

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE
PLANTAS EM SOJA E MILHO

Roberta Graciela Nogueira
Guimarães Azevedo
Engenheira Agrônoma

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**

**NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE
PLANTAS EM SOJA E MILHO**

Roberta Graciela Nogueira Guimarães Azevedo

Orientador: Profa. Dra. Solange Maria Bonaldo

Co-Orientadora: Profa. Dra. Stela Regina Ferrarini

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Fitotecnia

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A994n Azevedo, Roberta Graciela Nogueira Guimarães.
Nanossistema agrícola para controle de doenças de plantas em soja e milho [recurso eletrônico] / Roberta Graciela Nogueira Guimarães Azevedo. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 65 f., il. color., pdf). – 2023.

Orientadora: Solange Maria Bonaldo.
Coorientadora: Stela Regina Ferrarini.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Sinop, 2023.
Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: : "Nanossistema agrícola para controle de doenças de plantas em soja e milho"

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Roberta Graciela Nogueira Guimarães Azevedo

Dissertação defendida e aprovada em 29/03/2023

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor(a) Solange Maria Bonaldo (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutor(a) Stela Regina Ferrarini (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutor(a) KÁTIA REGINA FREITAS SCHWAN ESTRADA (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

4. Doutor(a) Márcio Roggia Zanuzo (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

SINOP, 29/03/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Kátia Regina Freitas Schwan-Estrada**, **Usuário Externo**, em 30/03/2023, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **STELA REGINA FERRARINI**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 30/03/2023, às 12:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5660039** e o código CRC **CF7470D2**.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Roberta Graciela Nogueira Guimarães Azevedo, filha de Maria Aparecida Nogueira e Rogério dos Santos Guimarães, nasceu em Divinópolis, Minas Gerais, no dia 26 de outubro de 1989. Possui graduação em Gestão Comercial pela Universidade de Itaúna, com obtenção do título em 2010. Ingressou no curso de graduação em Engenharia agrônoma pela Universidade Federal de São João Del Rei, no ano de 2012, em Sete Lagoas Minas Gerais. Porém, no ano de 2016, transferiu o curso para o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), Campus Campo Novo do Parecis-MT, sendo titulada como agrônoma em agosto de 2017. Neste mesmo ano, iniciou MBA em Gestão do Agronegócio, na universidade Federal do Paraná, com conclusão em maio de 2019. Também cursou especialização em Proteção de Plantas pela universidade Federal de Viçosa, com conclusão em fevereiro de 2019. Em março de 2021, iniciou especialização em Ensino de Nanociências e Nanotecnologia, pela Universidade Franciscana em Santa Maria, Rio Grande do Sul, o qual foi concluído em maio de 2022. Foi bolsista de iniciação científica, na Embrapa Milho e Sorgo, de janeiro de 2013 a julho de 2015. Em agosto de 2015, iniciou estágio na empresa Tropical Melhoramento e Genética (TMG), com duração até dezembro de 2015. Também fez estágio na empresa Limagrain, de janeiro de 2016 a março de 2016. No ano de 2017, em novembro, ingressou como Assistente técnico Comercial, na revenda de insumos agrícolas Sorriagro, onde permaneceu até agosto de 2018. No mesmo mês, iniciou na empresa Union Agro, como Representante Técnica de Vendas, onde permaneceu até agosto de 2019. Desde então, está vinculada à empresa Agrocere Binova, onde atua como Pesquisadora no setor de Fertilizantes Foliares, na cidade de Sorriso-MT. Iniciou o curso de mestrado, no programa de pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Mato Grosso, campus Sinop, em fevereiro de 2021.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Histórico da nanotecnologia.....	2
2.2. Aplicações da nanotecnologia	4
2.3. Nanossistemas	5
2.4. Nanotecnologia e proteção de cultivos	7
2.5. A cultura do Milho	8
2.6. A cultura da soja	10
2.7. Métodos de controle de doenças.....	12
3. REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO 2 – NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE SOJA.....	19
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1. Desenvolvimento e caracterização do nanossistema	22
2.2. Áreas experimentais	22
2.3. Delineamento experimental e tratamentos	23
2.4. Avaliações de doenças	25
2.5. Sanidade de Sementes.....	26
2.6. Análise de rendimento	27

2.7. Análise Estatística.....	27
3. RESULTADOS.....	27
4. DISCUSSÃO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS.....	38
CAPÍTULO 3 – NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE	
DOENÇAS DE MILHO.....	42
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1. Desenvolvimento e caracterização do nanossistema.....	46
2.2. Área experimental.....	46
2.3. Delineamento experimental e tratamentos.....	47
2.4. Avaliações de doenças.....	48
2.5. Análise de rendimento.....	48
2.6. Análise Estatística.....	48
3. RESULTADOS.....	49
4. DISCUSSÃO.....	50
5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS.....	54

NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS EM SOJA E MILHO

RESUMO – A incidência de fitopatógenos está entre os principais fatores que podem afetar a produtividade das culturas. Dessa forma, o objetivo desse estudo consiste na utilização de um nanossistema, previamente selecionado e caracterizado, utilizado de forma isolada ou em conjunto com fungicidas, com intuito de melhorar a performance do manejo e aumentar o rendimento das culturas da soja e do milho. O experimento na cultura da soja foi conduzido na safra de 2021/2022, em Sorriso/MT e Ipiáçu/MG. O delineamento experimental utilizado foi bloco casualizado, com seis repetições. Os tratamentos empregados foram: T1: Testemunha, T2: Nanoemulsão, T3: Fungicida, T4: Fungicida + agProtect, T5: Nanoemulsão + Fungicida e T6: Nanoemulsão + Fungicida + agProtect. Para cultura do milho, o experimento foi conduzido na segunda safra de 2021/2022, em Sorriso/MT e o delineamento experimental utilizado foi bloco casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos empregados foram: T1: Fungicida, T2: Fungicida + Nanoemulsão, T3: Fungicida + agProtect T4: Fungicida + Nanoemulsão + agProtect. As variáveis analisadas foram índice de severidade da doença, Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), eficácia relativa de controle, incidência de fitopatógenos nas sementes e análise de rendimento dos grãos. As comparações das médias foram analisadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software RBio. A nanoemulsão se mostrou estável, apresentando perfil monomodal, sem presença de micropartículas após 30 dias do seu desenvolvimento. Para cultura da soja, os tratamentos que associaram o uso de agProtect, nanoemulsão ou ambos à aplicação de fungicida, obtiveram menor severidade em todas as avaliações, menor AACPD, maior eficácia de controle em relação à testemunha e menor incidência de patógenos nas sementes em relação aos tratamentos utilizando fungicida. Em relação à produtividade, no experimento de Ipiáçu-MG, a utilização de nanoemulsão isolada apresentou melhor rendimento da cultura. De maneira semelhante, a utilização da nanoemulsão foi capaz de melhorar a performance do manejo de fungicidas no controle de *Bipolaris maydis* em milho. Mesmo em situação de baixa pressão da doença, a formulação contribuiu para reduzir a severidade e aumentar a produtividade da cultura. Com base nos resultados, a utilização da nanoemulsão foi capaz de melhorar o desempenho do manejo de controle de patógenos nas culturas da soja e milho.

Palavras-chave: Eficiência, Fitopatógenos, Nanoemulsão, Produtividade

AGRICULTURAL NANOSSYSTEM FOR CONTROL OF PLANT DISEASES IN SOYBEAN AND CORN

ABSTRACT – The incidence of phytopathogens is among the main factors that can affect crop productivity. Thus, the objective of this study is to use a nanosystem, previously selected and characterized, used alone or in conjunction with fungicides, with the aim of improving management performance and increasing the yield of soybean and corn crops. The soybean crop experiment was carried out in the 2021/2022 harvest, in Sorriso/MT and Ipiacu/MG. The experimental design used was a randomized block, with six replications. The treatments employed were: T1: Control, T2: Nanoemulsion, T3: Fungicide, T4: Fungicide + agProtect, T5: Nanoemulsion + Fungicide and T6: Nanoemulsion + Fungicide + agProtect. For the corn crop, the experiment was carried out in the second harvest of 2021/2022, in Sorriso/MT and the experimental design used was a randomized block, with five replications. The treatments employed were: T1: Fungicide, T2: Fungicide + Nanoemulsion, T3: Fungicide + agProtect T4: Fungicide + Nanoemulsion + agProtect. The variables analyzed were disease severity index, Area Under the Disease Progression Curve (AUDPC), relative control efficacy, incidence of phytopathogens in seeds and grain yield analysis. Comparisons of means were analyzed using the Scott-Knott test at a 5% probability level, using the RBio software. The nanoemulsion proved to be stable, presenting a monomodal profile, without the presence of microparticles after 30 days of its development. For the soybean crop, the treatments that associated the use of agProtect, nanoemulsion or both with the application of fungicide, had lower severity in all evaluations, lower AUDPC, greater control efficacy in relation to the control and lower incidence of pathogens in the seeds in relation to treatments using fungicides. Regarding productivity, in the experiment at Ipiacu-MG, the use of isolated nanoemulsion showed better crop yield. Similarly, the use of the nanoemulsion was able to improve the performance of fungicide management in the control of *Bipolaris maydis* in maize. Even in a situation of low disease pressure, the formulation contributed to reducing the severity and increasing the productivity of the crop. Based on the results, the use of the nanoemulsion was able to improve the performance of pathogen control management in soybean and corn crops.

Keywords: Efficiency, Phytopathogens, Nanoemulsion, Productivity

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia tem sido citada como a sexta tecnologia mais revolucionária da era moderna (KNELL, 2010) sendo impulsionada pelos desafios globais de produção alimentar, sustentabilidade e mudanças climáticas. A nanotecnologia está presente em artefatos e obras milenares (FREESTONE et al., 2007; REIBOLD et al., 2006) e, embora o termo seja relativamente de uso recente, foi utilizado pela primeira vez em 1974 (KHAN et al., 2014).

Diferentes propriedades físicas e químicas podem ser encontradas em materiais na escala nano, equivalente a 1×10^{-9} metros, devido ao aumento da exposição dos átomos por meio da maior área superficial (SIA, 2017; BOISSEAU, 2011). Dessa forma, mesmo com menores doses, é possível aumentar gradativamente a interação com as estruturas de interesse obtendo uma maior seletividade das moléculas alvo (SIA, 2017; BOISSEAU, 2011).

Nos últimos anos, as pesquisas em nanotecnologia proporcionaram grande avanço em diversas áreas, tais como medicina, farmacêutica, cosmética, têxtil, automobilística dentre outras. No setor da agricultura, a nanotecnologia tem mostrado potencial promissor para promover produção sustentável, com aplicações em nanofertilizantes, agroquímicos, nanobiossensores e estratégias de remediação para solos contaminados.

A área agrícola, com uso de defensivos, cresceu 7,1% no Brasil em 2020, sendo que 20% do volume de produto aplicado é referente ao uso de fungicidas, onde grande parte dos defensivos utilizados, são destinados para cultura da soja (55%) e do milho (15%), de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (SINDIVEG).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura oleaginosa de grande importância econômica para o mundo (FAO, 2019). O Brasil se consolidou como o maior produtor mundial da leguminosa na safra de 2021/2022, com um acréscimo de 4,9% de área plantada em relação à safra anterior (CONAB, 2022).

O milho é o cereal de maior volume de produção no mundo, com grande importância na cadeia produtiva de produção de carne e biocombustíveis (USDA, 2023). O cultivo do milho em sucessão da soja, ampliou as épocas de plantio bem como a semeadura em áreas altamente tecnificadas (MIRANDA et al., 2021).

As condições favoráveis para cultivo das culturas de soja e milho, são encontradas em praticamente todo território brasileiro, sendo culturas comumente plantadas no país. Porém, a expansão da fronteira agrícola, entre outros fatores relacionados a evolução do sistema de produção, tem promovido modificações importantes na dinâmica populacional dos patógenos, que resultam no aparecimento de novos problemas fitossanitários (REIS et al., 2010).

O uso de fungicidas tornou-se o método mais utilizado visando o controle de fitopatógenos. Porém, a ineficiência na entrega e utilização do ingrediente ativo, faz com que mais de 90% dos produtos químicos aplicados, sejam perdidos no ambiente, o que tem sérias consequências na cadeia alimentar e na saúde, além de aumentar os gastos com a produção (MATTOS et al., 2017). Além disso, gera impacto sobre as espécies não-alvo e resulta no desenvolvimento de espécies resistentes ao agroquímico (RAI; INGLE, 2012).

Dessa forma, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia, possuem potencial de melhorar a performance do manejo de combate aos patógenos de plantas, otimizando a utilização do ingrediente ativo, reduzindo a toxicidade à organismos não-alvos, aumentando a estabilidade da molécula e aumentando o rendimento das culturas, sendo importante alternativa para o aumento da produção de alimentos de forma mais sustentável (BARZOTTO 2019).

Com esse intuito, este trabalho objetivou avaliar o potencial de nanossistema formulado pela técnica de nanoemulsão, utilizado isolado ou em mistura com fungicidas, no controle de doenças e na produtividade das culturas da soja e do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico da nanotecnologia

O prefixo nano (do grego anão) é usado para indicar a ordem de grandeza de 10^{-9} , sendo um nanômetro, cerca de 100.000 vezes menor que a espessura de um fio de cabelo humano. Embora o termo seja relativamente de uso recente, a nanotecnologia não é uma ciência nova. De forma bastante artesanal e intuitiva, os artesãos do passado manipulavam materiais básicos misturados com nanopartículas, criando artefatos e obras com diferentes propriedades devido a escala nano dos materiais (FREESTONE et al., 2007; REIBOLD et al., 2006).

Os Romanos (século IV) produziam artefatos com inclusão de partículas coloidais de ouro e prata no vidro, encontradas na taça de Lycurgus (Figura 1a) (FREESTONE et al., 2007). Nos séculos IV a XV, os vitrais das catedrais europeias adquiriram suas cores graças

às nanopartículas de cloreto de ouro e outros óxidos e cloretos metálicos (Figura 1b). No Oriente Médio, as espadas em aço de Damasco (300 e 1700 d.C.) eram famosas pela sua impressionante força, resistência ao choque e por serem extremamente afiadas (Figura 1c). As lâminas continham, o que chamamos hoje de nanotubos de carbono, que melhoraram as suas propriedades (REIBOLD et al., 2006).



Figura 1. Artefatos antigos nanoestruturados: Em (a) a Taça de Lycurgus (séc. IV). Em (b) Vitral de Notre Dame e em (c) lâmina da espada de Damasco.

Pode-se considerar como o marco inicial do conceito de nanotecnologia, a palestra proferida pelo Físico americano Richard Feynman (Prêmio Nobel de Física em 1965), intitulada “Há muito espaço lá embaixo”. Neste pronunciamento, em dezembro de 1959, o palestrante discutiu acerca da ideia de manipulação da matéria ao nível atômico (FEYNMAN.R, 1959). No entanto, o termo Nanotecnologia foi utilizado pela primeira vez em 1974 pelo professor da Tokyo University of Science, Norio Taniguchi, quando descreveu o processo inovador de separar, consolidar e deformar materiais, átomo por átomo ou molécula por molécula (KHAN et al., 2014).

A visualização e manipulação de átomos individuais só foi possível com o surgimento dos microscópios altamente sofisticados, o microscópio de Varredura por Tunelamento (*Scanning Tunnelling Microscopy*, STM) e o microscópio de força atômica (*Atomic Force Microscopy*, AFM). A descoberta destes equipamentos foram eventos importantes no desenvolvimento da nanotecnologia, a partir da década de 80 (DREXLER, 1981). Em 1989, pesquisadores de uma das maiores empresas de computadores, a International Business machines (IBM), produziram um logotipo reunindo 35 átomos de Xenônio, utilizando um microscópio de tunelamento, mostrando assim, a possibilidade de organizar artificialmente os átomos e moléculas (EIGLER et al., 1990).

2.2. Aplicações da nanotecnologia

O uso da nanotecnologia tem transformado a forma como diversos tipos de materiais são utilizados. A grande motivação para o desenvolvimento de produtos nanométricos está associada às novas e diferenciadas propriedades físicas e químicas na escala nano. Podemos citar características como condutividade elétrica, elasticidade, tenacidade, resistência, propriedades magnéticas, diferentes cores e grande reatividade, que, geralmente, estão ausentes para o mesmo material, quando de tamanho micro ou macrométrico (ELLWANGER et al, 2012).

A redução do tamanho dos materiais aumenta a exposição de átomos por meio de sua área superficial. Com uma quantidade relativamente reduzida de nanoestruturas, é possível aumentar gradativamente a interação com as estruturas de interesse obtendo uma maior seletividade das moléculas alvo (SIA, 2017; BOISSEAU, 2011). Esse fato faz com que estas nanoestruturas tenham grande expectativa de aplicação, por exemplo, em termos de sensores de moléculas de interesse químico (remoção de gases tóxicos, transporte de medicamentos no organismo etc.) ou biológicos (interação com proteínas, detectores de vírus, aminoácidos etc.) (BISOGNIN et al., 2012).

A nanotecnologia tem ganhado grande destaque na área da saúde e bem-estar e um dos aspectos fundamentais é explorar os nanomateriais como agentes de diagnóstico e terapia de doenças, mas, também, buscando alternativas, como uso em cosméticos, protetores solares, entre outros (MARCONE, 2015).

Na medicina, o medicamento Paclitaxel[®] é uma classe de quimioterápico, que apresenta maior eficácia e segurança em sua formulação em comparação com o fármaco sem e com nanopartícula (BRAITEH, 2017). Na indústria de cosméticos, os cremes hidratantes e anti-idade contendo ativos nanoestruturados demonstraram penetração mais

profunda na pele e são acessíveis no mercado (DAUDT et al., 2013). No vestuário, os fabricantes conseguem alterar a funcionalidade dos tecidos, dando-lhes características como repelência à insetos, bactérias, umidade entre outros (RAMOS, 2017).

