT (Figura 4). Essa avaliação constitui-se em aferir a presença ou não de vírus da risca nas plantas de milho de cada parcela. Quando o milho estava no estágio de R2, avaliou-se a severidade do complexo de enfezamentos no dia 21/03/2024. Para essa avaliação, 15 plantas aleatórias por parcela foram selecionadas e a partir delas, contabilizadas quantas apresentavam ou não sintomas da doença (incidência).

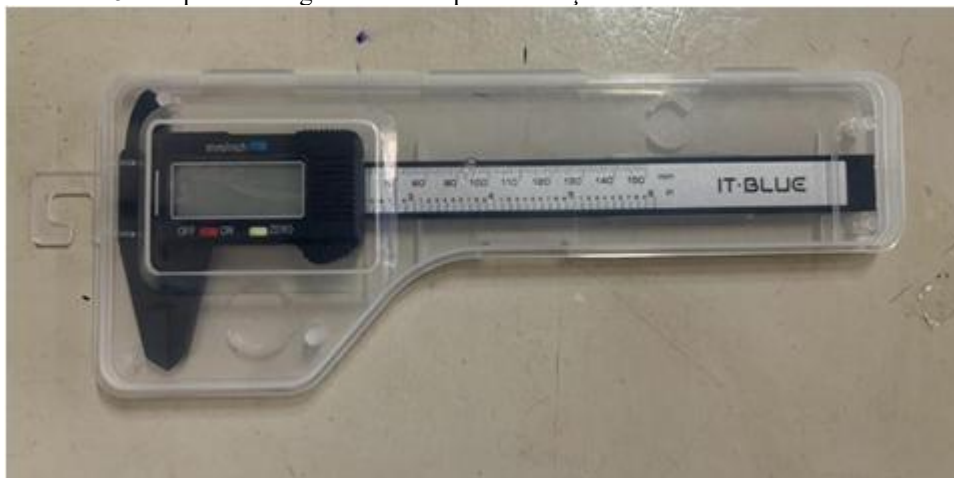
FIGURA 4 – Presença de vírus da risca em folhas de milho



Fonte: O autor.

No dia 28/03/2024, quando o milho estava em R3, avaliou-se a espessura do diâmetro de colmo de 15 plantas aleatórias por parcela experimental. Levando em consideração que o formato do colmo do milho é levemente elíptico aferiu-se através de um paquímetro digital (Figura 5) (da marca comercial It. Blue) o diâmetro maior e o diâmetro menor presentes no nó que se localizava a 10 centímetros do solo.

FIGURA 5 - Paquímetro digital utilizado para avaliação de diâmetro de colmo



Fonte: O autor

Para avaliação de altura de planta, utilizou-se uma régua topográfica aferindo desde a superfície do solo até a extremidade do pendão (inflorescência masculina). Assim como para diâmetro de colmo, avaliou-se para essa característica morfológica 15 plantas por parcela experimental no dia 28/03/2024.

Quando as plantas de milho estavam no estágio fenológico R6 (grão cheio, entrando em maturidade fisiológica), foi realizada avaliação de parâmetros de produtividade. Para essa variável analisada, no dia 19/04/2024, 15 plantas aleatórias foram selecionadas e mensurado

diâmetro de espiga com utilização de paquímetro digital, peso de espiga, utilizando balança de precisão digital, e comprimento de espiga (Figura 6).

FIGURA 6 – Aferição de peso de espigas com balança digital de precisão

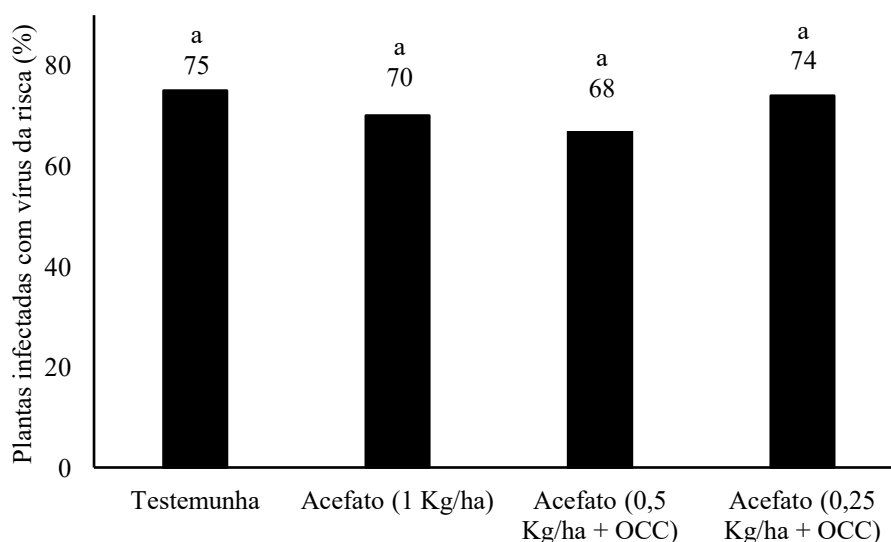


Fonte: O autor

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as avaliações de severidade de vírus da risca, não houve diferenciação no teste de média aplicado apesar da diferença entre os valores dos tratamentos (Figura 7). O tratamento Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC® apresentou o menor valor de severidade de vírus da risca, com 68% das plantas infectadas com a virose, valor 7% menor em relação à testemunha.

