



ANDREANE BASTOS PEREIRA

**NANOPARTÍCULAS E MISTURA EM TANQUE NO
CONTROLE DE DOENÇAS DA SOJA**

**LAVRAS - MG
2024**

ANDREANE BASTOS PEREIRA

**NANOPARTÍCULAS E MISTURAS EM TANQUE NO CONTROLE DE
DOENÇAS DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de
concentração em Fitopatologia, para a obtenção do
título de Doutora.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

Orientador

**LAVRAS- MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor(a).**

Pereira, Andreane Bastos.

Nanopartículas e misturas em tanque no controle de doenças da
soja / Andreane Bastos Pereira. - 2023.

85 p.: il.

Orientador (a): Edson Ampélio Pozza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. nanopartículas. 2. soja. 3. mistura em tanque. I. Pozza, Edson
Ampélio. II. Título.

ANDREANE BASTOS PEREIRA

**NANOPARTÍCULAS E MISTURAS EM TANQUE NO CONTROLE DE
DOENÇAS DA SOJA**

NANOPARTICLES AND TANK MIXTURES IN SOY DISEASE CONTROL

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 29 de setembro de 2023

Dr. Paulo Estevão – UFLA

Dr. Helon Santos Neto – Fundação Chapadão

Dr. João Marcos Leite – ICL

Dra. Carolina da Silva Siqueira – UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Agradeço por todos os obstáculos que Deus coloca em meu caminho, pois quando chego ao topo da montanha, reconheço na paisagem o que ele queria me ensinar.

Agradeço a minha família que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Meus agradecimentos ao Silvio, técnico do laboratório de Epidemiologia e Ariane assistente administrativa do DFP por todo apoio, dedicação, conselhos e atenção durante todos esses anos de pós-graduação no laboratório de Epidemiologia. Agradeço também aos meus colegas Cristian, Mauro, Felipe, Viviane, Júlio, Yasmin, Júlia e Vitoria por todo apoio durante a condução dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Edson Pozza por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Agradeço por ter tido a chance de conviver e aprender com alguém que é exemplo de sabedoria, humildade e dedicação.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras (UFLA), aos professores do Departamento de Fitopatologia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e suporte financeiro.

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Devido a prática da agricultura intensiva em clima tropical e solos geralmente pouco férteis e ácidos, ocorre o aumento de problemas fitossanitários. Doenças, pragas e plantas daninhas são os principais fatores limitantes de produtividade. Além do mais a ocorrência dessas pragas ocorre simultaneamente no campo, tornando o controle difícil e caro, pois não se encontra no mercado um produto específico com ação capaz de controlar esse conjunto de problemas. Com a intenção da redução de danos e custos e otimização de tempo, a prática de mistura de produtos agroquímicos em tanque tem sido largamente utilizada, no Brasil, pois se torna viável ao produtor, devido a redução do número de pulverizações, resultados rápidos, menores custos por economia com mão de obra, desgaste de maquinários, consumo de combustíveis e emissão de carbono e danos à copa das culturas, além de outros benefícios. Porém, as misturas podem sofrer alterações físico-químicas, devido a incompatibilidade de diferentes ingredientes ativos presentes na calda, acarretando problemas no maquinário utilizado para aplicar os produtos, perda de eficácia dos ingredientes ativos misturados e aumento da toxicidade, causando danos a plantas. A prática de mistura em tanque sempre foi algo presente nas propriedades rurais do país. Porém, sua regulamentação só ocorreu no ano de 2018, segundo a Portaria 148 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Devido a essa diferença de tempo entre o uso e a regulamentação ocorreu escassez de informações e conhecimento sobre a prática. Pesquisas realizadas citam o interesse da maioria dos produtores sobre informações da mistura em tanque. Diante disso, esta revisão tem por objetivo destacar e reunir as informações e trabalhos já realizados sobre esses temas.

Palavras-chave: nanopartículas, mistura em tanque, soja, ferrugem asiática.

ABSTRACT

Brazil is one of the largest food producers and exporters in the world. Due to the practice of intensive agriculture in a tropical climate and soils that are generally not very fertile and acidic, there is an increase in phytosanitary problems. Diseases, forecasts and plants are the main factors limiting productivity. Furthermore, the occurrence of these consequences occurs simultaneously in the field, making control difficult and expensive, as there is no specific product on the market with action capable of controlling this set of problems. With the intention of reducing damage and costs and optimizing time, the practice of mixing agrochemical products in tanks has been widely used in Brazil, as it becomes viable for the producer, due to the reduction in the number of sprays, quick results, smaller costs due to savings in labor, wear on machinery, fuel consumption and carbon emissions and damage to the crop canopy, in addition to other benefits. However, mixtures can undergo physical-chemical changes, due to the incompatibility of different active ingredients present in the syrup, causing problems in the machinery used to apply the products, loss of effectiveness of the mixed active ingredients and increased toxicity, causing damage to plants. The practice of tank mixing has always been present on rural properties across the country. However, its regulation only occurred in 2018, according to Ordinance 148 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). Due to this time difference between use and the underlying scarcity of information and knowledge about the practice. Research carried out cites the interest of most producers in tank mix information. Therefore, this review aims to highlight and bring together the information and work already carried out on these topics.