A construção civil, eletrônica, a indústria têxtil, automobilística, aeronáutica e naval são algumas das beneficiadas pelos nanomateriais. A computação e eletrônica também são áreas muito impactadas pelos materiais na escala nanométrica. O desenvolvimento de telas OLED, nas películas antirreflexo e impermeabilizantes em telas de TVs e celulares, novos processadores, inteligência artificial, dentre outras aplicações já são comumente utilizados (SILVA, 2018).

Na indústria alimentícia, a utilização da nanotecnologia na produção de películas que prolongam a durabilidade de frutas e legumes, sem alterar o sabor e a aparência, é realidade (CHAUSALI, 2021). Na agricultura seu uso é amplo, podendo ser aplicada em nanosensores na agricultura de precisão, nanofertilizantes, nanomateriais para biorremediação dos solos, nanobiotecnologia e nanoencapsulação de substâncias relacionadas a proteção dos cultivos (USMAN et al., 2020)

Nesse contexto, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia abre novas aplicações potenciais na agricultura sendo projetadas para resolver os problemas enfrentados no setor agrícola, como ineficiência na entrega e utilização do ingrediente ativo, implicações ambientais e maior pressão seletiva sobre os patógenos (POTI et al., 2020).

2.3. Nanossistemas

A seleção dos materiais utilizados nas formulações de um nanossistema se dá através de suas características de biocompatibilidade, biodegradabilidade, complexação e encapsulamento (MOGHIMI et al., 2005). Os nanossistemas mais utilizados para transportar, proteger e liberar ingredientes ativos, são: nanopartículas poliméricas, lipossomas, nanopartículas lipídicas e nanoemulsões (MOGHIMI et al., 2005).

Nanopartículas poliméricas são sistemas coloidais compostos de polímeros sintéticos ou naturais, sendo nanocápsulas ou nanoesferas. Têm excelente biocompatibilidade e biodegradabilidade, além de poderem ser atóxicas. As nanocápsulas poliméricas de núcleo lipídico são constituídas por um fino invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo oleoso podendo o ativo estar dissolvido nesse núcleo e/ou adsorvido na parede polimérica (Pires, 2020). As nanoesferas não contém óleo na sua composição,

são formadas por um núcleo sólido, também conhecido por matriz polimérica, onde o ativo pode ficar retido ou adsorvido (MORA-HUERTAS et al., 2010).

A quitosana, a gelatina, o alginato e a albumina pertencem à classe dos polímeros naturais. Em comparação com os polímeros sintéticos, os polímeros naturais apresentam como desvantagem a dificuldade de reprodutibilidade lote a lote dos sistemas desenvolvidos. Os polímeros sintéticos mais comuns utilizados para a produção das nanopartículas são: poli(*ε*-caprolactona) (PCL), ácido polilático (PLA), poli(glicolídeo) (PLGA) ou poli(ácido lático-co-ácido glicólico) (PLA-co- PLGA). Além de ser um composto elementar para a produção das nanopartículas poliméricas, os polímeros, no caso das nanocápsulas, apresentam como finalidade a proteção do núcleo lipídico, auxiliando no controle da liberação do composto ativo nanoencapsulado (OLIVEIRA et al., 2017).

Os lipossomas são estruturas vesiculares esféricas com um núcleo aquoso delimitado por uma (unilamelares) ou mais (multilamelares) camadas fosfolipídicas (BATISTA et al., 2007). Pela sua semelhança com a membrana celular, eles são estruturas biocompatíveis e biodegradáveis e possibilitam a encapsulação de compostos lipofílicos e hidrofílicos (APOLINÁRIO et al., 2020). Similar a esse sistema, as micelas são estruturas anfílicas, compostas por componentes hidrofílicos e lipofílicos, com diâmetro entre 5 e 100 nm. A principal diferença entre eles é que possuem composições diferentes (HANAFY et al., 2018).

As nanopartículas lipídicas são divididas em 2 grupos: as nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) e os carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN). As nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) estão dispersas em uma fase aquosa estabilizada por agentes tensoativos. Essas nanopartículas têm capacidade de encapsular ativos lipofílicos com alta biodisponibilidade. Por outro lado, uma das suas desvantagens é a baixa eficiência de encapsulação e a baixa estabilidade física durante a estocagem devido ao alto teor de água (70 a 99%), que pode levar a vários problemas de estabilidade do produto (DIMER et al., 2013). Como alternativa a esse problema, os carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN) são produzidos com maior teor lipídico e incorporação de uma maior quantidade de ativo o que preserva a estabilidade física destes sistemas ao longo do tempo (DAUT et al., 2010; DIMER et al., 2013; APOLINÁRIO et al., 2020).

As nanoemulsões são caracterizadas como sistemas emulsionáveis constituídos basicamente de óleo, água e tensoativo. A emulsão simples pode ser classificada de duas formas: emulsão óleo em água (o/w) (a mais comum) ou água em óleo (w/o), em que o núcleo da partícula pode ser óleo ou água, respectivamente e têm um diâmetro de gotícula

muito pequeno, exibindo tamanhos inferiores a 200 nm (SALVIA-TRUJILLO et al., 2016). Devido ao tamanho das gotículas, alta estabilidade e baixa viscosidade, a razão entre a área superficial e o volume das nanoemulsões são significativamente maiores do que as das emulsões comuns (GUPTA et al., 2016). Além disso, apresentam a vantagem de veicular ativos hidrofílicos e lipofílicos na mesma formulação (YUKUYAMA et al., 2016).

A abordagem mais comum, na formulação, é a emulsificação de alta energia (SALVIA-TRUJILLO et al., 2016), utilizando dispositivos específicos (homogeneizadores de alta pressão e geradores de ultrassom e agitação de alto cisalhamento). Porém, o método de emulsificação de baixa energia, que aproveitam as propriedades físico-químicas intrínsecas dos componentes para promover a formação de gotículas ultrapequenas, tem sido bastante explorado (ANTON et al., 2009). O tamanho e a estabilidade das gotículas de óleo produzidas dependem do tipo e concentração de tensoativos e óleos utilizados, que devem, portanto, ser cuidadosamente otimizados (BOUCHEMAL et al., 2004).

Por possuírem facilidade em penetrar nas camadas fosfolipídicas das membranas plasmáticas e possuírem maior área de contato, as nanoemulsões tem sido utilizadas para potencializar e/ou reduzir a dose necessária de ingredientes ativos, o que pode reduzir sua toxicidade para o ambiente (IBRAHIM, 2020).

2.4. Nanotecnologia e proteção de cultivos

A produção mundial de alimentos enfrenta grandes desafios relacionados ao aumento da população, mudanças climáticas e demanda por recursos naturais. De acordo com o relatório *World Population Prospects 2022* da organização das Nações unidas (ONU), o mundo atingiu a marca de 8 bilhões de habitantes. Estima-se que a população mundial irá chegar a 10 bilhões até 2050, aumentando assim a procura por alimentos (FAO, 2017). Esta situação exige mudanças profundas no sistema de produção alimentar. Anualmente utiliza-se cerca de 4 milhões de toneladas de agroquímicos para produção da safra global, o que potencializa os riscos de contaminação ambiental e humana (KAH et al., 2019).

Assim, com base em suas propriedades em escala nanométrica, as nanopartículas possuem absorção otimizada, melhor solubilidade e estabilidade oferecendo vantagens de distribuição eficaz de substâncias devido à sua grande área de superfície, fácil fixação e rápida transferência de massa (RAWAT et. al., 2018). Prevê-se que tais alterações sejam mais potentes, requeiram doses de aplicação mais baixas e mantenham a produtividade, em comparação com produtos convencionais.

Diversos trabalhos têm demonstrado que os nanossistemas aumentam a bioeficácia dos agroquímicos, protegendo contra a degradação das moléculas e permitindo a liberação controlada dos ingredientes ativos, o que por sua vez reduz a quantidade total de pesticidas necessários para o controle de pragas e doenças e promove redução na toxicidade a organismos não-alvos (MULQUEEN, 2003).

Ao se utilizar a bifentrina nanoformulada, suas limitações como baixa solubilidade em água e risco de exposição transdérmica aos trabalhadores, foram superadas (LIU et al., 2008). O desenvolvimento do fungicida comercial nanoformulado (Trifloxistrobina 25% + Tebuconazol 50%) foi avaliado em diferentes concentrações contra *Macrophomina phaseolina* e apresentou melhor desempenho em comparação com o composto comercial (KUMAR et al., 2016). Algumas empresas comercializam agroquímicos em nanoescala, porém esses produtos são conhecidos no mercado como microemulsões (PRASSAD, 2017).

Devido as diversas vantagens da utilização dos nanossistemas aplicados de forma isolada, estruturada ou em conjunto com agroquímicos, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia abre novas aplicações potenciais na agricultura. Tais formulações possuem potencial de melhorar a performance do manejo de combate aos patógenos de plantas, otimizando a utilização do ingrediente ativo e aumentando o rendimento das culturas (POTI et al., 2020).

2.5. A cultura do Milho

A cultura do milho tem ocupado lugar de destaque no cenário global, sendo o cereal de maior volume de produção no mundo, superior a 1.2 bilhões de toneladas. Estados Unidos, China, Brasil e Argentina são os maiores produtores do grão (USDA 2023). Além de sua importância na cadeia produtiva de produção de carne, sua participação no mercado de biocombustível tem crescido no Brasil, possibilitando forte investimento no cultivo do cereal no país (CONAB 2022).

Na safra de 2021/2022, a colheita foi estimada em 116 mil toneladas, 33% superior ao ciclo passado. Houve aumento de 9,5% de área plantada e 21,7% em relação a produtividade. A segunda safra apresentou recorde de produção no país, 41,8% superior a safra passada, e o estado do Mato Grosso foi responsável por 48% desse montante (CONAB 2022).

O cultivo do milho em áreas altamente tecnificadas, possibilitado pela sucessão da soja e pela valorização da comercialização do grão, aumentou a área plantada bem como

a ampliou as épocas de plantio, levando ao aumento da produtividade da cultura (MIRANDA et al., 2021). Na última safra, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB 2022), a média da produtividade no país foi 5.248 Kg.ha⁻¹, com grande queda na produção, a depender da região, por motivos de veranico.

Com o aumento das áreas de cultivo de milho, nota-se aumento da incidência e da severidade de doenças na cultura, nas principais regiões produtoras do país (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2003). Tendo em vista o alto potencial produtivo do milho, o seu rendimento no Brasil ainda é muito baixo (UEBEL, 2015). Dentre as possíveis causas desse baixo rendimento estão as doenças, que em condições favoráveis podem comprometer seriamente a produção de grãos. Entre as principais doenças foliares destacam-se as que possuem fungos como agentes etiológicos, como mancha de bipolaris (*Bipolaris* sp.), mancha de diplodia (*Stenocarpella* spp.), mancha branca (*Phyllosticta maydis*, *Phoma* spp. e *Pantoea ananas*) e ferrugem de polissora (*Puccinia* spp.) (EMBRAPA, 2013).

A mancha de bipolaris foi detectada com alta severidade em alguns estados brasileiros, como Rondônia, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, em monitoramentos realizados pela Embrapa Milho e Sorgo (COSTA et al., 2014). A mancha de bipolares do milho é causada pelo fungo ascomiceto *Bipolaris maydis* (Teleomorfo: *Cochliobolus heterostrophus*). A colonização da planta pelo patógeno ocorre pela penetração da hifa germinativa, e esse fenômeno se dá por meio de aberturas naturais ou lesões. Este fitopatógeno provoca danos significativos nas plantas, em decorrência do mau funcionamento e da destruição dos tecidos fotossintéticos (COSTA et al., 2014). Todas as partes aéreas das plantas de milho são suscetíveis à infecção pelo fungo. Os sintomas são variáveis, dependendo do genótipo, das raças do fungo que estejam infectando as plantas. Geralmente iniciam com lesões pequenas e ovaladas. Essas lesões tornam-se alongadas quando maduras, desenvolvendo-se limitadas pelas nervuras, e apresentam coloração palha.

Sob condições favoráveis, em ambiente úmido e com temperaturas variando entre 18 e 26°C, os conídios produzidos em lesões maduras são disseminados para folhas ou plantas vizinhas pelo vento ou respingo de chuva e a germinação de esporos e penetração nos tecidos foliares ocorre em até seis horas, sendo possível a sobrevivência do fungo sobre restos culturais na forma de micélio. Em condição de elevada pressão da doença, pode ocorrer a coalescência das lesões, resultando na queima de todo o limbo foliar. Além disso, a ocorrência da doença é policíclica, portanto, é possível a ocorrência de mais de um ciclo do fungo ao longo do ciclo de vida do hospedeiro (COTA et al., 2013).

Dessa forma, torna-se primordial a utilização de medidas preventivas para evitar o desenvolvimento da doença como por exemplo, o uso de variedades resistentes, rotação de cultura, adubação equilibrada, uso de agrotóxicos e substâncias alternativas, menos nocivas ao ambiente e a saúde humana (FIGUEIREDO et al., 2010; PINHO et al., 2014).

2.6. A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância econômica, sendo o quarto produto entre os cereais e oleaginosas mais utilizados no consumo humano e o mais importante em produção e comercialização (FAO, 2019). Tal fato se justifica pela importância do produto tanto para o consumo animal, através do farelo da soja, quanto para o consumo humano, através do óleo e outros produtos.

A produção mundial na safra de 2021/2022 foi superior a 358 milhões de toneladas. Com produção estimada em 129.5 milhões de toneladas, o Brasil é o maior produtor mundial da leguminosa, com um crescimento de 4,9% de área plantada em relação à safra anterior (CONAB, 2022).

Responsável por cerca de 33% da produção nacional, o estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro de soja. A expansão para região norte-nordeste teve um acréscimo de 8% em relação à área da safra anterior (CONAB, 2022). Isso mostra a tendência de expansão de fronteira em regiões onde ainda há terras disponíveis e pela ocupação de terras de pastagens.

As condições favoráveis para cultivo da soja são encontradas em praticamente todo território brasileiro o que explica o sucesso dessa oleaginosa no país. Porém, muitos fatores interferem e limitam o potencial da cultura, como é caso das doenças que podem causar grandes reduções de produtividade nas lavouras (EMBRAPA, 2006).

As doenças estão entre os principais fatores que podem afetar a produção de soja. No Brasil foram identificadas mais de 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus na cultura da soja. Com a expansão da cultura para novas áreas, esse número tende a aumentar e dificultar ainda mais o manejo (Godoy et al., 2016). Devido as condições climáticas do cerrado, doenças como mancha alvo da soja (*Corynespora cassiicola*), cretamento foliar de cercospora (*Cercospora* spp.) e mancha parda (*Septoria glycines*), que comumente ocorrem na cultura de forma associada (GODOY et al., 2021), são comuns e acarretam grandes reduções de rentabilidade.

A mancha alvo da soja, ocorre em todas as regiões produtoras de soja do Brasil, podendo incidir em qualquer período e estágio fenológico e depende principalmente de alta

precipitação e suscetibilidade da cultivar (CASSETARI NETO; MACHADO SILVA, 2010). A alta diversidade genética fornece ao patógeno uma capacidade aprimorada de se adaptar a diferentes ambientes e infectar ampla gama de plantas, sendo que mais de 400 espécies de plantas hospedeiras foram relatadas (FARR & ROSSMAN 2020).

Os sintomas ocasionados pelo fungo surgem como pequenos pontos com halo amarelo e tornam-se circulares de coloração castanho-claro a castanho-escuro. Desfolha prematura, apodrecimento das vagens e intensas manchas nas hastes podem ocorrer em cultivares suscetíveis e em altas infestações da doença (SINCLAIR, 1982). O patógeno possui atividade saprofítica podendo estabelecer interações necrotróficas com a soja, extraindo nutrientes de folhas, caules, vagens e sementes e, em menor grau, raízes, ou mesmo sobrevivendo em relação endofítica com a cultura, dependendo das condições ambientais (LOPEZ et al., 2018; DÉON et al., 2012).

Por ser uma doença policíclica e o patógeno possuir ciclo reprodutivo curto, várias gerações são completadas em uma estação, sendo os restos culturais fonte do inóculo primário (MACKENZIE et al., 2018). Sua disseminação engloba processos de liberação, transporte e deposição do inóculo. A infecção é favorecida por prolongado período de molhamento foliar e altas temperaturas (LOPEZ et al., 2018).

O crestamento foliar de cercospora faz parte de um complexo de doenças comumente conhecidas como doenças de final de ciclo e que compreende as doenças mancha parda (*S. glycines*) e mancha olho de rã (*Cercospora sojina*). Regiões mais quentes e chuvosas do cerrado possuem maior ocorrência do patógeno (ALMEIDA, 1997). O fungo *Cercospora kikuchi*, apresenta como característica severo crestamento e desfolha prematura e, além disso, causa o sintoma conhecido como mancha púrpura da semente, reduzindo a qualidade e germinação (ALMEIDA, 1997).

A mancha parda, conhecida também como septoriose, é uma das doenças mais difundidas pelo mundo e causa maiores danos em regiões mais quentes e chuvosas. O clima úmido, intercalado por períodos secos e com ventos favorecem a esporulação do fungo e sua disseminação, sendo o inóculo primário originado nos restos culturais e sementes infectadas (BALARDIN et al 2001).

Os sintomas iniciais geralmente aparecem duas semanas após a emergência das plântulas, com pequenas pontuações pardas, as manchas evoluem e possuem como característica um halo amarelado de contornos irregulares castanho-avermelhadas, que em alta severidade da doença, principalmente, na fase de enchimento de vagens pode acarretar desfolha e maturação precoce (CRUZ, et al., 2010; GODOY, 2016).

2.7. Métodos de controle de doenças

Como estratégias de manejo, têm-se a eliminação ou redução das fontes de inóculo. Práticas como espaçamento adequado, aquisição de sementes saudáveis, rotação de culturas, plantio de variedades resistentes e aplicação de fungicidas, são recomendadas para impedir que as doenças se alastrem dificultando seu controle (DIAS; PINHEIRO; CAFÉ-FILHO, 2016).