FIGURA 7 – Porcentagem de plantas infectadas com vírus da risca entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



Fonte: O autor

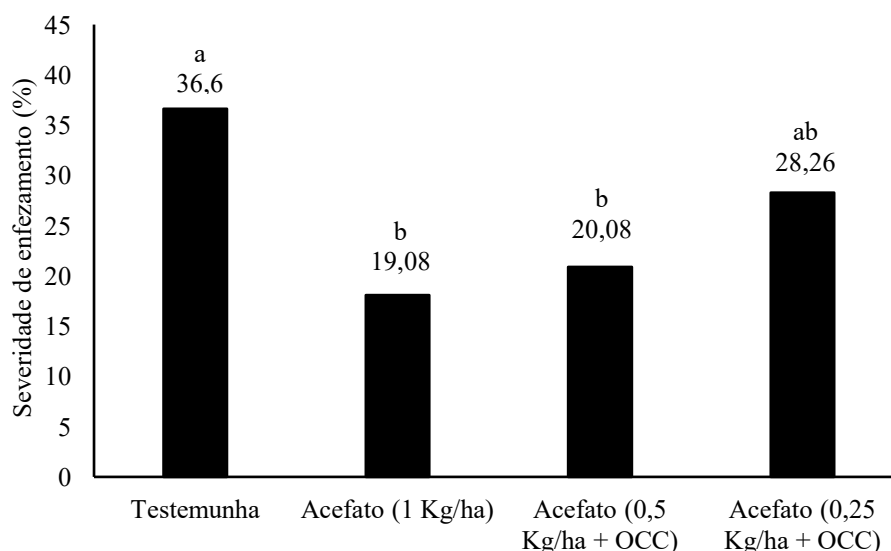
Segundo Ávila (2021) a ocorrência de vírus da risca pode causar na cultura do milho redução de crescimento, má formação da planta, abortamento de gemas e má formação dos grãos da espiga. Isso se deve ao dano direto que o vírus da risca causa na planta a partir da diminuição da área fotossintética ativa da planta.

Para a variável severidade de enfezamento, foi observada diferença estatística pelo teste de média entre os tratamentos (Figura 8). Ambos os tratamentos (Acefato 1 kg ha⁻¹ e Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC®) diferiram estatisticamente em relação à testemunha, com valores menores de severidade de enfezamento. O tratamento com dose de Acefato de 1 kg ha⁻¹ teve a menor porcentagem de área foliar infectada com enfezamento.

Não diferindo no teste de média com o tratamento Acefato 1 kg ha⁻¹, o tratamento com redução de dose pela metade associado ao OCC® (Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC®) diferenciou em apenas 1% em relação a severidade de enfezamento, ou seja, mesmo com a redução da dose, a performance residual e controle inseticida se manteve em relação a dose de bula do Acefato, segundo o teste de média realizado.

Queiroz & Cury (2020) em seu estudo que analisou 8 inseticidas diferentes, concluiu que o inseticida Acefato (1 kg ha^{-1} p.c) obteve eficiência de controle de população de cigarrinha de 81%, contribuindo para a redução da severidade de enfezamento. Portanto, a meia dose de acefato associada ao OCC® (tratamento Acefato $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ + OCC®) possui mesma eficiência de controle de cigarrinha-do-milho e contribui para a diminuição de enfezamento, além disso, menores doses de inseticida reduz o impacto ambiental.

FIGURA 8 – Severidade de enfezamento (%) entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



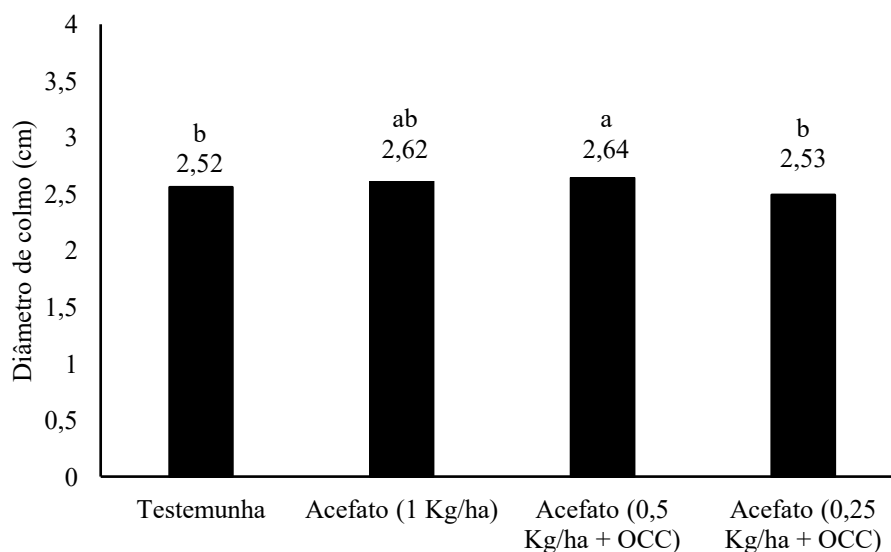
Fonte: O autor

Menores valores de severidade de enfezamento indicam controle mais efetivo de cigarrinha-do-milho. Isso se deve ao fato de que esse inseto é o principal e único transmissor de enfezamento à cultura do milho (Oliveira; Frizzas, 2021), portanto, quanto menor for a taxa de enfezamento nas plantas, melhor foi o controle da cigarrinha.