Keywords: soybean: nanoparticules; soybean; tank mix; asian rust.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1.INTRODUÇÃO	9
2.REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1.Doenças da soja	11
2.1.1.Síndrome da morte súbita	11
2.1.2.Ferrugem asiática	12
2.2.Misturas em tanque.....	13
2.2.1.Misturas em tanque: aspectos legais.....	15
2.2.2.Mistura em tanque: aspectos agronômicos	15
2.3.Propriedades físico-químicas de produtos	17
2.4.Incompatibilidade de misturas.....	26
3.Nanopartículas no controle de doenças	30
REFERÊNCIAS	33
SEGUNDA PARTE – Artigos	40
ARTIGO 1: Manejo da Ferrugem da Soja com o uso de Nanopartículas em mistura com fertilizantes foliares.....	40
1.Introdução.....	40
2. Material e Métodos.....	42
2.1 Nanopartículas.....	42
2.2 Avaliação da germinação de uredosporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	42
2.3 Eficiência de nanopartículas no controle da ferrugem asiática da soja em Casa de Vegetação.....	43
2.4 Obtenção de inóculo e inoculação	43
2.5 Variáveis analisadas	44
2.5.1 Avaliação da severidade da doença	44
2.5.2 Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD).....	44
3. Análise estatística	44
4. Resultados	45
4.1 Avaliação da germinação de uredosporos de <i>Phakopsora Pachyrhizi</i>	45
4.2 Severidade da doença.....	47
4.3 AACPDS.....	47
4.4 Peso da parte aérea seca	48

5. Discussão	49
6. Considerações finais	50
REFERÊNCIAS	51
ARTIGO 2: Mistura de fertilizantes foliares e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja	54
1. Introdução	54
2. Material e Métodos	56
2.1 Experimento em Laboratório	56
2.2 Experimento em Casa de Vegetação	57
2.3 Obtenção de inóculo e inoculação	58
2.4 Variáveis analisadas	58
2.4.1 Avaliação da intensidade da doença	58
2.4.2 Avaliação de clorofila	59
2.4.3 Avaliação das variáveis morfológicas	59
2.4.5 Avaliação da fitotoxidez da planta	59
3. Análise estatística	60
4. Resultados	60
4.1 Condutividade Elétrica e pH	60
4.2 Avaliação da doença	64
5. Discussão	65
6. Conclusão	68
Anexo 1	72
ARTIGO 3: Manejo da Morte Súbita em Soja com o uso de nanopartículas de CuO e ZnO	73
1. Introdução	74
2. Material e Métodos	75
2.1 Nanopartículas, plantas e inóculo	75
2.2 Avaliação dos efeitos do CuO e ZnO no controle da Morte Súbita em Soja em Casa de Vegetação	76
2.3 Análise estatística	76
3. Resultados	77
3.1 Experimento 1	77
3.2 Experimento 2: Interação das Nanopartículas de CuO + ZnO nas doses de 50 e 500 ppm na severidade da Morte Súbita em Soja	78
4. Discussão	80

5. Conclusão	82
6. Agradecimentos	82
7. Conformidade com padrões éticos.....	82
7.1 Conflito de interesses.	82
7.2 Estudos em humanos e animais.....	82
8. Referências Bibliográficas	82

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo, o agronegócio representa um dos principais pilares do PIB brasileiro. No ano de 2022 o PIB do agronegócio teve expansão de 25%. Ou seja, um reflexo da alta de preços dos produtos agrícolas devido aos altos custos e a quebra de produção, em resposta das condições climáticas desfavoráveis (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA, 2023).

Para o ano de 2023 a previsão é atingir a produção de 308,9 milhões de toneladas de grãos, ou seja, aumento de 17,4% ou 45,7 milhões de toneladas a mais produzidas na safra anterior. A protagonista dessa história continua sendo a soja, com crescimento de área plantada de 2,5% e produção estimada de 154,62 milhões de toneladas (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2023). De acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) até o ano de 2050, deve ocorrer aumento de 80% na demanda da produção mundial por alimentos, e o Brasil deverá responder por metade desse montante.

A expectativa em relação ao Brasil continuar sendo o principal país produtor responsável por suprir essa futura demanda, é devido a considerável sustentabilidade de processos produtivos do país. Áreas legalmente agricultáveis, clima favorável para produzir durante todo ano, além de tecnologia para cultivar em solos tropicais, com destaque para as pastagens degradadas (EMBRAPA, 2021).