O uso do controle químico no manejo de doenças é uma das formas de garantir rentabilidade em um sistema de produção sujeito à incidência de patógenos (KIMATI, 1996). Em cultivares suscetíveis, a utilização de fungicidas são tradicionalmente indicados para controle da doença (SOUZA, 2009). No ano de 2020, de todo volume de defensivos aplicados no Brasil, 20% foram destinados ao uso de fungicidas, sendo a cultura da soja, responsável 55% do total de defensivos utilizados (SINDIVEG 2020).

A pequena quantidade do agroquímico que atinge o alvo (CARRIGER et al., 2006) e a constante utilização do método químico para controle de doenças, tem resultado na seleção de fungos fitopatogênicos resistentes, gerando como consequências, intensificação das aplicações e aumento das doses dos fungicidas, aumento dos custos de controle, contaminações ambientais e resíduos em alimentos (KIMATTI, 1996; POTI et al., 2020). Novas estratégias de controle têm sido propostas a fim de melhorar a produção agrícola e controlar os patógenos de forma mais sustentável.

A utilização de substâncias que podem atuar de forma direta ou indireta sobre os mecanismos de defesa das plantas pode induzir mecanismos de resistência nas plantas (STEVENS et al. 1996; WISNIEWSKI et al., 1991). Além disso, o fornecimento dos ingredientes ativos de forma prolongada possibilitaria maior efetividade no combate ao fitopatógeno, reduzindo a quantidade total de agroquímicos necessários para o controle de pragas e doenças, diminuindo a toxicidade a organismos não-alvos.

Dessa forma, formulações desenvolvidas na escala nanométrica, baseadas em suas novas e incomuns propriedades físicas e químicas e que, geralmente, estão ausentes para o mesmo material, quando de tamanho micro ou macroscópico, podem ajudar no do manejo de combate aos fitopatógenos.

3. REFERÊNCIAS

- Anton, N., and Vandamme, T. F. (2011). Nano-emulsions and micro-emulsions: clarifications of the critical differences. *Pharm. Res.* 28, 978–985.
- Almeida, A.M.R.; Ferreira, L. P.; Yorinori, J.T.; Silva, J.F.V.; Henning, A.A. (1997). Doenças da soja (*Glycine max* L.). Manual de Fitopatologia. Vol. 2. Doenças das Plantas Cultivadas. São Paulo: Ceres. p. 376-399.
- Apolinário, A. C. *et al.* (2020). Abrindo a caixa de Pandora dos nanomedicamentos: há realmente muito mais ‘espaço lá embaixo’. *Química Nova*, v. 42, n. 2, p. 1-14.
- Balardin, R. S. & Giordani, R. F. (2001). Controle de oídio e doenças de final de ciclo na cultura da soja. Santa Maria: 57p.il.
- Batista, C. M.; de Carvalho, C. M. B.; Magalhães, N. S. S. (2007). Lipossomas e suas aplicações terapêuticas: Estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 43, n. 2, p.167-179.
- Barzotto, Anderson. (2019). Piraclostrobina Nanoestruturada no Controle de Antracnose em Pepino (*Cucumis sativus*). Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal De Mato Grosso. Sinop – MT.
- Bisognin, E.; Zanella, I.; Fagan, S. B.; Bisognin, V. (2012). Ensino e Aprendizagem de Conceitos Matemáticos Relacionados à Nanociência por meio da Modelagem Matemática. *Acta Scientiae (ULBRA)*, v. 14, p. 200-214.
- Boisseau, P; Loubaton B. (2011). Nanomedicine: nanotechnology in medicine. *Comptes Rendus Physique*. n.12, p.620–636, 2011.
- Bouchemal, K., Briançon, S., Perrier, E., Fessi, H. (2004). Nano-emulsion formulation using spontaneous emulsification: solvent, oil and surfactant optimization. *International Journal of Pharmaceutics* 280, 241-251.
- Braiteh, F.; Patel, M. B.; Parisi, M.; Ni, Q.; Park, S.; Faria, C. (2017). Comparative effectiveness and resource utilization of nab-paclitaxel plus gemcitabine vs FOLFIRINOX or gemcitabine for the first-line treatment of metastatic pancreatic adenocarcinoma in a US community setting. *Cancer Management and Research*.v. 9 p. 141-148.
- Cassetari Neto, D.; Machado, A.Q.; Silva, R.A. (2010). Doenças da soja. São Paulo: Cheminova Brasil. 57p.
- Chausali. N., Jyoti, S., Ram, P. (2022). Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging, *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 7, 100257, ISSN 2666-1543.
- Campanha Nacional de Abastecimento (CONAB) (2022). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, In: safra 2021/2022 Décimo Segundo levantamento. Brasília.

Cruz, C. D., Mills, D., Paul, P. A., Dorrance, A. E. (2010). Impact of brown spot caused by *Septoria glycines* on soybean in Ohio. *Plant Dis.* v. 94 (7), p.820–826.

Daudt, R. M. et al. (2013). A nanotecnologia como estratégia para o desenvolvimento de cosméticos. *Ciência e Cultura*, v. 65, n. 3, p. 28-31.

Déon, M., Bourré, Y., Gimenez, S., Berger, A., Bieysse, D., de Lamotte, F., Poncet, J., Roussel, V., Bonnot, F., Oliver, G., Franchel, J., Seguin, M., Leroy, T., Roeckel-Drevet, P., & Pujade-Renaud, V. (2012). Characterization of a cassiicolin-encoding gene from *Corynespora cassiicola*, pathogen of rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Plant Science*, v.185–186, p.227–237.

Dias, M. D., Pinheiro, V. F. & Café-Filho, A. C. (2016). Impact of anthracnose on the yield of soybean subjected to chemical control in the north region of Brazil. *Summa Phytopathologica*, v. 42, p. 18–23.

Dimer, F. A. et al. (2013). Impactos na nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1520-1526.

Drexler, K. E. (1981). Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 78(9), 5275-5278.

Eigler, D. M.; Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature*, v. 344, n. 6266, p. 524-526.

Ellwanger, A.; Rossato, J.; Granada, M. A.; Bortoluzzi, V. Fagan, S. B. (2012). O Ensino de Nanociências por meio de Objetos de Aprendizagem. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 10, p. 1-10.

FAO (Food and Agriculture Organization) (2019) Food and agriculture data. Available at: <http://www.fao.org/> [accessed Set 2021].

FAO (Food and Agriculture Organization) (2017). The Future of Food and Agriculture “Trends and Challenges”

Farr, D. F., & Rossman, A. Y. (2020) Fungal Databases. U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. Internet resource: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/> (verified Jun 10, 2020).

Feynman. R., (1959). There's Plenty of Room at the Bottom. Vol. 1, No. i. pp. 60-66.

Freestone, I.; Meeks, N.; Sax, M.; Higgitt, C. (2007). The Lycurgus Cup – A Roman Nanotechnology. *Gold Bulletin*, v. 40/4, p. 270-279.

Gupta, A., Eral, H. B., Hatton, T. A., and Doyle, P. S. (2016). Nanoemulsions: formation, properties and applications. *SoftMatter* 12, 2826–2841.

Hanafy, N.; El-Kemary, M.; Leporatti, S. (2018). Micelles Structure Development as a Strategy to Improve Smart Cancer Therapy. *Cancers*, v. 10, n. 7, p. 238.

Ibrahim, S. S. (2020). “Nanoformulações de óleo essencial como um novo método para controle de pragas de insetos na horticultura”, em *Horticultural Crops*, eds HK Baimey, N. Hamamouch e YA Kolombia (Londres: IntechOpen Limited), 10.5772, p.1–14.

Kah, M., Tufenkji, N., White, J.C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nat. Nanotechnol.* v. 14, p. 532–540.

Khan, M.R.; Rizvi, T.F. (2014). Nanotechnology: Scope and application in plant disease management. *Plant Pathol. J.* 13, 214–231.

Knell, M. (2010). “Nanotechnology and the sixth technological revolution,” in *Nanotechnology and the Challenges of Equity, Equality and Development*, eds S. E. Cozzens and J. M. Wetmore (Dordrecht: Springer), 127–143.

Kumar, G.D., Natarajan, N., Nakkeeran, S. (2016). Antifungal activity of nanofungicide Trifloxystrobin 25%+ Tebuconazole 50% against *Macrophomina phaseolina*. *Afr. J. Microbiol. Res.* v.10, p.100–105.

Liu, Y., Tong, Z., and Prud'homme, R.K. (2008). Stabilized polymeric nanoparticles for controlled and efficient release of bifenthrin. *Pest Manag. Sci.*, v.64, p.808–812.

Lopez, D., Ribeiro, S., Label, P., Fumanal, B., Venisse, J. S., Kohler, A., de Oliveira, R. R., Labutti, K., Lipzen, A., Lail, K., Bauer, D., Ohm, R. A., Barry, K. W., Spatafora, J., Grigoriev, I. V., Martin, F. M., & PujadeRenaud, V. (2018). Genome-wide analysis of *Corynespora cassiicola* Leaf fall disease putative effectors. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, p. 1–21.

MacKenzie, K. J., Sumabat, L. G., Xavier, K. V., & Vallad, G. E. (2018). A review of *Corynespora cassiicola* and its increasing relevance to tomato in Florida. *Plant Health Progress*, v. 19, p. 303–309.

Marcone, G. P. S. (2015). Nanotecnologia e nanociência: Aspectos gerais, aplicações e perspectivas no contexto do Brasil. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v. 7, n.2.

Mattos, B. D.; Tardy, B. L.; Magalhães, W. L. E.; Rojas, O. J. (2017). Controlled release for crop and wood protection: recent progress toward sustainable and safe nanostructured biocidal systems. *J. Control. Release* v. 262, p. 139-150.

Mulqueen, P. (2003). Recent advances in agrochemical formulation. *Adv. Colloid Interf.Sci.* v.106, p.83–107.

Moghimi, S. M.; Hunter, A. C.; Murray, J. C. (2005). Nanomedicine: current status and future prospects *The FASEB Journal*, 19, 311.

Mora-Huertas, C. E. H.; Fessi, H.; Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 385, p.113-142.

Oliveira, L. T. et al. (2017). Impact of dose and surface features on plasmatic and liver concentrations of biodegradable polymeric nanocapsules. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 105, p. 19–32.

Pires, J.; Conceição, A. G. B.; Costa, S. A.; Silva, K. P.; Ferrarini, S. R.; Andrade, C. M. B. (2020). Avaliação da citotoxicidade de nanocápsulas poliméricas de núcleo lipídico contendo óleo de pequi (*Caryocar brasiliense Cambess*) como agente estruturante. Revista Panorâmica. ISSN 2238-9210. p. 21 – 38.

Poti, T., Mahawan, K., Cheewangkoon, R., Arunothayanan, H., Akimitsu, K. & Nalumpang, S. (2020). Detection and molecular characterization of carbendazim-resistant *Colletotrichum truncatum* isolates causing anthracnose of soybean in Thailand. Journal of Phytopathology, v.168, p.267–278.

Prasad R, Bhattacharyya A and Nguyen Q. D. (2017). Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. Front. Microbiol. 8:1014. Páginas? Volume? Número?

Rai, M., Ingle, A. (2012). Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. Appl Microbiol Biotechnol, v. 94, p.287–293.

Ramos D., Almeida, L. (2017). Nanomaterials in Textiles and its Implications in Terms of Health and Safety. Arezes et al. (Eds), Occupational Safety and Hygiene V, Taylor & Francis Group, London, p.163- 168.

Reibold, M.; Paufler, P.; Levin, A. A.; Kochmann, W.; Patzke, N.; Meyer, D. C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. Nature, v. 444, p. 286.

Salvia-Trujillo, L., Martin-Belloso, O., e Julian McClements, D. (2016). Nanoemulsões de excipientes para melhorar a biodisponibilidade oral de bioativos. Nanomateriais, v.6, p.1–16.

Sia, P. D. (2017). Nanotechnology among innovation, health and risks. Procedia - Social and Behavioral Sciences. v.237, p.1076 – 1080.

Silva G. A. A (2018). New Frontier: The Convergence of Nanotechnology, Brain Machine Interfaces, and Artificial Intelligence. Frontiers in neuroscience, v.12, p.843.

SINDIVEG (Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal) 2020. O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2021/11/bxresolucao.pdf> (acessado em out 2022).

Souza, R.T. (2009). Reação de cultivares e controle da antracnose em soja. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS. 106 f, 2009.

Stevens, C., Wilson, C., Lu, J., et al. (1996). Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. Crop Protection, v.15, n.2, p.129-134.

Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Rehman, H., Ashraf, I., Sanauallah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. Science of The Total Environment, v. 721.

Yukuyama, M. N., Ghisleni, D. D. M., Pinto, T. J. A., Bou-Chacra, N. A. (2016). Nanoemulsion: process selection and application in cosmetics – a review. *International Journal of Cosmetic Science*, v.38, p. 13-24.

Wisniewski, M., Boles, C., droby, S., et al. (1991). Mode of action of the postharvest biocontrol yeast, *Pichia guilliermondii*. I. Characterization of attachment t *Botrytis cinerea*. *Physiol Mol plant Pathol*, v.39, p.245-258.

CAPÍTULO 2 – NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE SOJA

RESUMO: A incidência de patógenos está entre os principais fatores que podem afetar a produtividade das culturas. Dessa forma, o objetivo desse estudo consiste na utilização de um nanossistema utilizado de forma isolada ou em mistura física com fungicidas, com intuito de melhorar a performance do manejo e aumentar o rendimento da cultura da soja. Para isso, diferentes nanossistemas foram desenvolvidos e uma nanoemulsão foi selecionada, caracterizada e testada em dois experimentos conduzidos na safra de soja de 2021/2022, em Sorriso/MT e Ipiacu/MG. O delineamento experimental utilizado foi bloco casualizado, com seis repetições. Os tratamentos empregados foram: T1: Testemunha, T2: Nanoemulsão, T3: Fungicida, T4: Fungicida + agProtect, T5: Nanoemulsão + Fungicida e T6: Nanoemulsão + Fungicida + agProtect. As variáveis analisadas foram índice de severidade da doença, Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), eficácia relativa de controle e incidência de fitopatógenos nas sementes. Para o experimento conduzido em MG, foi realizado a análise de rendimento dos grãos. As comparações das médias foram analisadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software RBio. A nanoemulsão se mostrou estável, apresentando perfil monomodal, sem presença de micropartículas após 30 dias do seu desenvolvimento. Em Sorriso-MT, houve incidência de mancha alvo (*Corynespora cassiicola*), porém com baixa severidade. Na AACPD os tratamentos T4, T5 e T6 obtiveram melhor resultado. A melhor eficácia de controle, em relação a testemunha, foi de 33,18% no T4. Também se observou incidência de mancha parda (*Septoria glycines*) na mesma área e os tratamentos contendo fungicida apresentaram a menor AACPD. A melhor eficácia de controle em relação à testemunha foi obtida no T6 (64,24%). Foram identificados fitopatógenos associados as sementes como: *Rhizopus*, *Aspergillus* e *Penicillium*, onde a testemunha e os tratamentos contendo nanoemulsão apresentaram menor incidência destes fitopatógenos. Além destes, *Fusarium* sp., *Phomopsis* sp., *Macrophomina* sp. e *Colletotrichum* sp., que não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. No experimento de Ipiacu-MG, a doença de ocorrência foi míldio (*Peronospora manshurica*). Na análise da AACPD, T6 apresentou melhor resultado, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, além disso, também obteve a melhor resposta de eficácia (10,36%) em relação a testemunha. Em relação ao rendimento, o tratamento apenas com nanoemulsão foi melhor quando

comparado aos demais. Com base nos resultados, a utilização de uma nanoemulsão melhora o controle de fitopatógenos na cultura da soja.

Palavras-chaves: *Corynespora cassiicola*, Nanoemulsão, *Peronospora manshurica*, *Septoria glycines*.

ABSTRACT_ The incidence of pathogens is among the main factors that can affect crop productivity. On this way, the goal of this study was to use a nanosystem – alone or in a physical mixture with fungicides, to improve the management performance and increase the soybean yield. For this, different nanosystems were developed and a nanoemulsion was selected, characterized, and tested in experiments performed on soybean season 21/22, in Sorriso/MT and Ipiaçu/MG. The experimental design was randomized blocks, with six replicates. The treatments were: T1: Control, T2: Nanosystem, T3: Fungicide, T4: Fungicide + agProtect, T5: Nanoemulsion + Fungicide and T6: Nanoemulsion + Fungicide + agProtect. Variables analyzed were the disease severity index, Area Under the Disease Progression Curve (AUDPC), relative control efficacy and incidence of phytopathogens in seeds. Besides, for the experiment conducted in MG, grain yield analysis was also performed. Comparisons of means were analyzed using Scott-Knott test at a 5% probability level, using the RBio software. The nanoemulsion was stable, with a monomodal profile, without the presence of microparticles, after 30 days after its development. In Sorriso-MT, there was an incidence of target spot (*Corynespora cassiicola*), but with low intensity. The AUDPC of treatments T4, T5 and T6 obtained better results and the best control efficiency, in relation to the control, was 33.18%, in T4. Incidence of brown spot (*Septoria glycines*) was also observed in the same area, treatments containing fungicide showed lower AUDPC. The best control efficiency in relation to the control was obtained in T6 (64.24%). Phytopathogens associated with seeds such as: *Rhizopus*, *Aspergillus* and *Penicillium* were identified, where the control and treatments containing nanoemulsion had a lower incidence of these phytopathogens. Besides these, *Fusarium* sp., *Phomopsis* sp., *Macrophomina* sp. and *Colletotrichum* sp., which showed no statistical difference between treatments. In the experiment in Ipiaçu-MG, the disease of occurrence was downy mildew (*Peronospora manshurica*). For the AUDPC analysis, T6 presented the best result, differing statistically from the other treatments, in addition, it also obtained the best efficacy response (10.36%) in relation to the control. Regarding the yield, the treatment with the nanoemulsion alone

was the best compared to others. To finish, based on the presented results, the use of a nanoemulsion was able to improve the performance of soybean pathogen control.