Além disso, sabe-se que o complexo de doenças que causam enfezamento são doenças vasculares, ou seja, o transporte e translocação de fotoassimilados e nutrientes será comprometida, ocorrendo menor formação de espigas e grãos, e menor enchimento de grãos, causando diminuição de produtividade (Oliveira; Sabato, 2018)

De um modo geral os enfezamentos podem reduzir em mais de 70% a produção de grãos na planta doente de uma cultivar de milho susceptível, em relação à uma planta sadia. A redução da produtividade é sempre diretamente proporcional à severidade de plantas com enfezamento (Ávila *et al.* 2021).

FIGURA 9 – Médias de diâmetro de colmo (cm) entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



Fonte: O autor

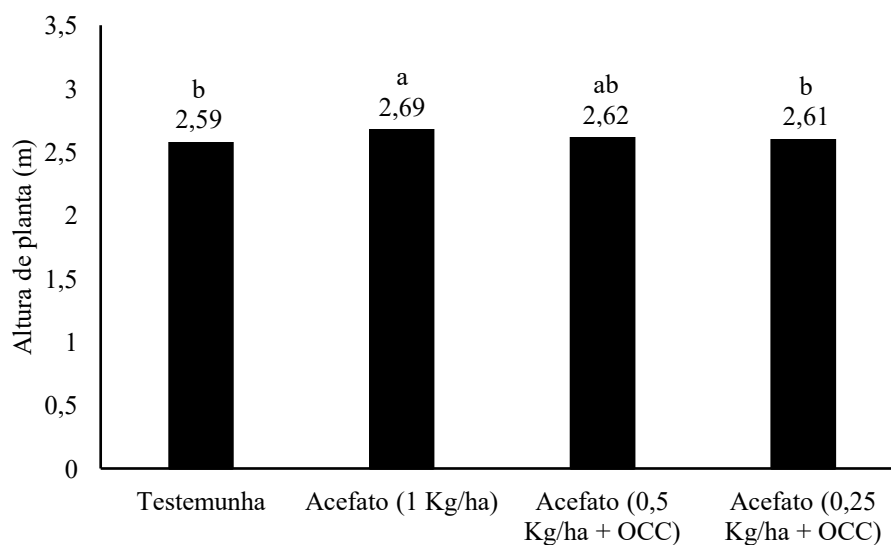
Para a característica diâmetro de colmo, observou-se que o tratamento Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC® diferiu no teste de médias em relação à testemunha e ao tratamento Acefato 0,25 kg ha⁻¹ + OCC®, porém, não houve diferença significativa em relação ao tratamento Acefato 1 kg ha⁻¹ (Figura 9). Dessa forma, é possível concluir que o tratamento Acefato 0,5 kg ha⁻¹ + OCC®, possui mesma eficiência de controle de *Dalbulus maidis* em relação ao tratamento com maior dose (Acefato 1 kg ha⁻¹), resultando em colmos mais bem desenvolvidos devido à baixa severidade de doenças vasculares transmitidas pelo inseto.

O colmo do milho, além de suportar as folhas e partes florais, serve também como órgão de reserva de fotoassimilados. Após a floração, o fluxo de fotoassimilados é direcionado prioritariamente ao enchimento de grãos. Quando a planta não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (Sangoi *et al.*, 2001; Fontoura *et al.*, 2006).

Após a infecção e desenvolvimento dos patógenos que causam enfezamento na planta, os colmos se tornam isoporizados e enfraquecidos, favorecendo infecções fúngicas e tombamento (Shurtleff, 1986). Colmos melhores desenvolvidos resultam em plantas mais fortes e resistentes, podendo tolerar tempestades com ventos fortes e chuva, quebra e podridões. O complexo de enfezamentos que ocorrem em plantas de milho ocasiona plantas raquíticas e diminuição da translocação de fotoassimilados e nutrientes, resultando em diminuição no desenvolvimento da planta (Coelho *et al.*, 2019).

A avaliação de altura de planta (Figura 10) mostrou, a partir do teste de médias, que o tratamento Acefato 1 kg ha⁻¹ obteve valores superiores em relação à testemunha e ao tratamento Acefato 0,25 kg ha⁻¹ + OCC®. Quando comparado com o tratamento com redução de dose em 50%, o tratamento Acefato 1 kg ha⁻¹ não diferiu no teste de médias aplicado. O menor valor de altura de planta ocorreu no tratamento sem aplicações de inseticida, ou seja, a ocorrência de cigarrinha-do-milho nas parcelas testemunhas resultou em menor desenvolvimento da planta.