Keywords: *Corynespora cassiicola*, Nanoemulsion, *Peronospora manshurica*, *Septoria glycines*

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal oleaginosa produzida e consumida no mundo, sendo de grande importância tanto para consumo animal quanto para o consumo humano. A produção mundial na safra de 2021/2022 foi superior a 358 milhões de toneladas. O Brasil teve uma participação de 129.5 milhões de toneladas, sendo o maior produtor mundial do grão (USDA 2023) onde o estado do Mato Grosso se destaca, sendo responsável por quase 40 milhões de toneladas desse montante (CONAB, 2022).

As condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura, contribuem para que a soja seja cultivada em praticamente todo território brasileiro. Porém, muitos fatores interferem e limitam o potencial da cultura, como é caso do uso intensivo de insumos e a manutenção de um sistema contínuo de sucessão com soja-milho, que afeta a prevalência e a intensidade das doenças (EMBRAPA, 2006).

A incidência de patógenos está entre os principais fatores que podem afetar a produtividade da cultura, sendo que o uso de fungicidas tornou-se a medida de controle mais utilizada para proteger o potencial produtivo da lavoura (EMBRAPA, 2006).

Em 2020, 20% do volume de defensivos aplicados foi referente ao uso de fungicidas, sendo que destes, 55% foram destinados para cultura da soja (SINDIVEG). A constante utilização do método químico para controle de doenças tem resultado na seleção de fungos fitopatogênicos resistentes, gerando como consequências, intensificação das aplicações e aumento das doses dos fungicidas, aumento dos custos de controle, contaminações ambientais e resíduos em alimentos (KIMATTI, 1996; POTI et al., 2020).

Neves e colaboradores (2022) demonstraram que 47,5% dos isolados de *Septoria glycines* testados, eram resistentes aos fungicidas que contêm ingredientes ativos inibidores externos de quinona (QoI). Também foi relatada a resistência completa de isolados de *Corynespora cassiicola* à estrobilurinas em alguns estados produtores de soja (GODOY et al., 2020; FRAC, 2020) e da baixa eficiência do carbendazim para controle da mancha alva (*C. cassiicola*) (GODOY, 2016b; EDWARDS MOLINA et al, 2019b).

Novas estratégias de controle têm sido propostas a fim de melhorar a produção agrícola e controlar os fitopatógenos de forma mais sustentável. O fornecimento dos ingredientes ativos de forma prolongada possibilitaria maior efetividade no combate ao patógeno, reduzindo a quantidade total de agroquímicos necessários para o controle de pragas e doenças, diminuindo a toxicidade a organismos não-alvos.

Nesse contexto, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia compõe novas aplicações potenciais na agricultura sendo projetadas para resolver os problemas enfrentados no setor agrícola, como ineficiência na entrega e utilização do ingrediente ativo, implicações ambientais e maior pressão seletiva sobre os patógenos (POTI et al., 2020). Assim, com base em suas propriedades diferenciadas pela escala nanométrica, as nanopartículas possuem absorção melhorada, melhor solubilidade e estabilidade oferecendo vantagens de distribuição eficaz de substâncias devido à sua grande área superficial, fácil fixação e rápida transferência de massa (RAWAT et al., 2018).

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de nanossistema formulado pela técnica de emulsificação espontânea, utilizando ativo de origem natural isolado ou em mistura física com fungicidas para o controle de doenças da cultura da soja e no rendimento da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Desenvolvimento e caracterização do nanossistema

Diferentes nanossistemas foram desenvolvidos pela Universidade Federal de Mato Grosso e destes, uma nanoemulsão foi selecionada, por questões de escalonamento da tecnologia. A técnica utilizada na formulação foi a emulsificação espontânea utilizando homogeneização de alta energia.

A nanoemulsão (NE) foi caracterizada quanto ao seu diâmetro de esfera equivalente (D4-3), distribuição do tamanho de partícula (Span) por difração de laser (Mastersizer 2000®), diâmetro médio das nanopartículas (Z-Average), índice de polidispersão (PDI) por espalhamento de luz dinâmico (Nanosizer®) e quanto ao potencial zeta (Zetasizer®). Foi avaliado a estabilidade das estruturas no intervalo de 0 a 30 dias após desenvolvimento quanto ao seu pH e diâmetro médio (D4,3).

2.2. Áreas experimentais

Os experimentos foram conduzidos na safra de soja de 2021/2022 em dois locais distintos. O primeiro local foi na estação experimental da Helix sementes, localizado na

Rodovia MT 242 Km 19, S/N Sentido Ipiranga do Norte, Zona Rural, Sorriso, MT. O tipo de solo é classificado como latossolo de textura argilosa com 3% de matéria orgânica. Adubação de base feita com 200kg por hectare de 04-30-10, sendo semeado no dia 12/10/2021 soja [*Glycine max* (L.) Merrill] do cultivar EXTRA-74178-IPRO (BRASMAX) com hábito de crescimento indeterminado, com regulação para 20 sementes por metro linear.

O segundo experimento foi conduzido na fazenda Lagoinha em Ipiacaçu, MG. O tipo de solo é classificado como latossolo de textura argilosa com 3% de matéria orgânica. Foi realizado adubação de base com 350kg por hectare de 04-20-10 e semeado a variedade de soja BÔNUS-8579-IPRO (BRASMAX) hábito de crescimento indeterminado, com regulação para 16 sementes por metro linear. A colheita e coleta dos dados de produtividade foram realizados no dia 28/02/2022. Os valores de temperatura e precipitação registrados ao longo dos experimentos se encontram no Anexo 1.

2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizado (DBC), com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 parcelas. Cada parcela foi composta por 6 linhas com 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,5m, totalizando uma área de 15m². A área útil de cada parcela foi constituída por duas linhas centrais de 3m de comprimento. As práticas culturais empregadas na condução do ensaio foram padrões em todos os tratamentos, exceto os programas de aplicação de fungicida.

Os tratamentos empregados foram: T1-Testemunha (sem aplicação de fungicidas), T2- Nanoemulsão, T3- Fungicida, T4- Fungicida + agProtect, T5- Nanoemulsão + Fungicida e T6- Nanoemulsão + Fungicida + agProtect. Para as pulverizações, utilizou-se de equipamento costal movido a CO₂ calibrado para uma vazão de 150 litros por hectare. Os fungicidas utilizados, as doses aplicadas e as épocas de aplicação estão apresentadas na Tabela 1.

O produto comercial, agProtect®, da empresa Agrocere Binova, é registrado como fertilizante mineral misto, contém em sua bula as garantias de 0,20% de Boro (ácido bórico), 3,10% de Cobre (fosfito de Cu e sulfato de Cu), 1,70% de Enxofre, aminoácidos e poliflavonóides.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos, dosagem e época de aplicação nas duas áreas experimentais.

Área 1_Sorriso-MT

Tratamentos	Descrição	Dosagem (L p.c ha ⁻¹)	Época de aplicação	Data Aplicação
T1- Testemunha	Testemunha	---	---	---
T2- Nanoemulsão	Nanoemulsão (NE)	1.3	30 DAE	11/11/2021
			R3	25/11/2021
			R5	08/12/2021
T3-Fungicida	Score Flexi (Propiconazol e Difenconazol)	0.15	30 DAE	11/11/2021
	Ativum (Epoconazol, Fluxapiraxade e Piraclostrobina)	1	R3	25/11/2021
	Vessarya (Picoxistrobina e Benzovindiflupir)	0.6	R5	08/12/2021
T4- Fungicida + agProtect	Score Flexi + agProtect	0.15 + 0.5	30 DAE	11/11/2021
	Ativum + agProtect	1 + 0.5	R3	25/11/2021
	Vessarya + agProtect	0.6 + 0.5	R5	08/12/2021
T5- Nanoemulsão + agProtect	NE + Score Flexi	1.3 + 0.15	30 DAE	11/11/2021
	NE + Ativum	1.3 + 1	R3	25/11/2021
	NE + Vessarya	1.3 + 0.6	R5	08/12/2021
T6- Nanoemulsão + Fungicida + agProtect	NE + Score Flexi + agProtect	1.3+ 0.15 + 0.5	30 DAE	11/11/2021
	NE + Ativum + agProtect	1.3 + 1 + 0.5	R3	25/11/2021
	NE + Vessarya + agProtect	1.3 + 0.6 + 0.5	R5	08/12/2021
Área 2- Ipiáçu-MG				
T1- Testemunha	Testemunha	---	---	---
T2- Nanoemulsão	Nanoemulsão (NE)	1.3	30 DAE	29/11/2021
			R2	24/12/2022
			R4	17/01/2022
			R5.2	01/02/2022

T3-Fungicida	Score Flexi (Propiconazol e Difenconazol)	0.15	30 DAE	29/11/2021
	Fox Xpro (Bixafen, Protioconazol e Trifloxistrobina)	0.5	R2	24/12/2022
	Orkestra (Piraclostrobina e Fluxapiroxade)	0.3	R4	17/01/2022
	Aproach Prima (Picoxistrobina e Ciproconazol)	0.3	R5.2	01/02/2022
T4- Fungicida + agProtect	Score Flexi + agProtect	0.15 + 0.5	30 DAE	29/11/2021
	Fox Xpro + agProtect	0.5 + 0.5	R2	24/12/2022
	Orkestra + agProtect	0.3 + 0.5	R4	17/01/2022
	Aproach Prima + agProtect	0.3 + 0.5	R5.2	01/02/2022
T5- Nanoemulsão + Fungicida	NE + Score Flexi	1.3 + 0.15	30 DAE	29/11/2021
	NE + Fox Xpro	1.3 + 0.5	R2	24/12/2022
	NE + Orkestra	1.3 + 0.3	R4	17/01/2022
	NE + Aproach Prima	1.3 + 0.3	R5.2	01/02/2022
T6- Nanoemulsão + Fungicida + agProtect	NE + Score Flexi + agProtect	1.3 + 0.15 + 0.5	30 DAE	29/11/2021
	NE + Fox Xpro + agProtect	1.3 + 0.5 + 0.5	R2	24/12/2022
	NE + Orkestra + agProtect	1.3 + 0.3 + 0.5	R4	17/01/2022
	NE + Aproach Prima + agProtect	1.3 + 0.3 + 0.5	R5.2	01/02/2022

2.4. Avaliações de doenças

Antes de iniciar as aplicações, foram marcadas 10 plantas nas duas linhas centrais, que foram utilizadas em todas as análises. A severidade foi avaliada na planta inteira, sendo a doença de ocorrência natural na área experimental.

O índice de severidade de doença (estimativa visual da % de área foliar lesionada (AFL)) foi obtido segundo a escala para mancha alvo (SOARES et al., 2009) (Figura 2) e escala para doenças de final de ciclo (MARTINS et al., 2004) (Figura 3). A partir dos valores da AFL, foi calculado a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), utilizando a equação proposta por Campbell & Madden (1990):

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{(i+1)})/2](t_{(i+1)} - t_i)$$

Onde, n é o número de avaliações, x é a proporção da área foliar lesionada no tempo t_i e $(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

Em função da AACPD, calculou-se a eficácia relativa dos programas pela fórmula de ABBOTT (1925), onde a eficiência de controle (EC%) = (severidade da testemunha - severidade da parcela tratada) / severidade da testemunha * 100. As avaliações de severidade da doença foram realizadas a partir da 1ª aplicação dos tratamentos, de acordo com a incidência, severidade e predominância de cada alvo.

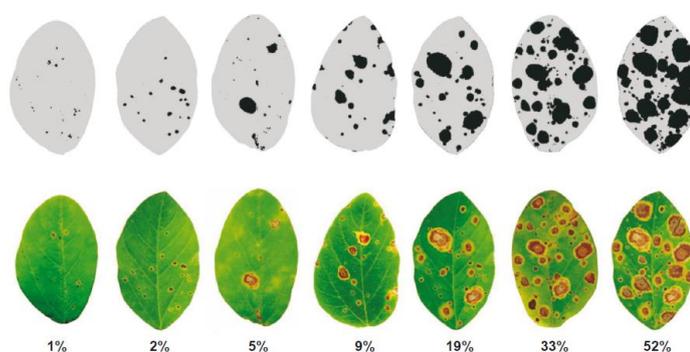


Figura 2. Escala de severidade utilizada para avaliação de mancha branco (*Corynespora cassicola*) na cultura da soja (SOARES et al., 2009).

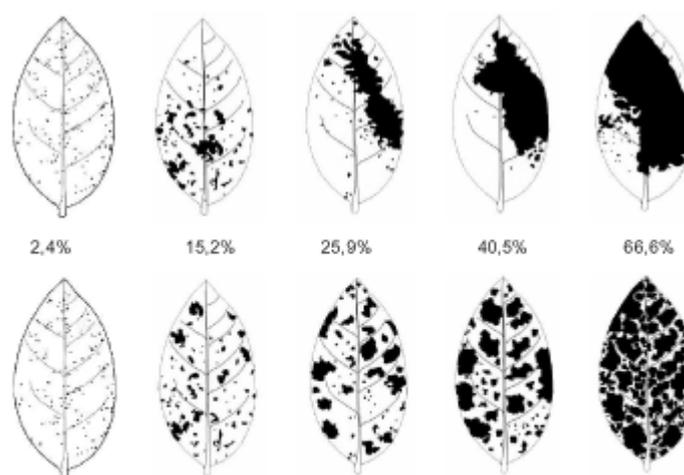


Figura 3. Escala de severidade utilizada para avaliação de doenças de final de ciclo na cultura da soja (MARTINS et al., 2004). Painel superior: sintomas agregados e painel inferior, sintomas distribuídos aleatoriamente.

2.5. Sanidade de Sementes

Para a avaliação da qualidade sanitária dos grãos, foi realizado o teste segundo as normas do MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2019). Para isso,

foram seguidos os procedimentos propostos por Lanza et al. (2016), onde as amostras foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2% durante cinco minutos e colocadas em caixas gerbox contendo três lâminas de papel filtro umedecidas com ágar-água 5%, que foram previamente esterilizadas a 121°C por 20 minutos e colocados em gerbox. Após isso, esse material foi incubado em estufa BOD a 25°C e fotoperíodo de 12 horas, por sete dias.

Para a identificação dos fitopatógenos as sementes foram analisadas uma a uma após o período de incubação, e os microrganismos associados identificados, com auxílio de microscópio estereoscópico e óptico, e bibliografia especializada (BARNETT; HUNTER, 1999; HENNING, 2015).

2.6. Análise de rendimento

Foi realizada a colheita manual da área útil de cada parcela, sendo trilhada com auxílio de trilhadora estacionária. Após a pesagem e determinação de umidade, a produtividade foi determinada com a umidade ajustada a 13%. A massa obtida dos grãos de cada parcela, foram convertidas em sacas de 60 kg por hectare (sc ha⁻¹).

2.7. Análise Estatística

Os dados obtidos das avaliações foram submetidos à análise de variância, sendo que os valores relativos à severidade foram, previamente, transformados em $\arcsen\sqrt{x}/100$. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software RBio (Bhering, 2017).

3. RESULTADOS

Em relação a nanoemulsão, a formulação se mostrou estável por período superior a 30 dias, apresentando perfil monomodal, sem presença de micropartículas mesmo após 90 dias após o desenvolvimento da nanoemulsão (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização físico-química da nanoemulsão (NE).

Formulação	Difração de laser		PCS (método dos cumulantes)		Potencial zeta (γ)	pH
	D4-3 (μm)	Span	d_h (Z-average) (nm)	PDI (adimensional)		
NE	0,168±0,57	1,62±0,00	190,8±0,60	0,114±0,01	-22,23±1,00	6,28

Diâmetro de esfera equivalente (D4-3), distribuição do tamanho de partícula (Span) por difração de laser (Mastersizer 2000®), diâmetro médio das nanopartículas (Z-Average), índice de polidispersão (PDI) por espalhamento de luz dinâmico (Nanosizer®) e potencial zeta (Zetasizer®).

No ensaio conduzido em Sorriso-MT, as doenças identificadas foram mancha alva (*C. cassiicola*) e mancha parda (*S. glycines*). A partir do estágio reprodutivo de R3 (início do desenvolvimento das vagens), foi possível identificar a incidência de *C. cassiicola* na área, porém apenas a partir da 3ª avaliação, realizada em R5.4 (granação de 51 a 75%), os tratamentos começaram a se diferir, onde T1 e T3 apresentaram severidade superior aos demais tratamentos (Tabela 3). Para as avaliações realizadas em R5.5 (final da granação) e R6 (vagem cheia), T1, T2 e T3 mostraram severidade superior aos demais.

Além disso, é possível observar que o comportamento dos tratamentos é diferente ao longo do tempo. Quando submetido ao T2, a severidade se mostra progressiva, diferindo estatisticamente em todas as avaliações. Para T4 e T5, não houve diferença estatística nas avaliações de severidade realizadas entre R5 à R5.5, mostrando maior estabilidade da severidade nesse período (Tabela 3).

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de T1, T2 e T3, foi superior que os demais tratamentos. A melhor eficácia de controle, em relação a testemunha, foi de 33,18% obtida no T4 (Tabela 3).

Tabela 3. Severidade (%), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e eficácia de controle (%) em relação a testemunha, para mancha alva (*Corynespora cassiicola*). Estação de Pesquisa da Helix Sementes, Sorriso-MT. Safra de soja 2021/22.

Tratamentos	Severidade de mancha alva (<i>C. cassiicola</i>) (%)					AACPD	Eficácia de controle (%)
	06/dez (R3)	17/dez (R5)	29/dez (R5.4)	04/jan (R5.5)	12/jan (R6)		
T1_Testemunha	0.10 aD	1.03 aC	1.70 aB	1.88 aB	2.32 aA	51.08 a	-
T2_Nanoemulsão	0.10 aE	0.95 aD	1.24 bC	1.6 aB	2.15 aA	43.27 a	15.29
T3_Fungicida	0.10 aD	1.02 aC	1.42 aB	1.68 aB	2.33 aA	47.00 a	7.99
T4_Fung + agProtect	0.07 aC	0.83 aB	1.02 bB	1.17 bB	1.57 bA	34.13 b	33.18
T5_Nano + Fung	0.02 aC	1.01 aB	1.21 bB	1.33 bB	1.72 bA	39.08 b	23.49
T6_Nano + Fungi + agProtect	0.02 aD	0.85 aC	1.11 bB	1.28 bB	1.85 bA	36.30 b	28.94
CV (%)	112.17	9.75	10.95	11.34	13.04	18.57	

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação; Dados originais, para análise, os dados de severidade foram transformados em $\arcsin \sqrt{x}/100$.

Os sintomas de mancha parda (*S. glycines*), surgiram na área a partir do estágio R5 (início da formação de grãos). Na avaliação realizada em R5.4, T1 e T2 apresentaram severidade superior aos demais tratamentos (Tabela 4).

Na avaliação realizada em R5.5, T4 e T6 apresentaram menor severidade que os demais tratamentos. Na última avaliação realizada, além desses tratamentos, T2 também apresentou severidade menor que os demais tratamentos (Tabela 4).

Ao se observar o comportamento dos tratamentos ao longo do tempo, verifica-se que T4 e T6, mantiveram a severidade estável até R5.5. Em relação a T2, a severidade se mostrou progressiva, diferindo estatisticamente em todas as avaliações (Tabela 4).

Para a análise da AACPD, T1 e T2 diferiram estatisticamente dos demais tratamentos e a melhor eficácia de controle em relação à testemunha foi obtida no T6 (64,24%) (Tabela 4).

Tabela 4. Severidade (%), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e eficácia de controle (%) em relação a testemunha, para mancha parda (*Septoria glycines*). Estação de Pesquisa da Helix Sementes, Sorriso-MT. Safra de soja 2021/22.

Tratamentos	Severidade de mancha parda (<i>S. glycines</i>) (%)				AACPD	Eficácia de controle (%)
	17/dez (R5)	29/dez (R5.4)	04/jan (R5.5)	12/jan (R6)		
T1_Testemunha	3.29 aC	6.54 aB	8.5 aB	14.14 aA	212.89 a	-
T2_Nanoemulsão	2.43 aD	4.86 aC	6.98 aB	10.63 cA	163.21 a	23.24
T3_Fungicida	1.88 aC	2.78 bC	5.11 bB	12.00 bA	130.56 b	38.51
T4_Fung + agProtect	0.57 aB	1.20 bB	2.25 cB	11.57 bA	79.52 b	62.39
T5_Nano + Fung	1.64 aC	1.88 bC	4.76 bB	8.46 cA	103.16 b	51.33
T6_Nano + Fungi + agProtect	0.52 aB	1.05 bB	2.32 cB	10.93 cA	75.56 b	64.24
CV (%)	46.53	36.48	33.4	13.73	55.02	

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação; Dados originais, para análise, os dados de severidade foram transformados em $\arcsin \sqrt{x}/100$.

No experimento conduzido em Ipiacu, a doença de ocorrência na área foi míldio (*Peronospora manshurica*). A incidência da doença foi observada a partir da segunda aplicação de fungicida, sendo possível observar diferença estatística no estágio R3, onde T1 e T2 apresentaram severidade superior aos demais tratamentos (Tabela 5).

No estágio de R5 os tratamentos não diferiram quanto à severidade, porém em R5.3, T6 apresentou severidade inferior que os demais tratamentos. Para T1, T2 e T5 observou-se aumento de severidade gradual ao longo das avaliações, diferindo estatisticamente em todas as datas avaliadas. A severidade se manteve constante na segunda e terceira avaliação quando submetida ao T3, T4 e T6 (Tabela 5).

Para a análise da AACPD, T6 apresentou melhor resultado, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, além disso, também obteve a melhor resposta

em relação a eficácia de controle sobre a testemunha, de 10,36%. A produtividade média do tratamento contendo nanoemulsão foi superior, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 5).

Tabela 5. Severidade (%), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e eficácia de controle em relação a testemunha, para míldio (*Peronospora manshurica*). Fazenda Lagoinha, Ipiáçu-MG. Safra de soja 2021/22.

Tratamentos	Severidade de míldio (<i>Peronospora manshurica</i>) (%)			AACPD	Eficácia de controle (%)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
	29/dez (R3)	24/jan (R5)	16/fev (R5.3)			
	T1_Testemunha	27.8 aC	32.8 aB			
T2_Nanoemulsão	26.8 aC	31.8 aB	33.4 aA	1774.38 b	3.37	86.76 a
T3_Fungicida	24.6 bB	31.6 aA	33.0 bA	1707.20 c	7.03	82.37 b
T4_Fung + prot	25.6 bB	32.0 aA	32.2 bA	1737.71 c	5.36	84.73 b
T5_Nano + Fung	24.2 bC	31.0 aB	31.6 bA	1689.70 c	7.98	74.86 b
T6_Nano + Fungi + Prot	24.0 bB	30.4 aA	31.4 cA	1645.90 d	10.36	81.47 b
CV	2.62	1.86	2.1	1.88		8.02

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação; Dados originais, para análise, os dados de severidade foram transformados em $\arcsin \sqrt{x/100}$.

Foi analisado a incidência dos fitopatógenos associados as sementes de soja, do experimento conduzido em Sorriso-MT. Em relação aos fitopatógenos pós-colheita, a incidência do fungo *Rhizopus* sp. não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Para os fungos *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. houve maior incidência nos tratamentos com fungicida (Tabela 6).

Tabela 6: Incidência (%) de fitopatógenos de pós-colheita identificados em sementes de soja do experimento conduzido em Sorriso-MT safra de soja em 2021/2022.

Tratamentos	<i>Aspergillus</i> sp.		<i>Penicillium</i> sp.		<i>Rhizopus</i> sp.	
T1_Testemunha	14.50	a	11.75	a	0.00	a
T2_Nanoemulsão	13.50	a	15.50	a	7.00	a
T3_Fungicida	47.25	b	38.50	a b	10.50	a
T4_Fung + agProtect	39.75	b	62.25	b	5.50	a
T5_Nano + Fung	26.00	a b	19.25	a	1.25	a
T6_Nano + Fung + agProtect	34.50	a b	23.50	a	4.75	a
CV (%)	19.76		29.38		62.14	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados foram transformados a $(X+0.5)^{0.5}$ para fins estatísticos.

Também foram identificados *Fusarium* sp., *Phomopsis* sp., *Macrophomina* sp. e *Colletotrichum* sp., onde os tratamentos não apresentaram diferença estatística. Além desses, houve a presença de *Trichoderma* sp., com maior ocorrência no T2, presença de um fungo não identificado com maior incidência no T1 e bactérias nos T3 e T5 (Tabela 7).

Tabela 7. Incidência (%) de fitopatógenos identificados em sementes de soja do experimento conduzido em Sorriso-MT na safra de soja de 2021/2022.

Tratamento	<i>Fusarium</i> sp.		<i>Trichoderma</i> sp.		<i>Phomopsis</i> sp.		<i>Macrophomina</i> sp.		<i>Colletotrichum</i> sp.		Não Identificado		Bactéria	
T1_Testemunha	0.75	a	4	a b	0	a	0	a	0	a	34	b	5.75	a
T2_Nanoemulsão	1	a	7	b	1.25	a	0	a	0	a	26	a b	11.75	a b
T3_Fungicida	0.5	a	0	a	0.5	a	0.25	a	0	a	10.25	a	29.5	b
T4_Fung + Prot	0.5	a	0.5	a	0	a	0.25	a	0	a	14	a	18.75	a b
T5_Nano + Fung	1	a	0	a	1	a	0	a	0.25	a	19.75	a b	28.75	b
T6_Nano + Fung + Prot	1.26	a	0	a	1.5	a	0	a	0.25	a	19.5	a b	23.25	a b
CV (%)	44.38		47.68		35.42		19.92		19.92		26.73		29.02	

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados foram transformados a $(X+0.5)^{0.5}$ para fins estatísticos.

4. DISCUSSÃO

O uso intensivo do método químico, o sistema contínuo de sucessão com soja-milho e a ineficiência na entrega do ingrediente ativo para controle de doenças, tem resultado na seleção de fungos fitopatogênicos resistentes, gerando como consequências, aumento dos custos de controle, contaminações ambientais e resíduos em alimentos (KIMATTI, 1996; POTI et al., 2020).

A utilização de formulações na escala nanométrica, traz como possibilidade, potencializar o uso do ingrediente ativo, diminuindo a toxicidade a organismos não-alvos e a pressão seletiva sobre os patógenos. Para que uma emulsão seja caracterizada na escala manométrica, é necessário que o diâmetro de gotícula apresente tamanhos inferiores a 200 nm (SALVIA-TRUJILLO et al., 2016). Isso é consistente com nossa observação, a nanoemulsão utilizada neste estudo possui formulação estável e apresentou perfil monomodal, sem presença de micropartículas, com tamanho médio inferior a 200 nm.

Dentre as doenças identificadas no experimento localizado em Sorriso-MT, a mancha alvo, causada pelo fungo necrotrófico *C. cassicola*, tem ganhado importância na

região, devido a sua insensibilidade a fungicidas com modos de ação de sítio único (XAVIER et al., 2013). Há relatos da baixa eficiência do carbendazim, registrado para o controle da mancha alvo, devido à existência de isolados resistentes (GODOY, 2016b; EDWARDS MOLINA et al, 2019). Também foi relatada a resistência completa de isolados de *C. cassicola* à estrobilurinas em alguns estados produtores de soja (GODOY et al., 2020; FRAC, 2020).

Um estudo de Edwards Molina e colaboradores (2019), concluiu que cerca de 168 sc ha⁻¹ de soja são perdidas para cada incremento de 10% na severidade da mancha alvo, considerando uma produtividade de 3500 sc ha⁻¹ como referência. Porém uma faixa de grande amplitude reflete a diferença de tolerância à doença entre cultivares, dessa forma, o custo com o controle pode não compensar os ganhos de produtividade, principalmente para cultivares tolerantes (EDWARDS MOLINA et al, 2019). Nas áreas avaliadas, a severidade máxima para mancha alvo foi de 2,33%, valor bem inferior ao que a literatura traz como potencial de perda em produtividade.

A mancha alvo da soja, é favorecida por longos períodos de molhamento foliar combinado com temperaturas amenas e condições de umidade relativa do ar elevada (de pelo menos 80%) (SINCLAIR, 1982). Durante o período do experimento, do dia 12/10/2021 ao dia 21/01/2022, o índice pluviométrico totalizou 919,20mm, com distribuição pouco uniforme e com baixa umidade relativa do ar, o que proporcionou baixa severidade da doença na área (Anexo 1).

Com base nos resultados de severidade da mancha alvo foi possível observar que, os tratamentos que associaram o uso de agProtect, nanoemulsão ou ambos com a aplicação de fungicida, obtiveram menor severidade em todas as avaliações, menor AACPD e maior eficácia de controle em relação à testemunha (Tabela 3).

Mesmo utilizado isolado, a nanoemulsão apresentou efeito benéfico em relação ao controle do patógeno, obtendo 15,29% de eficácia de controle em relação à testemunha, valor superior ao tratamento contendo fungicida isolado, que apresentou eficácia de apenas 7,99%. Podemos inferir que neste estudo, sob baixa severidade de mancha alvo, a aplicação de nanoemulsão seria uma alternativa eficaz à aplicação de fungicidas no controle desta doença.

Segundo Fortunato (2015), plantas de soja com sistema antioxidante mais eficiente na remoção de espécies reativas de oxigênio, obtiveram a AACPD significativamente menor para mancha alvo. Desta forma, tanto a nanoemulsão quanto o produto agProtect utilizado

podem estar interferindo no metabolismo secundário da planta, contribuindo para diminuição do dano celular causado por esse fitopatógeno.

Avaliando o comportamento dos tratamentos ao longo do tempo, observa-se que ao se utilizar o fungicida associado ao agProtect ou a nanoemulsão, a variação da severidade ocorreu de forma menos expressiva do estágio R5 ao R5.5. Esses estágios de crescimento da soja são considerados altamente sensíveis a reduções na área foliar, com importante impacto na produtividade (FEHR et al., 1981). Estima-se que para haver redução significativa na produtividade em função da *C. cassiicola*, a severidade deve ser em torno de 25 a 30% (GRIGOLLI, 2015).

As doenças de final de ciclo também foram avaliadas no experimento em Sorriso - MT, sendo a mancha parda (*S. glycines*) a de maior ocorrência dentre o complexo. Esta doença está disseminada por todas as regiões produtoras de soja do país, causando desfolha precoce e reduzindo a produtividade da cultura, muitas vezes devido ao menor tamanho dos grãos formados (FAO, 1995). Este fitopatógeno necessita de um período mínimo de molhamento foliar de 6 horas e temperatura entre 15 a 30°C para o desenvolvimento dos sintomas.

A severidade da mancha parda no T6 manteve-se estável até a avaliação realizada em R6, onde houve um aumento expressivo da doença. T1 e T2 apresentaram maior AACPD, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, e a melhor eficácia de controle, em relação à testemunha, de 64,24%, foi obtida ao se utilizar o T6 (Tabela 4). Novamente, a utilização da nanoemulsão isolada apresentou alta eficácia de controle em relação a testemunha (23,24%), porém quando foi utilizada em conjunto com fungicida, o controle foi 2,2 vezes maior, mostrando sinergia dos produtos.

No estágio de desenvolvimento R5, próximo da maturação, a doença progrediu rapidamente, sendo os valores de severidade variando de 0,52% na primeira avaliação até 14,14% na última avaliação realizada, onde a severidade em T1 foi sempre maior que os demais tratamentos. Dados semelhantes foram encontrados no trabalho de Junior e colaboradores (2021), onde nos tratamentos contendo fungicida, os valores de severidade foram consistentemente inferiores ao da testemunha.

Devido a rápida progressão da doença e aos maiores danos de severidade em relação a Mancha Alvo, também encontrada na área, a mancha parda apresentou maior potencial de perda de produção no experimento conduzido.

A busca por alternativas de controle de doenças mais sustentáveis tem crescido nos últimos anos (SKEVAS et al., 2013). Chalfoun e colaboradores (2018), utilizaram um

produto de resistência induzida como complemento ou mesmo substituindo o fungicida, e mostraram a viabilidade da utilização desses produtos no manejo de controle de doenças sob condições de campo. Dessa forma, ao analisar os resultados de severidade das doenças que incidiram no ensaio de Sorriso-MT, foi possível observar que, os tratamentos que associaram o uso de agProtect, nanoemulsão ou ambos à aplicação de fungicida, obtiveram menor severidade em todas as avaliações, menor AACPD e maior eficácia de controle em relação à testemunha, demonstrando um claro efeito adicional em relação aos dois tratamentos separadamente.

Isso pode ser devido ao efeito complementar dos produtos utilizados, por possuírem diferentes mecanismos de proteção. O uso do produto agProtect e da nanoemulsão como tratamento preventivo, possuem, provavelmente, ação de indução de resistência, o primeiro devido à presença de fosfito de cobre e poliflavonóides, o segundo devido a sua composição e sua formulação na escala nanométrica que lhe confere maior atividade. Em adição, tem-se o fungicida como tratamento curativo, assim, juntos eles medeiam um período mais longo de proteção.

Além da redução da severidade de doenças foliares, foi possível observar que ao se utilizar nanoemulsão isolada, a incidência de patógenos de pós-colheita nas sementes, foi menor em relação aos tratamentos utilizando fungicida. Os fungos *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. e *Rhizopus* sp. são as espécies de fitopatógenos de maior ocorrência em grãos armazenados, pois são capazes de completar seu ciclo em matéria orgânica, uma vez que as condições ambientais sejam favoráveis (GUTERRES et al., 2017).

O fitopatógeno com maior incidência encontrada (62,25%) foi *Penicillium* sp. no T4, posteriormente *Aspergillus* sp. (47,25%) e *Rhizopus* sp. (10,50) ambos no T3. Devido a tendência desses fungos em aumentar ao longo do tempo de armazenamento, reduzindo o potencial fisiológico e viabilidade da conservação dos produtos (CARVALHO et al., 2021; PRADO et al., 2022), o processamento e armazenamento dos grãos necessita de maior cuidado e atenção.

Outros fungos foram observados nas sementes, como *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., *Phomopsis* sp. e *Macrophomina* sp., porém com baixa incidência e sem apresentar diferença estatística entre os tratamentos empregados. A baixa ocorrência de *Fusarium* nas sementes de soja foram relatadas na região do MT por outros pesquisadores (CARVALHO et al., 2021; PEREIRA et al., 2019), corroborando com nossos achados.

Para *Colletotrichum*, agente causal da antracnose, tem sido observado alta incidência, em pesquisadas realizadas na região, onde verificou-se que cerca de 80% dos

grãos apresentaram incidência por esse fitopatógeno no município de Feliz Natal-MT e 41,63% em Sinop-MT (VENCESLAU et al., 2015; RUFFATO et al., 2015), contrastando com os dados encontrados em nossa pesquisa. A baixa incidência de *Phomopsis* sp. e *Macrophomina* sp. nos grãos, também foi relatado por Prado e colaboradores (2022).

Além disso, a utilização da nanoemulsão isolada parece favorecer a proliferação de *Trichoderma* presente nas sementes, diferentemente do fungicida que inibiu a incidência desse fungo. Também foi observado a ocorrência de bactérias nas sementes, onde T3 e T5 apresentaram maior incidência. Um fungo não identificado foi encontrado, com maior incidência na testemunha. A identificação de diferentes gêneros de fungos e bactérias encontrados em sementes, mesmo que em baixa incidência, mostra o quão complexo é o manejo de fitopatógenos em campo, onde as infecções ocorrem simultaneamente.