FIGURA 10 – Médias de altura de planta (m) entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



Fonte: O autor

Essa diminuição no desenvolvimento das plantas da testemunha pode ser explicada pela ocorrência de populações de *Dalbulus maidis* infectadas com vírus da risca e doenças do complexo de enfezamento. Tanto o enfezamento vermelho, causado pelo Fitoplasma (Maize Bushy Stunt Phytoplasma), quanto o enfezamento pálido, causado por Spiroplasma kunkelii (Corn Stunt Spiroplasma) são doenças vasculares que afetam o transporte e distribuição de fotoassimilados, água e nutrientes, resultando em diminuição do desenvolvimento fisiológico e redução da arquitetura das plantas de milho (Ávila *et al*, 2018; Borges, 2020; Waquil, 2004).

Para Coelho *et al* (2019), a altura de planta e resistência do colmo estão intimamente ligadas em casos de acamamentos em lavouras de milho. Portanto, torna-se importante a aferição dessas alturas para que se relacione essas medidas com a probabilidade de acamamento, plantas raquíticas causadas pelos Enfezamento e características genéticas do híbrido de milho. Já Souza *et al* (2014) em seu estudo, demonstrou que a característica morfológica altura de espiga foi a mais influente na variação da produtividade sendo, portanto, o componente secundário de maior relevância na seleção indireta para a produtividade.

Sobre as avaliações dos parâmetros de produtividade, a primeira variável a ser analisada foi diâmetro de espiga. De acordo com o teste estatístico, o tratamento com redução da dose pela metade associado com a nanotecnologia OCC® (T3), obteve maior valor de diâmetro de espiga, sendo ele de 4,46 centímetros, numericamente superior aos demais tratamentos, mostrando eficácia de controle e efeito residual em comparação com a testemunha e o T4 (Figura 11).

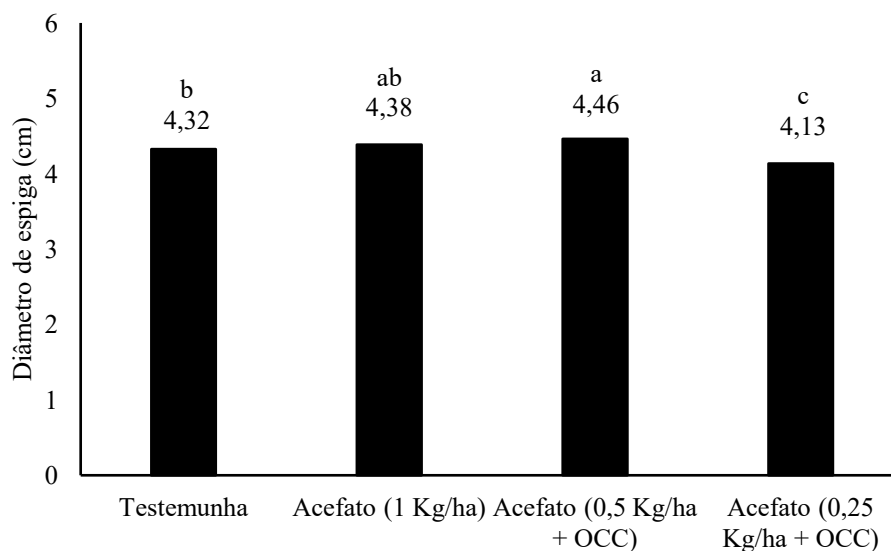
Já para a variável peso de espiga, o resultado da análise estatística mostrou que o T3 foi numericamente superior em relação ao T2, porém não diferiu no teste de média aplicado (Figura 12). Agora, quando comparado com a testemunha e o tratamento com redução em 75% associado ao OCC® (T4), tanto o T2 quanto o T3 diferiram no teste de média aplicado, mostrando maior performance residual e de controle da cigarrinha desses dois tratamentos.

Finalizando as análises dos parâmetros produtivos, a análise estatística para a variável comprimento de espiga, mostrou que a redução de dose em 50% e associação com o OCC®, teve maior eficiência de controle de cigarrinha do milho em relação à testemunha e ao tratamento quatro, resultando em espigas maiores e melhores desenvolvidas. Ainda, o comprimento de espigas do T3 foi numericamente maior em relação às espigas do T2 (Figura 13).

Todos esses parâmetros de produtividade (diâmetro de espiga, comprimento de espiga e peso de espiga) estão intimamente relacionados com a cigarrinha-do-milho, vírus da risca e às doenças do complexo de enfezamentos. As espigas oriundas de plantas de milho infectadas por essas doenças terão o desenvolvimento reduzido e limitado, muito pelo fato de que esses patógenos que são transmitidos pela cigarrinha, ocorrem no sistema vascular da planta.

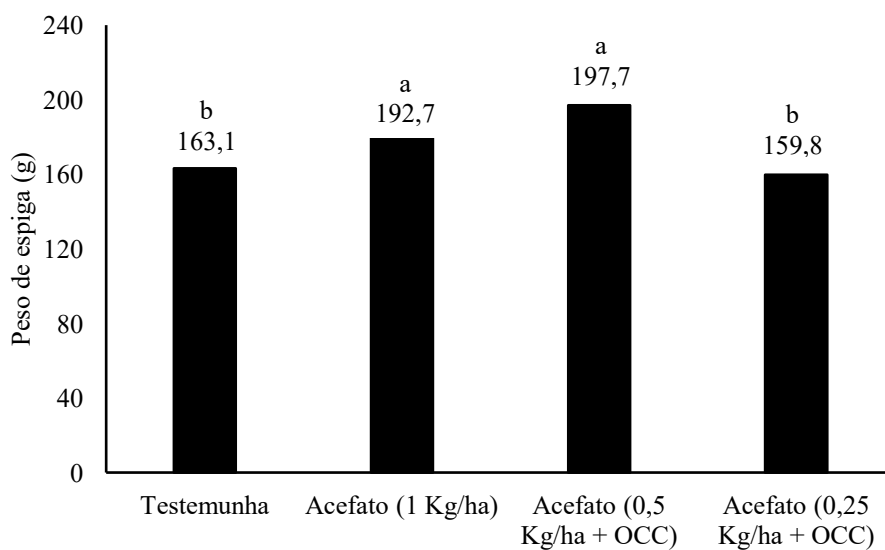
Após a infecção e desenvolvimento desses patógenos no sistema vascular das plantas de milho, o transporte e redistribuição de fotoassimilados é comprometido, sendo assim, todos os açúcares que seriam destinados ao desenvolvimento das espigas e enchimento de grão não conseguem chegar até a parte reprodutiva das plantas, levando a má formação as espigas.

FIGURA 11 – Médias de diâmetro de espiga (cm) para todos os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



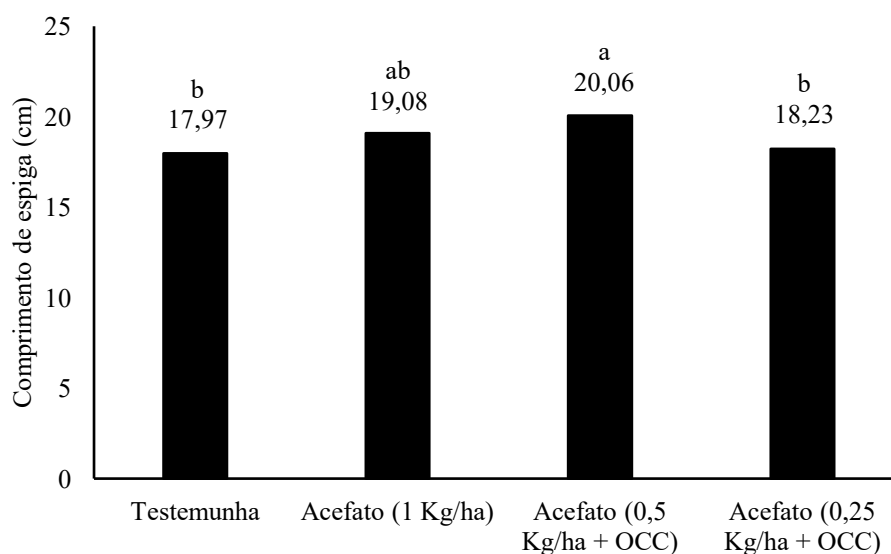
Fonte: O autor

FIGURA 12 – Médias de peso de espiga (g) entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



Fonte: O autor

FIGURA 13 – Médias de comprimento de espiga (cm) entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente pelo Teste T (LSD) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ponta Grossa, 2025.



Fonte: O autor

Para Lopes (2007), o comprimento ou tamanho de espiga é considerado como importante em programas de melhoramento genético, em vista de que se trata de um fator indireto para maior peso de grão e rendimento por hectare, contrapondo que quando o número de espigas na área for pequeno, esta variável não exerce muita contribuição no valor real da produção.

Visto os dados contabilizados no presente trabalho, é válido pontuar a importância que os componentes de rendimentos possuem para escolhas de manejos que visam aumentar a produção ou diminuir as perdas, além de servir para escolhas de materiais antes do estabelecimento da lavoura. Souza *et al.* (2014) representou em seu experimento que o componente peso de espiga está diretamente relacionado à produção de grãos de milho.

Como já comentado neste trabalho, os patógenos transmitidos pela cigarrinha-do-milho afetam o floema. Essa infecção ocorre de forma sistêmica levando a redução de crescimento e desenvolvimento das plantas, encurtamento de entrenós e principalmente, espigas menores, menor enchimento de grão, espigas improdutivas e mal-formadas (Contini *et al.*, 2019).