Batzer e Mueller (2020) demonstraram que a aplicação de fungicida na formação de vagens possui efeito na comunidade endofítica de plantas. Em seu estudo, o tratamento com fungicida aumentou a porcentagem de infecção de *Diaporthe* sp. em sementes, com maior efeito para cultivares de soja mais precoces. Este estudo é um indicativo de que a aplicação de fungicidas, na ausência de pressão de doenças, pode afetar negativamente a qualidade de sementes. Dessa forma, a nanoemulsão utilizada se mostrou alternativa viável em relação a redução da incidência de fitopatógenos de pós-colheita nas sementes, em relação aos tratamentos utilizando fungicida.

No experimento conduzido na fazenda de Lagoinha, Ipiáçu-MG, a doença de ocorrência foi o míldio. Os primeiros sintomas foram observados 5 dias após a aplicação de R2, sendo que houve aumento expressivo até a segunda avaliação realizada uma semana após a aplicação de R4.

Na última avaliação realizada, 15 dias após a aplicação do estágio de R5.2, a severidade aumentou, porém de forma bem menos expressiva. Silva e colaboradores (2011), obtiveram resultado semelhante, com a severidade da doença diminuído após o estágio reprodutivo R5.3. Isso pode ser devido à menor precipitação durante o período reprodutivo e temperaturas mais elevadas. Sabe-se que esse patógeno necessita de longos períodos de molhamento foliar (12 horas) e temperaturas entre 20 e 22 °C para seu desenvolvimento (PICININI E FERNANDES, 2000).

A menor área abaixo da curva do progresso da doença, correspondente ao T6, com eficácia de controle de 10,36% em relação a testemunha, o que não refletiu em maior produtividade. Devido ao dano potencial deste patógeno na soja ser considerado baixo

(RHANE E RUHL, 2003), outros fatores podem ter sido mais relevantes para o incremento em produtividade.

Estas diferenças implicam que nem sempre a perda potencial devido à doença justifica a aplicação de fungicidas, isto quer dizer que o custo com o controle pode não compensar os ganhos de produtividade, principalmente para cultivares tolerantes (EDWARDS MOLINA et al., 2019b).

Apesar do fato de que as defesas químicas são essenciais para plantas, os custos de alocação foram demonstrados para a soja, muitas vezes é descrito que a produção desses metabólitos são caros na ausência de benefícios (ACCAMANDO E CRONIN, 2012; FAESSEL et al., 2008 ; SRIVASTAVA et al., 2011).

Nesse aspecto, é interessante notar que a aplicação do nanoemulsão provavelmente não afeta negativamente o rendimento quando comparado às plantas de controle em nosso ensaio de campo. Isso pode ser resultado de um efeito do componente da formulação, que, com base em suas propriedades em escala nanométrica, possui absorção melhorada, melhor solubilidade e estabilidade oferecendo vantagens de distribuição eficaz devido à sua grande área de superfície, fácil fixação e rápida transferência de massa da nanoemulsão (RAWAT et. al., 2018).

Além disso, o sistema de liberação lenta, utilizando dosagem menor do ingrediente ativo, pode estar produzindo apenas efeito *priming* na planta, interagindo de forma benéfica no metabolismo. Dessa forma, a planta investe na expressão de resistência apenas quando necessário, economizando seu custo com proteção (WALTERS E HEIL, 2007).

Ao se utilizar o nanoemulsão isoladamente, o ganho de produtividade foi o mais expressivo do experimento, contrastando com a eficácia de controle em relação à testemunha, que foi a menor dentre os outros tratamentos. Quando o nanoemulsão foi associado ao fungicida, diferentemente, foi o tratamento com menor produtividade, sugerindo que essa observação pode ser atribuída a um custo de energia para a planta duplamente tratada em um cenário com baixa pressão de doenças.

Nesse contexto, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia abre novas aplicações potenciais na agricultura, como complemento ao manejo de fungicidas ou até mesmo como substituto, quando em situações de baixa pressão de doenças, sendo um recurso interessante para uma produção mais eficiente, no âmbito econômico e ambiental.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, os tratamentos que associaram o uso de agProtect, nanoemulsão ou ambos à aplicação de fungicida, obtiveram menor severidade em todas as avaliações, menor AACPD, maior eficácia de controle em relação à testemunha e menor incidência de fitopatógenos nas sementes em relação aos tratamentos utilizando fungicida, indicando sua utilidade como alternativa interessante e/ou complemento no manejo de doenças.

Em relação à produtividade, no experimento de Ipiacu-MG, a utilização do nanoemulsão isolada apresentou melhor rendimento da cultura.

Dessa forma, a utilização de um produto biodegradável, com características de desempenho aprimoradas pela utilização da nanotecnologia, se mostra importante ferramenta para gerar um sistema de produção agrícola mais sustentável e economicamente viável.

6. REFERÊNCIAS

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p.265-266.
- Accamando, A. K. & Cronin, J. T. (2012). Costs and Benefits of Jasmonic Acid Induced Responses in Soybean. **Plant Insect interactions**. v. 41 n° 3. P. 551-560.
- BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi**. Minnesota: American Phytopathology Society, 1999. 218p.
- Batzer, J. C., & Mueller, D. S. (2020). Soybean Fungal Endophytes *Alternaria* and *Diaporthe* spp. Are Differentially Impacted by Fungicide Application. *Plant Disease*. v. 104. p. 52-59.
- Bhering, L.L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 17: 187-190.
- Campbell, C. L.; Madden, L. V. (1990). **Introduction to plant disease epidemiology**. 532 p.
- Carvalho, E. R., Reis, L. V., K. Rocha, D. K., & Penido, A. C. (2021). Incidence of fungal species in stored soybean seeds in relation to cooling before packing and to packing material. **Revista de Ciências Agrárias**, 44(2-3), 193-202.
- Chalfoun, N. R., Durman, S. B., González-Montaner, J., Reznikov, S., De Lisi, V., González, V., Moretti, E. R., Devani, M. R., Ploper. (2018). Elicitor-Based Biostimulant PSP1 Protects Soybean Against Late Season Diseases in Field Trials. **Frontiers in Plant Science**. v. 9 1664-462.
- CONAB Campanha Nacional de Abastecimento (2021). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, In: safra 2020/2021 quarto levantamento. Brasília.
- Edwards Molina, J. P.; Paul, P. A.; Amorim, L.; Silva, L. H. C. P.; Siqueri, F. V.; Borges, E. P.; Campos, H. D.; Nunes Junior, J.; Meyer, M. C.; Martins, M.C.; Balardin, R. S.; Carlin, V. J.; Grigolli, J. F. J.; Belufi, L. M. D. R.; Godoy, C. V. (2019). Meta-analysis of fungicide efficacy on soybean target spot and cost–benefit assessment. **Plant Pathology**. v.68, p.94–106
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). Tecnologia de Produção de Soja. Região Central do Brasil. Londrina, PR. 228p.
- Fehr WR, Lawrence BK, Thompson TA, (1981). Critical stages of development for defoliation of soybean. **Crop Science** 21, 259.
- FRAC. Summary of annual Sensitivity Monitoring. (2021). Disponível em: <https://www.frac.info/knowledge-database/summaryof-annual-monitoring>. Acesso em: 3 jul. 2022.

Fortunato, A. A., Debona, D., Bernardeli, A. M. A., and Rodrigues, F. A. (2015). Changes in the antioxidant system in soybean leaves infected by *Corynespora cassiicola*. **Phytopathology**. v.105, p.1050-1058.

Godoy, C. V.; Almeida, A. M. R.; Costamilan, L. M.; Meyer, M.; Dias, W. P.; Seixas, C. D. S.; Soares, R. M.; Henning, A. A.; Yorinori, J. T.; Ferreira, L. P.; Silva, J. F. V. (2016) Doenças da soja. In: Amorim, L.; Rezende, J. A. M.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L. E. A. (Org.). **Manual de Fitopatologia**: v. 2. Doenças das plantas cultivadas. 5. ed. São Paulo: Ceres. p. 657- 675.

Godoy, C. V.; Utiamada, C. M; et.al. (2021). Eficiência de fungicidas para o controle da mancha-alvo, *Corynespora cassiicola*, na cultura da soja, na safra 2020/2021: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja. **Circular técnica 172**.13p.

Grigolli, J. F. J. **Manejo de Doenças na Cultura da Soja**. Tecnologia e Produção: Soja 2014/2015. Fundação MS.

HENNING, A. A. **Guia prático para identificação de fungos mais frequentes em sementes de soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 33p.

Kimati, H. (1996). Evolução dos Fungicidas. In: SIMPÓSIO – CONTROLE QUÍMICO DE DOENÇAS DE PLANTAS. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 22, n. 1. p. 79-80.

Martins, M. C., Guerzoni, R. A., Câmara, G. M. de S., Mattiazzi, P., Lourenço, S. A., & Amorim, L. (2004). Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29(2), p. 179–184

Neves, D. L., Wang, A., Weems, J. D., Kelly, H. M., Mueller, D. S., Farman, M., Bradley, C. A. (2022). Identification of *Septoria glycines* Isolates from Soybean with Resistance to Quinone Outside Inhibitor Fungicides. **Plant Disease**. v. 2016, N0. 10, p. 2631-2637.

Pereira, T. A. X., Pereira, P. S. X., Araújo, D. V. de, Pallaoro, D. S., Bianchini, A., & Machado, R. S. (2019). Effect of the storage period and fungicide treatment on the physiological and sanitary. **Journal of Experimental Agriculture International**, 37(5).

Picinni, E. C; Fernandes, J. M. (1998). **Doenças de Soja**: Diagnose, epidemiologia e controle. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT. 91p. Documento 42.

Poti, T., Mahawan, K., Cheewangkoon, R., Arunothayanan, H., Akimitsu, K. & Nalumpang, S. (2020). Detection and molecular characterization of carbendazim-resistant *Colletotrichum truncatum* isolates causing anthracnose of soybean in Thailand. **Journal of Phytopathology**, v.168, p.267–278.

PRADO, P. M. C.; RUFFATO, S.; BONALDO, S. M.; SOUZA, Í. P. de.; CALEGARI, B. H. (2022). Combinations of foliar fungicides on the physical and sanitary quality of soybeans. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 8, p.

Prasad R, Bhattacharyya A and Nguyen Q. D. (2017). Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. **Front. Microbiol.** 8:1014.

Rawat, S., Pullagurala, V. L., Adisa, I. O., Wang, Y., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Factors affecting fate and transport of engineered nanomaterials in a terrestrial environment. **Current Opinion in Environmental Science & Health.** v. 6, p. 47-53.

Ruffato, S., Freitas, P. H. S., Bonaldo, S. M., Dal Maso Netto, G., Eckert, L. L. F, Qualidade pós-colheita de grãos de soja em função da aplicação de fungicidas associados com fosfito-fosfato de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7, 2015, Florianópolis – SC. Anais. Florianópolis: CBSOJA, 2015.

Salvia-Trujillo, L., Martin-Belloso, O., e Julian McClements, D. (2016). Nanoemulsões de excipientes para melhorar a biodisponibilidade oral de bioativos. **Nanomateriais**, v.6, p.1–16.

Sia, P. D. (2017). Nanotechnology among innovation, health and risks. **Procedia - Social and Behavioral Sciences.** v.237, p.1076 – 1080.

Sinclair, J.B. (1982). **Compendium of Soybean Disease.** 2nd. St Paul: The American Phytopathological Society.104p.

SINDIVEG (Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal) 2020. O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2021/11/bxresolucao.pdf> (acessado em out 2022).

Skevas, T., Oude-Lansink, A. G. J. M., and Stefanou, S. E. (2013). Designing the emerging EU pesticide policy: a literature review. **NJAS Wageningen J. Life Sci.** 6, 95–103.

Soares, R.M., Godoy, C.V., Oliveira, M.C.N. (2009). Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha alvo da soja. **Tropical Plant Pathology.** v. 34, p. 333-338.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO.3.

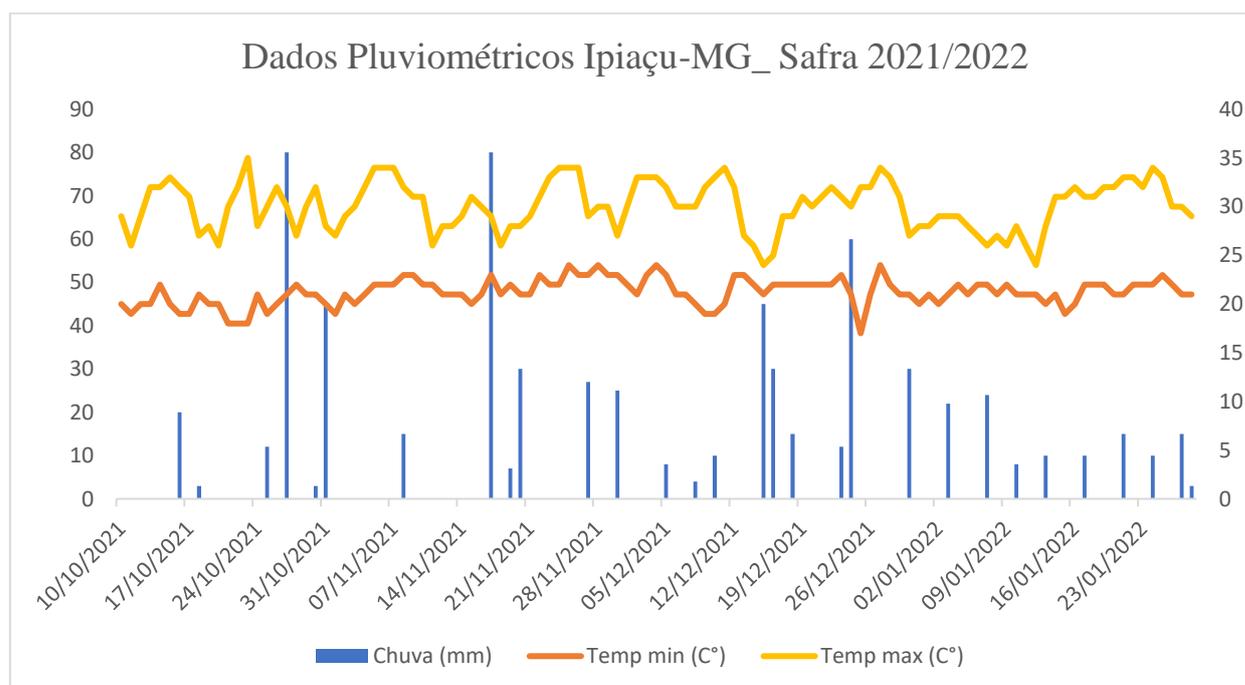
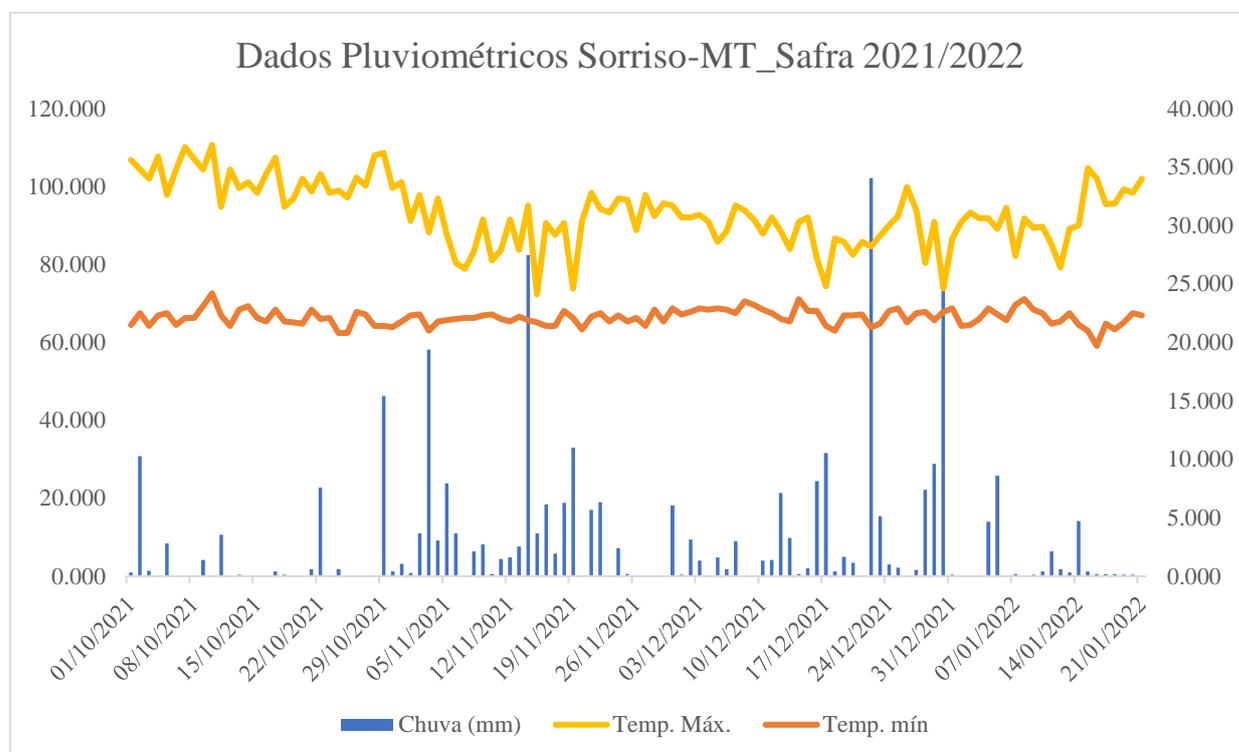
United States Department of Agriculture (USDA) (2023). World Agricultural Production. Circular Series WAP 1-23.

VENCESLAU, D. D.; RUFFATO, S.; BONALDO, S.M. Qualidade sanitária de grãos de soja em função da época de colheita. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, p. 25-32, 2015.