Além dos danos diretos na produção, o complexo de enfezamento afeta diretamente na qualidade dos grãos produzidos, podendo favorecer o desenvolvimento de fungos ocasionando a produção de grãos ardidos. Os grãos ardidos referem-se a grãos com a qualidade prejudicada, produzidos pela planta com baixo peso e valor nutricional, podendo apresentar

concentrações de micotoxinas, prejudicando a segurança alimentar (Cota *et al.*, 2013).

Anjos (2023) em seu trabalho, demonstrou que a aplicação do inseticida Acefato isolado incrementou 779,5 kg ha⁻¹ na produtividade do milho, com ganho econômico de R\$ 1013,4 por hectare em relação a testemunha. Esse ganho é explicado pelo controle efetivo de populações de cigarrinha no campo, pois há relação direta entre a ocorrência do inseto nas lavouras com a incidência de doenças que ocasionam perdas de produtividade.

Outros estudos relacionados à pesticidas associados a nanopartículas, como por exemplo nanoherbicidas (Nadiminti *et al.*, 2016) e nanoinseticidas (Gao *et al.*, 2019), foram testados e mostraram resultados interessantes. Esses nanopesticidas, quando aplicados em uma dose mais baixa (um terço menor) exibiram maior eficácia contra os organismos-alvo por um período mais longo do que os pesticidas convencionais (sem associação de nanotecnologia). Essas abordagens permitem o controle sustentável e econômico de pragas agrícolas, minimizando os danos ambientais colaterais da liberação excessiva de ingrediente ativo (Buchman *et al.*, 2019).

O tamanho pequeno das nanopartículas permite que elas penetrem na cutícula do inseto de forma mais eficaz do que partículas maiores ou inseticidas tradicionais. Estudos demonstraram que as nanopartículas de óxido de zinco podem penetrar na cutícula de insetos como *Spodoptera litura*, causando danos físicos e permitindo a entrega de agentes inseticidas diretamente aos tecidos-alvo (Raj; Trivedi; Soni; 2021). Essa capacidade de romper a cutícula aumenta a disponibilidade dos inseticidas e aumenta sua eficácia de modo geral.

A associação de nanopartículas com inseticidas biológicos também exibe efeito sinérgico. Moléculas nanoparticuladas de óleo de neem e extrato de alho demonstraram atividade inseticida sinérgica contra *Helicoverpa armigera*, resultando em taxas de mortalidade mais altas em comparação com os bioinseticidas individuais (Fenibo; Ijoma; Matambo; 2021). Essa capacidade de liberação controlada dos nanopesticidas garantem que as pragas sejam expostas a concentrações efetivas dos agentes bioativos por um período prolongado, aumentando ainda mais os efeitos sinérgicos.

Boff (2022) em seu estudo, constatou que nanoformulações de bifentrina e beta-cialotrina a base de butóxido de piperonila e melato de dietila, aumentou a letalidade de *Euchistus eros* e *Chrysodeixis includens* a campo. Segundo a autora, o aumento da susceptibilidade dessas espécies aos inseticidas associados a essas nanotecnologias, se deve a uma maior quantidade de ingrediente ativo no sítio de ação desses inseticidas (canais de sódio). O aumento na quantidade de ingrediente ativo no sítio de ação se deve a uma maior translocação do inseticida no inseto, impulsionado pela associação com a nanotecnologia. Além disso,

maiores quantidade de ingrediente ativo no sítio de ação desfavorece a ocorrência de resistência do inseto ao mecanismo de ação.

Outros estudos demonstram que a associação de nanopartículas a inseticidas neonicotinoides promove melhor ação de controle de insetos como *Myzus persicae* (Assemi *et al.*, 2014); *Sitophilus granarius* (Sabbour 2018), *Rhyzopertha dominica* (Sabbour 2018); *Rhopalosiphum padi* (Abd Elwahab *et al.* 2020).

A nanoencapsulação de pesticidas oferece tecnologias que prometem minimizar as doses de produtos químicos para aumentar a produção agrícola e diminuir os impactos ambientais. Os nanopesticidas disponíveis melhoram efetivamente a produtividade das culturas e suprimem pragas e doenças. Devido ao desenvolvimento da nanociência no controle de pragas de insetos, as formulações de encapsulamento modernizaram a aplicação de pesticidas, pois diminui as doses em comparação com o pesticida tradicional para obter impacto total com ação de pesticidas mais orientada para o alvo.

7 CONCLUSÃO

Ao final deste estudo, conclui-se que o tratamento com redução da dose de Acefato pela metade associado à nanotecnologia OCC® (T3) obteve os melhores resultados para as variáveis analisadas em comparação aos outros tratamentos (exceto para altura de planta), mantendo a eficiência de controle da cigarrinha-do-milho mesmo com redução da dose do inseticida químico, promovendo diminuição de perdas de produtividade pelo inseto e pelos patógenos que ele transmite.

Sabendo-se que, devido a associação do OCC® ao Acefato, o período residual e a eficácia inseticida se mantém igual mesmo com a redução de dose do ingrediente ativo, pode-se concluir que essa combinação sinérgica garante menor impacto ambiental, menor custo de produção e maior lucratividade por hectare.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD ELWAHAB, H. M., *et al.* Comparison between the toxicity of nano and bulk formulations of imidacloprid against wheat aphid, bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.) **Phytopathol Pest Manage**, v. 43 p. 31–42, 2020.

ABDULSALAMI, B. A.; AKINSANYA, B. J. A rule-based expert system for pest control in maize plant. **Fountain Journal of Natural and Applied Sciences**, v. 7, p. 29 – 37, 2018.

ABOTT, W. S. The value of the dry substitutes for liquid lime. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265 – 267, 1925.

ADISA, I. O., PULLAGURALA V. L. R., PERALTA-VIDEA, J. R. Different applications of Nanomaterials and their impact on the Environment. **Internation Journal of Computational Materials Science Engineering** v. 5, n.1, p.1–7, 2019.

ANJOS, W. I. **Controle microbiano da cigarrinha-do-milho *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) com os fungos entomopatogênicos *Cordyceps fumosorosea* e *Beauveria bassiana* seus efeitos sobre o complexo de enfezamentos da cultura do milho e impacto sobre a produtividade**. Mestrado em Agronomia. Ponta Grossa. 63 f. 2023.

ASSEMI, H., SAJJADI, A., NAGHIZADEH, F. Investigation of different values of Nanoimidacloprid for control of tobacco aphids *Myzus persicae nicotianae* inlaboratory. **Agrotechnol.** v. 128, n.1, p.1 2014.

ÁVILA, C. J.; *et al.* A cigarrinha *Dalbulus maidis* e os enfezamentos do milho no Brasil. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, p. 1 – 8, 2018.

BARZMAN, M.; *et al.* Eight principles of integrated pest management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n.1, p. 1 – 17, 2015.

BERTI FILHO, E.; MACEDO, L. P. M. Fundamentos de controle biológico de insetos-praga. **IFRN Editora**, 108 p., 2011.

BUCHMAN, J. T., *et al.* Chitosan-coated mesoporous silica nanoparticle treatment of *Citrullus lanatus* (watermelon): enhanced fungal disease suppression and modulated expression of stress-related genes. **ACS Sustain.** v.7, n.1, p. 19649–19659, 2019.

BOFF, J. S. **Associação de piretróides nanoencapsulados ou não com sinergistas para o manejo da resistência de *Chrysodeixis includens* (Walker) e *Euchistus eros* (F.)**. Mestrado em Agronomia – UFSM, RS. 74p., 2022.

BOLZAN, F. T.; *et al.* Biological pest control in maize crop in Brazil: a review. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 18, p. 2, 2019.

BORGES, E. **Virose e enfezamentos transmitidos pela cigarrinha do milho**. 2. ed. Curitiba: Ig/Campo em foco, 2020. 8p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/24 – Décimo levantamento.**

CONTINI, E.; *et al.* Milho – caracterização e desafios tecnológicos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**, p. 25 – 26, 2019.

COTA, L. V. *et al.* Histórico e perspectivas das doenças na cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica**, v. 193, n.1, p. 5, 2013.

DARA, S. K. The new integrated pest management paradigm for the modern age. **Journal of Integrated Pest Management**, n. 10, v.1, p.5, 2019.

ERENSTEIN, O.; *et al.* Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, v. 14, p. 1295 – 1319, 2022.

FENIBO, E. O., IJOMA, G. N., MATAMBO, T. Biopesticides in sustainable agriculture: A critical sustainable development driven by green chemistry principles. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. v.5, p. 9, 2021

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, Brasília, 1ª ed., 540 p., 2020.

FONTOURA, D.; STANGARLIN, J.R.; TRAUTMANN, R.R.; SCHIRMER, R.; SCHWANTES, D.O.; ANDREOTTI, M. Influência da população de plantas na incidência de doenças de colmo em híbridos de milho na safrinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.545-551, 2006.

GAO, Y. *et al.* Fabrication of a hollow mesoporous silica hybrid to improve the targeting of a pesticide. **Chemical Engineering Journal**. v. 364, n.1, p. 361–369, 2019.

GRILLI, S.; GALIZI, R.; TAXIARCHI, C. Genetic technologies for sustainable management of insect pests and disease vectors. **Sustainability**, v. 13, n.1, p. 19, 2021.

HAYLES J, JOHNSON L, WORTHLEY C, LOSIC, D. Nanopesticides: a review of current research and perspectives. **New pesticides and soil sensors**. p. 193–225, 2017.

IRAC. Comitê de ação a resistência a inseticidas – Brasil. **Irac**, 2025. Disponível em: <<https://www.irac-br.org/>>

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. Relações com o clima. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec**, 2021.

LENNON, S. Produção mundial de milho atinge 1,22 bilhão de toneladas. **Agrolink**, 2024.

LANG, C.; *et al.* Nanoparticle tools to improve and advance precision practices in the agrifoods sector towards sustainability – a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, n.2, p.24, 2021.

LOPES, S. J. *et al.* Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas ao tipo de híbrido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n.6, p. 1536-1542, dez. 2007.

LIU, C.; ZHOU, H.; ZHOU, J. The applications of nanotechnology in crop production. **Molecules**, v. 26, n. 23, p.16, 2021.