Xavier SA, Canteri MG, Barros DCM, Godoy CV. (2013). Sensitivity of *Corynespora cassiicola* from soybean to carbendazim and prothioconazole. **Tropical Plant Pathology** 38, 431–5.

Walters, D. & Heil, M. (2007). Costs and trade-offs associated with induced resistance. **Physiological and Molecular Plant Pathology.** v. 71, p. 3-17.

Anexo 1: Dados Pluviométricos registrados ao longo dos experimentos conduzidos em Sorriso-MT e Ipiacu-MG.



CAPÍTULO 3 – NANOSSISTEMA AGRÍCOLA PARA CONTROLE DE DOENÇAS DE MILHO

RESUMO: O milho é a maior cultura agrícola semeada no mundo e de grande importância em diversas cadeias produtivas. Porém, a incidência e severidade de doenças tem afetado negativamente a produtividade do grão. Dessa forma, o objetivo desse estudo consiste na utilização de uma nanoemulsão com intuito de melhorar a performance do manejo de fungicida e aumentar o rendimento da cultura. O experimento foi conduzido na segunda safra de milho de 2021/2022, em Sorriso/MT e o delineamento experimental utilizado foi bloco casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos empregados foram: T1: Fungicida, T2: Fungicida + Nanoemulsão, T3: Fungicida + agProtect T4: Fungicida + Nanoemulsão + agProtect. As variáveis analisadas foram índice de severidade da doença e análise de rendimento dos grãos. As comparações das médias foram analisadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software RBio. A nanoemulsão se mostrou estável, apresentando perfil monomodal, sem presença de micropartículas após 30 dias do seu desenvolvimento. A incidência de mancha de bipolares (*Bipolaris maydis*) foi observada a partir do estágio de V8, porém com baixa severidade e sem diferença entre os tratamentos. Na avaliação realizada no estágio de R4, a maior variação entre os tratamentos foi de 0,3%, e a maior severidade encontrada, em T1, foi de 2,50%, também sem diferença estatística entre os tratamentos. A maior produtividade foi obtida no T2 (136,37 sc ha⁻¹), quando a nanoemulsão foi inserida no manejo de fungicida, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, e a menor produtividade no T3, com a utilização do produto agProtect. Com base nos resultados, a utilização da nanoemulsão contribui para reduzir a severidade e aumentar a produtividade da cultura do milho, podendo atuar como complemento ao manejo de fungicidas.

Palavras-Chaves: *Bipolaris maydis*. Nanoemulsão, Fungicida.

ABSTRACT: Corn is the largest agricultural crop sown in the world and of great importance in several production chains. However, the incidence and severity of diseases have negatively affected grain productivity. Thus, the objective of this study is to use a nanoemulsion to improve the performance of fungicide management and increase crop yield. The experiment was carried out in the second corn harvest of 2021/2022, in Sorriso/MT and the experimental design used was a randomized block, with five replications. The treatments employed were: T1: Fungicide, T2: Fungicide + Nanoemulsion, T3: Fungicide + agProtect, T4: Fungicide + Nanoemulsion + agProtect. The analyzed variables were disease severity index and grain yield analysis. Comparisons of means were analyzed using Scott-Knott test at a 5% probability level, using the RBio software. The nanoemulsion was stable, with a monomodal profile, without the presence of microparticles, after 30 days after its development. The incidence of bipolar spot (*Bipolaris maydis*) was observed from the V8 stage, but with low severity and no difference between treatments. In the evaluation carried out at the R4 stage, the greatest variation between treatments was 0.3%, and the greatest severity found, at T1, was 2.50%, also with no statistical difference between treatments. The highest productivity was obtained in T2 (136.37 sc ha⁻¹), when the nanoemulsion was inserted in the fungicide management, statistically differing from the other treatments, and the lowest productivity in T3, with the use of the agProtect product. Based on the results, the use of the nanoemulsion contributed to reduce the severity and increase the productivity of the corn crop and may act as a complement to the management of fungicides.

Keywords: *Bipolaris maydis*, Nanoemulsion, Fungicide.

1. INTRODUÇÃO

O milho é a maior cultura agrícola semeada no mundo, com produção mundial na safra de 2021/2022 superior a 1,2 bilhões de toneladas. O Brasil obteve uma participação de 116 milhões de toneladas, sendo o 3º maior produtor mundial do grão (USDA, 2023). Além de sua importância em diversas cadeias produtivas, como produção de carne, o uso do milho como matéria prima para produção de etanol possibilitou forte investimento no cultivo do cereal no Brasil (CONAB 2022), impulsionando a maior colheita de milho segunda safra já realizada no país, com produtividade média 29,8% e uma produção 41,8% superior à safra 2020/2021 (CONAB 2022).

Para a safra 2022/2023, é previsto a produção de etanol a partir de milho de 4.5 bilhões de litros, alcançando a marca de 15% de participação no mercado de biocombustível, na safra de 2018/2019 essa marca foi de apenas 4,8% (CONAB 2022). Existem estimativas que o consumo de milho para etanol possa chegar a 30 milhões de toneladas na próxima década, gerando boas expectativas no aumento da produção do cereal no país (MIRANDA et al., 2021).

O plantio do milho em sucessão à soja viabilizou o cultivo em áreas altamente tecnificadas, aumentando a expansão da fronteira agrícola bem como a ampliação das épocas de plantio (safra e segunda safra) o que tem resultado no aumento da produtividade da cultura (MIRANDA et al., 2021). A safra de 2021/2022 registrou a maior área destinada para o cultivo da segunda safra, com aumento de 9,2% em relação à safra anterior, sendo o estado de Mato Grosso responsável por 48% da produção nacional da segunda safra do grão (CONAB, 2022).

Porém essa evolução do sistema de produção aliado a outros fatores que influenciam o rendimento do milho como a disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, adoção do sistema de plantio direto, população de plantas, sistema de cultivo, potencial produtivo do híbrido e manejo fitossanitário tem promovido modificações importantes na dinâmica populacional dos patógenos (REIS et al., 2010).

Dessa forma, tem-se notado aumento da incidência e da severidade de doenças na cultura do milho nas principais regiões produtoras do país, como consequência do estreitamento das relações patógeno-hospedeiro-ambiente limitando sua produtividade (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2003). Entre as principais doenças foliares destacam-se as que possuem fungos como agentes etiológicos, como mancha de bipolaris (*Bipolaris* sp.), mancha de diplodia (*Stenocarpella* spp.), mancha branca (*Phyllosticta maydis*, *Phoma* spp. e *Pantoea ananatis*) e ferrugem de polissora (*Puccinia* spp.).

A mancha de bipolares do milho é causada pelo fungo ascomiceto *Bipolaris maydis* (Teleomorfo: *Cochliobolus heterostrophus*) e, provoca danos significativos nas plantas, em decorrência do mau funcionamento e da destruição dos tecidos fotossintéticos (COSTA et al., 2014). Todas as partes aéreas das plantas de milho são suscetíveis à infecção pelo fungo. Os sintomas são variáveis, dependendo do genótipo, das raças do fungo que estejam infectando as plantas. Geralmente iniciam com lesões pequenas e ovaladas. Essas lesões tornam-se alongadas quando maduras, desenvolvendo-se limitadas pelas nervuras, e apresentam coloração palha.

Sob condições favoráveis, em ambiente úmido e com temperaturas variando entre 18 e 26 °C, os conídios produzidos em lesões maduras são disseminados para folhas ou plantas vizinhas pelo vento ou respingo de chuva e germinação de esporos e penetração nos tecidos foliares ocorre em até seis horas. Em condição de elevada pressão da doença, pode ocorrer a coalescência das lesões, resultando na queima de todo o limbo foliar. Além disso, o fungo sobrevive em restos culturais na forma de micélio (COTA et al., 2013).

Para o controle dessas doenças, o método mais comumente utilizado é o plantio de variedades resistentes. De modo a complementar, a rotação de culturas, bom manejo do solo e da adubação e o uso da densidade de semeadura recomendada são indicadas (DIAS; PINHEIRO; CAFÉ-FILHO, 2016).

A aplicação de fungicidas na cultura do milho tem apresentado bons resultados em relação ao controle das principais doenças, onde cerca de 80% dos produtores brasileiros utilizam duas aplicações com moléculas do grupo químico dos triazóis e estrobilurinas (COTA et al., 2018). Porém, a constante utilização do mesmo princípio ativo, uso de sub ou sobre dosagem, tem diminuído a eficiência do controle químico para a cultura.

A utilização de fungicidas multissítios/protetores, associados a fungicidas sistêmicos, tem sido utilizado para aumentar a eficiência do controle químico, além de ser uma estratégia antirresistência (GODOY et al., 2020). Os fungicidas cúpricos atuam no controle de doenças baseados em dois mecanismos de ação, um de forma direta, com ação tóxica sobre o patógeno, reduzindo seu crescimento, e o outro de forma indireta, onde induz respostas de defesa na planta (REIS et al., 2010).

Os produtos naturais têm sido propostos como alternativa para controlar os patógenos de forma mais sustentável. A utilização de produtos à base óleo com atividade biológica antimicrobiana tem sido relatado pelo seu potencial controle de doenças, porém existem limitações quanto ao seu uso devido à baixa solubilidade em água, perda de compostos voláteis e falta de estabilidade de suas formulações (PINHO et al., 2014).

Nesse contexto, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanoemulsões são pesquisadas para resolver tais barreiras. Assim, com base em suas propriedades diferenciadas pela escala nanométrica, as nanoemulsões possuem absorção melhorada, redução da degradação do ativo, melhor solubilidade e estabilidade oferecendo vantagens de distribuição eficaz de substâncias devido à sua grande área superficial e fácil fixação (JAISWAL; DUDHE; SHARMA, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de nanoemulsão formulada pela técnica de emulsificação espontânea, utilizando ativo de origem natural, para o controle de doenças e produtividade na cultura do milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Desenvolvimento e caracterização do nanossistema

Diferentes nanossistemas foram desenvolvidos pela Universidade Federal de Mato Grosso, destes, uma nanoemulsão foi selecionada, por questões de escalonamento da tecnologia, para ser testada no presente trabalho. A técnica utilizada na formulação foi a emulsificação espontânea utilizando homogeneização de alta energia.

A nanoemulsão (NE) foi caracterizada quanto ao seu diâmetro de esfera equivalente (D4-3), distribuição do tamanho de partícula (Span) por difração de laser (Mastersizer 2000®), diâmetro médio das nanopartículas (Z-Average), índice de polidispersão (PDI) por espalhamento de luz dinâmico (Nanosizer®) e quanto ao potencial zeta (Zetasizer®). Foi avaliado a estabilidade das estruturas no intervalo de 0 a 30 dias após desenvolvimento quanto ao seu pH e diâmetro médio (D4,3).

2.2. Área experimental

O experimento foi conduzido na safrinha de milho de 2022 na fazenda comercial 4 irmãos de propriedade de Sadi Zanatta, localizado na Rodovia MT 238 Km, S/N Sentido Ipiranga do Norte, Zona Rural, Sorriso, MT. O clima é do tipo Aw segundo a classificação de Koppen e Geiger, com temperatura média anual de 25.6° C e pluviosidade média anual de 1463 mm, conforme Climate-Data.Org. O tipo de solo é classificado como latossolo de textura argilosa com 3% de matéria orgânica. Adubação de cobertura feita com 220kg por hectare de 20-00-20, sendo semeado no dia 08/02/2022 híbrido do milho AG 3700RR, com população final de 72000 plantas por hectare.

A colheita e coleta dos dados de produtividade foram realizados no dia 19/06/2022. Os dados pluviométricos e de temperatura média da área foram coletados para analisar a

distribuição das chuvas no decorrer do experimento, pela plataforma WeatherLink 6.0.4 (Figura 1)

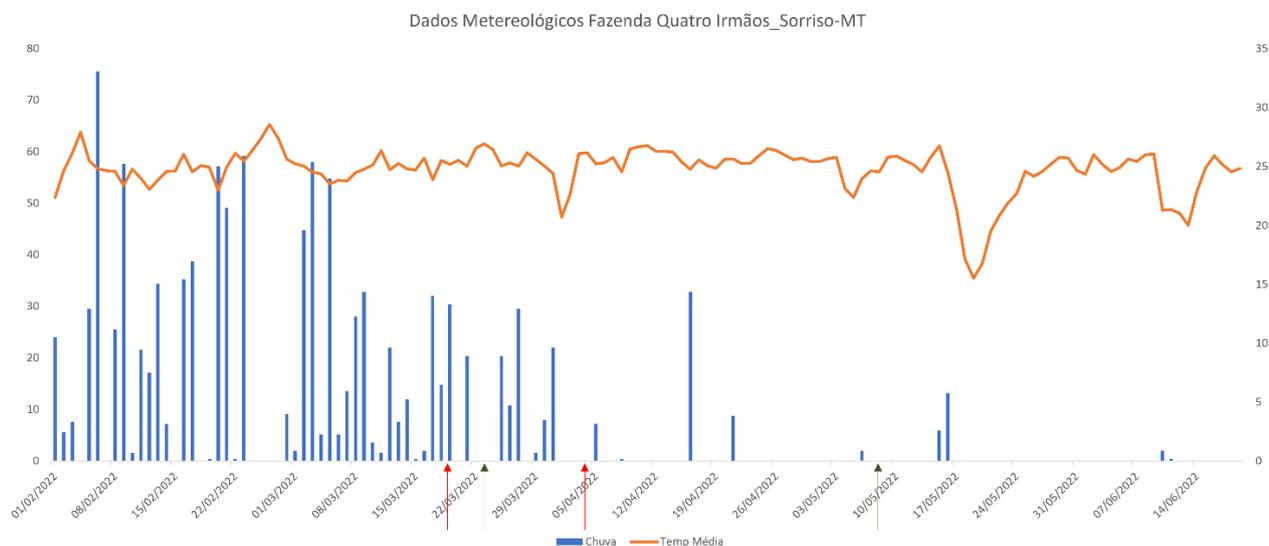


Figura 4. Precipitação pluviométrica e temperatura média durante o desenvolvimento da cultura do milho na fazenda 4 irmãos Sorriso-MT. Fonte: WeatherLink 6.0.4. Setas vermelhas nas datas de aplicação e setas verdes nas datas de avaliação de doenças.

2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizado (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela foi composta por 6 linhas com 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,5m, totalizando uma área de 15m². A área útil de cada parcela foi constituída por duas linhas centrais de 3m de comprimento. As práticas culturais empregadas na condução do ensaio foram padrões em todos os tratamentos, incluindo os programas de aplicação de fungicida.

Os tratamentos empregados foram: T1- Fungicida, T2- Fungicida + Nanoemulsão, T3- Fungicida + agProtect T4- Fungicida + Nanoemulsão + agProtect. Para as pulverizações do programa de fungicida, foi utilizado pulverizador autopropelido no padrão fazenda. Para os produtos nanoemulsão e agProtect, utilizou-se de equipamento costal movido a CO₂ calibrado para uma vazão de 150 litros por hectare, sendo a aplicação realizada posteriormente ao fungicida. Os fungicidas utilizados, as doses aplicadas e as épocas de aplicação estão apresentadas na Tabela 1.

O produto comercial utilizado, agProtect®, da empresa Agroceres Binova, registrado como fertilizante mineral misto, contém em sua bula as garantias de 0,20% de Boro (ácido bórico), 3,10% de Cobre (fosfito de Cu e sulfato de Cu), 1,70% de Enxofre, aminoácidos e poliflavonóides.

Tabela 8. Descrição dos tratamentos, dosagem e época de aplicação na área experimental da Fazenda do Sr. Sadi Zanata. Em Sorriso_MT.

	Descrição	Dosagem (L p.c ha⁻¹)	Época de aplicação	Data Aplicação
T1_Fungicida	Priori Xtra (Azoxistrobina e Ciproconazol)	0,3	V6	19/03/2022
	Carbendazim	1,0	VT	04/04/2022
T2_Fungicida + Nanoemulsão	Nanoemulsão (NE)	1,3	V6	19/03/2022
			VT	04/04/2022
T3_Fungicida + agProtect	agProtect	1,0	V6	19/03/2022
			VT	04/04/2022
T4_Fungicida + Nanoemulsão + agProtect	Nanoemulsão (NE)	1,3	V6	19/03/2022
	agProtect	1,0		
	Nanoemulsão (NE)	1,3	VT	04/04/2022
	agProtect	1,0		

2.4. Avaliações de doenças

Antes de iniciar as aplicações, foram marcadas 10 plantas nas duas linhas centrais, que foram utilizadas em todas as análises, sendo considerado a severidade presente na planta inteira, sendo o inóculo natural da área experimental. O índice de severidade de doença (estimativa visual da % de área foliar lesionada (AFL)) foi obtido segundo a escala Agrocères (1996) nos estádios de desenvolvimento de V8 e R4.

2.5. Análise de rendimento

Foi realizada a colheita manual da área útil de cada parcela, sendo trilhada com auxílio de trilhadora estacionária. Após a pesagem e determinação de umidade, a produtividade foi calculada com umidade ajustada a 13%. A massa obtida de grãos de cada parcela, foi convertida em sacas de 60 kg por hectare (sc ha⁻¹).

2.6. Análise Estatística

Os dados obtidos das avaliações foram submetidos à análise de variância, sendo que os valores relativos à severidade foram, previamente, transformados em $\arcsen\sqrt{x/100}$. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software RBio (BHERING, 2017).

3. RESULTADOS

Em relação a nanoemulsão, a formulação se mostrou estável por período superior a 30 dias, apresentando perfil monomodal, sem presença de micropartículas mesmo após 90 dias após o desenvolvimento da nanoemulsão (Tabela 2).

Tabela 9. Caracterização físico-química da nanoemulsão (NE) no dia zero e trinta dias após o seu desenvolvimento.

Formulação	Difração de laser		PCS (método dos cumulantes)		Potencial zeta (γ)	pH
	D4-3 (μm)	Span	d_h (Z-average) (nm)	PDI (adimensional)		
NE	0,168 \pm 0,57	1,62 \pm 0,00	190,8 \pm 0,60	0,114 \pm 0,01	-22,23 \pm 1,00	6,28

Diâmetro de esfera equivalente (D4-3), distribuição do tamanho de partícula (Span) por difração de laser (Mastersizer 2000®), diâmetro médio das nanopartículas (Z-Average), índice de polidispersão (PDI) por espalhamento de luz dinâmico (Nanosizer®) e potencial zeta (Zetasizer®).

Os sintomas de mancha de bipolares (*B. maydis*) foram observados a partir do estágio de V8, porém com baixa severidade. Os tratamentos não diferiram entre si, e a severidade variou de 2,40% no T3 à 2,50% no T4. Da mesma forma, houve baixa incidência da doença na avaliação realizada no estágio de desenvolvimento de R4, não evoluindo para as folhas acima da espiga. A maior variação entre os tratamentos foi de 0,3%, e a maior severidade encontrada, em T1, foi de 2,50%, o que representa baixa ocorrência da doença (Tabela 3).

Além disso, é possível observar que a severidade dos tratamentos reduziu após as aplicações, exceto para o tratamento padrão fazenda. Ao se acrescentar o produto agProtect e a nanoemulsão no padrão de fungicidas utilizado na fazenda, o controle da mancha de bipolares foi maior, mesmo em situação de baixa severidade (Tabela 3).

A maior produtividade foi obtida no T2 (136,37 sc ha⁻¹), quando a nanoemulsão foi inserido no manejo de fungicida e a menor produtividade no T3, com a utilização do agProtect (Tabela 3). A severidade da mancha de bipolaris não influenciou no rendimento da cultura, onde foi possível observar que não houve padrão quando analisadas as duas variáveis em conjunto.

Tabela 10. Severidade (%) de mancha de bipolaris (*Bipolaris maydis*) e produtividade na cultura do Milho. Fazenda 4 Irmãos, Sorriso-MT. Safrinha de Milho 2022.

Tratamentos	% Severidade (V8)	%Severidade (R4)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
T1_Fungicida	2,44 a	2,50 a	134,91 ab
T2_Fungicida + Nanoemulsão	2,49 a	2,34 a	136,37 a
T3_Fungicida + agProtect	2,40 a	2,22 a	111,46 b
T4_Fungicida + agProtect + Nanoemulsão	2,50 a	2,30 a	122,72 ab
CV (%)	4,84	7,42	7,69

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação; Dados originais, para análise, os dados de severidade foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{x}/100$.

4. DISCUSSÃO

A aplicação de fungicidas pode efetivamente prevenir e controlar a mancha de bipolares de milho, porém nos últimos anos, devido ao uso do método químico e a ineficiência na entrega do ingrediente ativo tem resultado na seleção de fungos fitopatogênicos resistentes, diminuindo a eficácia de controle dos fungicidas comerciais (KUROSAWA et al., 2017; POTI et al., 2020). Dessa forma, se torna necessário o desenvolvimento de alternativas de manejo, que sejam eficientes e sustentáveis, e a utilização de formulações na escala nanométrica, como as nanoemulsões, traz como possibilidade, potencializar o uso do ingrediente ativo, diminuindo a toxicidade a organismos não-alvos e a pressão seletiva sobre os patógenos.

Para que uma emulsão seja caracterizada na escala manométrica, é necessário que o diâmetro de gotícula apresente tamanhos inferiores a 200 nm (SALVIA-TRUJILLO et al., 2016). Isso é consistente com a formulação obtida e avaliada neste estudo, que se apresenta estável, com perfil monomodal, sem presença de micropartículas e com tamanho inferior a 200nm (Tabela 2). Isso permite deposição uniforme e rápida penetração, sem que o ingrediente ativo perca sua integridade, impedindo a floculação dos mesmos e mantendo o sistema disperso e sem separação (JAISWAL; DUDHE; SHARMA, 2015).

A baixa pressão de doenças encontrada na segunda safra de milho em 2022, pode ser devido as condições climáticas da região. Não houve distribuição adequada de chuvas durante o ciclo da cultura, com precipitação elevada no estágio vegetativo e praticamente inexistente na fase reprodutiva da cultura (Figura 1). No mês de abril, momento de pendoamento e floração, foi registrado o menor volume de chuva em um período de 17

anos, segundo EarthDaily. A doença identificada no experimento foi mancha de bipolaris, que necessita de presença de água livre na superfície das folhas para esporulação e penetração do fungo (COSTA; SILVA E COTA et al., 2014), condição que não foi encontrada na fase reprodutiva do experimento.

A primeira avaliação de doenças, realizada 10 dias após aplicação, apresentou baixa incidência de mancha de bipolaris na área, sem diferença entre os tratamentos, sendo T3 com a menor severidade, de apenas 2,4% e T4 com maior severidade de 2,5%. Nesta fase vegetativa, houve condições climáticas para estabelecimento da doença, com temperaturas elevadas e clima úmido. O híbrido utilizado, ag 3700RR2, apresenta boa sanidade e se mostra responsivo à aplicação de fungicidas (BAYER), e provavelmente havia pouco inóculo na área, para não permitir o avanço da doença.

A segunda avaliação, realizada 35 dias após a última aplicação, apresentou severidade inferior que a primeira avaliação, exceto para T1. A menor severidade foi encontrada novamente em T3, com 2,22% e a maior em T1, com 2,5%. Neste estágio de R4, a cultura passava por um momento de veranico, com mais de 15 dias sem chuva, sem que houvesse condições favoráveis para o desenvolvimento da doença.

A severidade da doença está intimamente ligada com clássico triângulo da doença, que estabelece as condições para seu desenvolvimento, sendo, interação entre o hospedeiro suscetível, patógeno virulento e ambiente favorável (GAUMANN, 1946). Nas fases iniciais da cultura, o ambiente se mostrou favorável, porém os outros fatores não contribuíram para avanço da doença. Na fase reprodutiva, nem o ambiente estava favorável para o desenvolvimento do patógeno, o que pode ser observado na redução da severidade da mancha de bipolaris.

Em relação ao rendimento da cultura, houve diferença estatística entre os tratamentos, e a melhor resposta de produtividade foi obtida quando se utilizou nanoemulsão em adição ao padrão de fungicida da fazenda, com ganho de 1,46 sacas por hectare. Isso pode ser devido ao efeito fisiológico do ingrediente ativo da formulação, que, com base em suas propriedades em escala nanométrica, possui absorção melhorada, melhor solubilidade e estabilidade oferecendo vantagens de distribuição eficaz devido à sua grande área de superfície (RAWAT et al., 2018).

Além disso, o sistema de liberação lenta, utilizando dosagem menor do ingrediente ativo, pode estar produzindo apenas efeito *priming* na planta, interagindo de forma benéfica no metabolismo. Dessa forma, a planta investe na expressão de resistência apenas quando necessário, economizando seu custo com proteção (WALTERS e HEIL, 2007). Nesse

aspecto, é interessante notar que a aplicação do nanoemulsão não afeta negativamente o rendimento quando comparado às plantas de controle em nosso ensaio de campo.

Por outro lado, a menor produtividade foi encontrada no T3, com adição do produto agProtect, o mesmo tratamento que apresentou as menores severidades de mancha de bipolares nas avaliações realizadas. Isso pode ser devido ao custo de energia da planta tratada em um cenário de baixa pressão de doenças (WALTERS e HEIL, 2007; SESTARI e CAMPOS, 2021). Ao se utilizar o agProtect em conjunto com nanoemulsão, T4, o rendimento da cultura subiu em 11,26 sacas por hectare, comparado a aplicação do T3, provavelmente por um efeito benéfico da utilização da nanoemulsão.

O produto agProtect utilizado, tem como objetivo induzir a resistência da planta, no entanto, há relatos de considerável variabilidade na eficácia em condições de campo, esse possível impacto negativo da resistência induzida no rendimento, principalmente em baixa pressão da doença, pode ser devido ao desvio de recursos do crescimento e rendimento da planta (WALTERS E HEIL 2007; VALLAD E GOODMAN 2004).

Costa (2012), avaliou a viabilidade de aplicação de fungicida em vários híbridos de milho em diferentes regiões produtoras e verificou que os maiores rendimentos produtivos em consistência com aplicações de fungicidas ocorreram em situações de alta severidade dos patógenos. Dados semelhantes foram encontrados por outros pesquisadores (SOUSA et al., 2021). Estes autores citam inclusive, efeitos negativos de aplicações em situações de baixa pressão de doenças, isto quer dizer que o custo com o controle pode não compensar os ganhos de produtividade, principalmente para híbridos tolerantes, muitas vezes é descrito que a produção desses metabólitos são caros na ausência de benefícios (ACCAMANDO E CRONIN, 2012; EDWARDS MOLINA et al., 2019b), o que corrobora os dados encontrados neste presente estudo.

A busca por alternativas de controle de doenças mais sustentáveis tem crescido nos últimos anos (LOPES, ARAÚJO E RANGEL 2019). Mourão e colaboradores (2019) demonstraram a eficácia do óleo essencial de alecrim-pimenta na inibição do crescimento micelial e germinação de conídios de *B. maydis*, além da redução de 54% na severidade da doença em milho. Santana (2022), também demonstrou o efeito antifúngico contra *B. maydis* das emulsões de óleos essenciais de cravo e canela, inibindo em 92 e 93%, respectivamente, o crescimento micelial do fungo.

Estes e outros estudos, demonstram a eficácia do uso de óleos com efeito antifúngico no controle de doenças (LÓPEZ, 2015). Porém, apesar de seu potencial controle de doenças, alguns óleos apresentam características que limitam seu uso, como

volatilidade e falta de solubilidade em água. Com isso, a nanotecnologia se mostra como opção para potencializar o efeito desses ingredientes ativos e reduzir as limitações de suas formulações. A nanoemulsão possibilita a manutenção da atividade biológica do ingrediente ativo, mantendo o sistema homogêneo, além disso, a deposição uniforme das gotículas, permite que as moléculas cheguem a seu destino sem se degradar (JAISMAL; DUDHE; SHARMA, 2015).

Nesse contexto, o desenvolvimento de formulações baseadas em nanotecnologia abre novas possibilidades na agricultura. Com base nos resultados obtidos, a utilização da nanoemulsão em estudo pode atuar como complemento ao manejo de fungicidas ou até mesmo como substituto, quando em situações de baixa pressão de doenças, sendo um recurso interessante para uma produção mais eficiente, utilizando substâncias menos nocivas ao ambiente e a saúde, algo fundamental para se garantir a segurança alimentar no sistema de produção agrícola.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, a utilização da nanoemulsão foi capaz de melhorar a performance do manejo de fungicidas no controle de *Bipolaris maydis* em milho. Mesmo em uma situação de baixa pressão da doença, a formulação contribuiu para reduzir a severidade e aumentar a produtividade da cultura.

6. REFERÊNCIAS

- Accamando, A. K. & Cronin, J. T. (2012). Costs and Benefits of Jasmonic Acid Induced Responses in Soybean. **Plant Insect interactions**. v. 41 n° 3. P. 551-560.
- AGROCERES - **Guia de Sanidade Agroceres**. São Paulo. v.2 p. 34-36, 1996.
- Bhering, L.L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.187-190.
- Campanha Nacional de Abastecimento (CONAB) (2022). Acompanhamento da safra brasileira: Cana -de-Açúcar, In: safra 2022/2023 terceiro levantamento. Brasília.
- Campanha Nacional de Abastecimento (CONAB) (2022). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, In: safra 2021/2022 Décimo Segundo levantamento. Brasília.
- CLIMATE-DATA.ORG. Cima Sorriso-MT Brasil. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso/sorriso-32542/>>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- Costa, R. V.; Silva, D. D.; Cota, L. V. (2014). Mancha de Bipolaris do Milho. **Circular técnica 207**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Costa, R. V.; Cota, L. V.; Silva, D. D.; Meirelles, W. F.; Lanza, F. E. (2012). Viabilidade técnica e econômica da aplicação de estrobilurinas em milho. **Tropical Plant Pathology**, v. 37. p. 246-254.
- Cota, L. V.; Da Silva, D. D.; Costa, R. V. (2013). Helminthosporiose causada por *Exserohilum turcicum* na cultura do milho. **Circular técnica 195**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Cota, L. V.; Costa, R. V.; Silva, D. D.; Landau, E. C.; Guimarães, D. P.; Machado, J. R.; Mendonça, L. B. P.; Silva, A. F. da; Tardin, F. D.; Meirelles, W. F. (2018). Monitoramento do uso de fungicidas na cultura do milho no Brasil. **Circular técnica 249**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Dias, M. D., Pinheiro, V. F. & Café-Filho, A. C. (2016). Impact of anthracnose on the yield of soybean subjected to chemical control in the north region of Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 42, p. 18–23.
- EarthDaily Agro. Monitoramento agrícola a partir de análises de imagens de satélite. Vancouver, Canadá. <https://earthdailyagro.com/?lang=pt-br> Acesso em 13/02/2023.
- Edwards Molina, J. P.; Paul, P. A.; Amorim, L.; Silva, L. H. C. P.; Siqueri, F. V.; Borges, E. P.; Campos, H. D.; Nunes Junior, J.; Meyer, M. C.; Martins, M.C.; Balardin, R. S.; Carlin, V. J.; Grigolli, J. F. J.; Belufi, L. M. D. R.; Godoy, C. V. (2019). Meta-analysis of fungicide efficacy on soybean target spot and cost–benefit assessment. **Plant Pathology**, v.68, p.94–106.

Fancelli, A. L.; Dourado-Neto, D. (2003). **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba. ESALQ/USP. 208p.

Gaumann, E. (1946). **Plant infection theories**. Plant infection theories. pp.611.

Godoy, C. V.; Utiamada, C. M.; Meyer, M. C.; et al., (2020). Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2019/2020: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos. **Circular técnica 161**. Embrapa Soja, Londrina.

Jaiswal, M.; Dudhe, R.; Sharma, P. K. **Nanoemulsion: an advanced mode of drug delivery system**. 3 Biotech, v. 5, n. 2, p. 123-127, 2015.

Kurosawa, R.N.F., Vivas, M., Amaral, A.T., Ribeiro, R.M., Miranda, S B., Pena, G.F., Mora, F. (2017). Popcorn germplasm resistance to fungal diseases caused by *Exserohilum turcicum* and *Bipolaris maydis*. **Bragantia**. v.77, n.1, p.36- 47.

Lopes, P. R.; Araújo, K. C. S. & Rangel, I. M. L. (2019). Sanidade vegetal na perspectiva da transição agroecológica. **Rev. Fitos**. v.13, n.2, p.1778-194.

López-Meneses, A. K.; Plascencia-Jatomea, M.; Lizardi-Mendoza, J.; Rosas-Burgos, E. C.; Luque-Alcaraz, A. G.; Cortez-Rocha, M. O. (2015). Antifungal and antimycotoxigenic activity of essential oils from *Eucalyptus globulus*, *Thymus capitatus* and *Schinus molle*. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 664-671.

Miranda, R. A., Duarte, J. O., Garcia, J. C., Durães, F. O. M. (2021). Sustentabilidade da cadeia produtiva do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1518-4277.

Mourão, D. S. C.; Souza, M. R.; Reis, J. V. L.; Ferreira, T. P. S.; Osorio, P. R. A. et al. (2019). Fungistatic activity of essential oils for the controle f bipolares leaf spot in maize. **Journal of Medicinal Plants Research**. v.13, p.280-287.

Pinho, E.; Grootveld, M.; Soares, G.; Henriques, M. Cyclodextrins as encapsulation agents for plant bioactive compounds. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 121-135, 2014.

Poti, T., Mahawan, K., Cheewangkoon, R., Arunothayanan, H., Akimitsu, K. & Nalumpang, S. (2020). Detection and molecular characterization of carbendazim-resistant *Colletotrichum truncatum* isolates causing anthracnose of soybean in Thailand. **Journal of Phytopathology**, v.168, p.267–278.

Rawat, S., Pullagurala, V. L., Adisa, I. O., Wang, Y., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Factors affecting fate and transport of engineered nanomaterials in a terrestrial environment. **Current Opinion in Environmental Science & Health**. v. 6, p. 47-53.

Reis, E. M.; Reis. A. C.; Carmona, M. A. (2010). **Manual de Fungicidas**: guia para o controle químico de doenças de plantas. 6. ed. Passo Fundo: UPF, p. 13–16; 22–23; 31–33; 34; 46; 70–74.

Salvia-Trujillo, L., Martin-Belloso, O., e Julian McClements, D. (2016). Nanoemulsões de excipientes para melhorar a biodisponibilidade oral de bioativos. **Nanomateriais**, v.6, p.1–16.

Santana, P. T. R. (2022). Emulsão de Óleos Essenciais na Cultura do Milho (*Zea mays*) Contra a Helmintosporiose (*Bipolaris maydis*). Dissertação do programa de pós-graduação em biotecnologia e biociências da Universidade Federal de Santa Catarina. Número de páginas?

Sestari, I., Campos, M. L. (2022). Into a dilemma of plants: the antagonism between chemical defenses and growth. **Plant Molecular Biology**. v.109. p. 469-482.

Sousa, C. W. A.; Pinho, S. L. S.; Tubiana, D. O. et al. (2021). Uso de fungicida em milho safrinha em condição de baixa pressão de doenças foliares. XVI seminário nacional de milho safrinha. Embrapa Pesca e Aquicultura/ Embrapa Milho e Sorgo. p. 29-30

United States Department of Agriculture (USDA) (2023). World Agricultural Production. Circular Series WAP 1-23.

Vallad, G. E. & Goodman, R. M. (2004). Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. **Crop Sci**. v.44, p.1920-34.

Walters, D. & Heil, M. (2007). Costs and trade-offs associated with induced resistance. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. v. 71, p. 3-17.