MAGALHÃES, P. C.; *et al.* Circular técnica – fisiologia do milho. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, Sete Lagoas, 14 p., 2002.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Características da planta. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec**, 2021.

MOREIRA, H. J. da C.; ARAGÃO, F. D. Manual de pragas do milho. **Agrolink**, 2025.

NADIMINTI, P. P. *et al.* Nanostructured liquid crystalline particle assisted delivery of 2,4 dichlorophenoxyacetic acid to weeds, crops and model plants. **Crop Protection** n. 82, n.1, p. 17–29, 2016.

NUTRISTRABL. Soluções em nanotecnologia para agricultura de precisão. **Nutristrahl**, 2024. Disponível em:< <https://nutristrahl.com/>>

OCHO, F. L., ABDISSA, F. M., YADESSA, G. B., BEKELE, A. E. Smallholder farmers' knowledge, perception and practice in pesticide use in SouthWestern Ethiopia. **Journal of Agricultural Environment for International Development (JAEID)** v. 110 p. 307–323, 2016.

OLIVEIRA, C. M., SABATO, E. O. **Doenças em Milho**: Insetos-vetores, mollicutes e vírus. 1ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 231 p., 2018.

OLIVEIRA, C. M. de; FRIZZAS, M. R. Eight decades of *Dalbulus maidis* (DeLong & Walcott) (Hemiptera, Cicadellidae) in Brazil: what we know and what we need to know. **Neotropical Entomology**, v. 51, n.1, p. 9 – 10, 2022.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. Sistemas diferenciais de cultivo. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec**, 2021.

RAJ, S., TRIVEDI, R., SONI, V. Biogenic synthesis of silver nanoparticles, characterization and their applications—a review. **Surfaces and Interfaces**. v.5 n.1 p.67-90, 2021

RIBEIRO, L. do P.; *et al.* Insecticides for corn leafhopper management versus entomopathogenic fungal isolates: in vitro compatibility, physical-chemical interactions, and on-farm assessments. **Crop Protection**, v. 174, p. 9 – 11, 2023.

QUEIROZ, R. M.; CURY, J. Avaliação Da Eficiência De Inseticidas No Controle Da Cigarrinha Do Milho. **Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma**. p. 295-304, 2020

SABATO, E. de O.; LANDAU, E. C.; OLIVEIRA, C. M. de. Circular técnica - recomendações para o manejo de doenças do milho disseminadas por insetos-vetores. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, Sete Lagoas, 11 p., 2014.

SABBOUR, M. M. A. Pathogenicity of imidacloprid and its nano against *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) under laboratory and store conditions. **IOBC/WPRS Bulletin**, v.130, n.1, p. 185–191, 2018.

SANGOI, L.; ALMEIDA, L.A. de; LECH, V.A.; GRACIETTI, L.C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, v.58, p.271-276, 2001.

SANTOS, H. G. dos.; *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed. Brasília: **EMBRAPA Solos**, 2018, 590 p.

SARKAR, M. R.; *et al.* Recent advances in nanomaterials based sustainable agriculture: an overview. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v.18, p.18, 2022

SHIMADA, B. S.; *et al.* Problems of chemical control in agriculture: a social perspective. **Journal of Scientific Research & Reports**, v. 27, n.1, p. 49 – 55, 2021.

SHURTLEFF, M. C. Compendium of corn diseases. St. Paul: **American Phyto pathological Society**, v.2, 105 p, 1986.

SILVA, R. G.; *et al.* Controle genético da resistência aos enfezamentos do milho. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, v. 38, n. 8, p. 921 – 928, 2003.

SILVA, D. F. da; *et al.* Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1 – 9, 2021

SOBRINHO, C. A.; *et al.* Cultivo do milho-verde irrigado na baixada maranhense. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, São Luis, 1ª ed., p. 15 – 19, 2020.

SOUZA, T. V. et al. Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n.4, p. 493-504, dez. 2014.

TINOCO, T. J.; SILVA, P. L. da; ROCHA, A. P. S. da. Manejo integrado de pragas e doenças em sistemas agrícolas. **Contemporary Journal**, v. 3, p. 1 – 23, 2023.

VALICENTE, F. H. Circular técnica – manejo integrado de pragas na cultura do milho. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, Sete Lagoas, 13p., 2015.

VIRLA, E. G.; ARAOZ, M. V. C.; ALBARRACIN, E. L. Estimation of direct damage to maize seedlings by the corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), under diferente watering regimes. **Bulletin of Entomological Research**, 7p., 2021.

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I. Cultivo do milho: pragas. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, 6 p., 2000.

WAQUIL, J. M. Manejo integrado de pragas: revisão histórica e perspectivas. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, 11 p., 2002.

WAQUIL, J. M. Circular técnica – cigarrinha-do-milho: vetor de mollicutes e vírus. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**, Sete Lagoas, p. 1 – 7, 2004.

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I. Manejo integrado de pragas. **Agência Embrapa de Tecnológica – Ageitec**, 2021.