Porém, com a prática da agricultura intensiva juntamente com o clima tropical, ambiente no qual é totalmente favorável ao aumento de problemas bióticos. Devido à ausência de períodos desfavoráveis a insetos e patógenos. Sendo assim, além do cenário de mudanças climáticas, doenças, pragas e plantas daninhas são os principais fatores limitantes de produtividade (DE LIMA et al., 2012).

Dentre as principais doenças que acometem a produção de soja, citam-se a Síndrome da morte súbita e ferrugem asiática. O agente causal da Síndrome da morte súbita é o *Fusarium solani* f. sp. *glycines* (ROY, 1997). O patógeno infecta a raiz, reduzindo a massa e a nodulação (ALMEIDA et al., 2005) e provocando necrose acentuada no tecido cortical da raiz, podendo se estender para o tecido lenhoso da haste (FARIAS NETO, A. L. et al., 2008).

A ferrugem asiática tem como agente causal o fungo *Phakopsora pachyrhizi*, sendo responsável por perdas produtivas de até 90% em condições ideais de desenvolvimento (PELIN; WORDELL FILHO; NESI, 2020). O fungo produz urédias responsáveis pela

produção e liberação dos uredósporos, que seguida da produção do tubo germinativo e posterior crescimento do mesmo na superfície da folha formam o apressório, culminando com intensa desfolha precoce e comprometimento do enchimento e da formação das vagens e dos grãos (ZAMBOLIM et al., 2022).

A ocorrência dessas doenças e pragas ocorrem simultaneamente no campo por todo ciclo das culturas, tornando o controle difícil e oneroso, pois exige produtos específicos e de baixo impacto ambiental. Com isso, é necessário pulverizar fungicidas, inseticidas, herbicidas, agentes de controle biológico e nutrientes, para reduzir a intensidade desses problemas fitossanitários, sendo o controle químico a opção mais viável de manejo no controle de doenças de plantas (SOUZA & DUTRA, 2003).

É importante destacar a rigidez das legislações referentes ao uso de agroquímicos no mundo. Cada vez mais são exigidos requisitos para recomendar o emprego desses produtos, respeitando sempre a saúde humana e o pensamento de sustentabilidade verde (LEAL et al., 2019). Devido á estes fatores e á perdas na produção, produtores tem procurado diferentes alternativas de controle.

Nesse sentido, com a intenção de reduzir danos e custos, a prática de mistura dos agroquímicos em tanque torna-se a mais viável ao produtor, devido a resultados rápidos e com menor custo. Segundo Gazziero (2015), 97% das propriedades rurais realizam a mistura em tanque. Essa prática consiste em associar fungicidas, herbicidas, inseticidas e fertilizantes foliares no tanque antes da aplicação. Proporcionando assim, vários benefícios como o menor consumo de água e de combustível, a menor compactação do solo e exposição dos aplicadores aos agroquímicos (GUIMARÃES 2014; KRAUSE 2014; OLIVEIRA 2014).

Porém, a prática de mistura em tanque só foi regulamentada, no ano de 2018, segundo a Portaria 148 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). A prática sempre foi algo presente nas propriedades rurais do país. Entretanto, a maior parte dos produtores afirmam escassez de informações e conhecimento sobre essa operação (GAZZIERO, 2015). Principalmente, de quais produtos podem ser misturados sem a perda de eficiência e assim do controle de insetos e patógenos.

Diante da busca de novas práticas de manejo das doenças de plantas, o uso de nanopartículas pode ser promissor para obtenção de controle, podendo ser utilizadas em aplicação direta como fungicidas e fertilizantes. Estudos tem verificado eficiência de nanopartículas em forma de óxidos metálicos de micronutrientes na proteção de plantas (ELMER; WHITE, 2018; ELMER et al., 2018; BORGATTA et al., 2018), além de possuir papel

importante no metabolismo da planta, agindo na formação de fenólicos, lignina e quinonas (GRAHAM; WEBB, 1991; ROEMHELD; MARSCHNER, 1991). Portanto esse trabalho tem por objetivo descrever e discutir os efeitos do uso da mistura em tanque no manejo de doenças da soja

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Doenças da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma das principais oleaginosas produzidas e consumidas no mundo todo (HARTMAN; WEST; HERMAN, 2011). No entanto, a lucratividade da produção de soja tem sido impactada negativamente pelas doenças que ocorrem em seu cultivo (BANDARA et al., 2020). Dentre estas, este estudo tem como foco duas dessas doenças de importância para produção de soja, a síndrome da morte súbita e a ferrugem asiática.

2.1.1. Síndrome da morte súbita

A síndrome da morte súbita em soja foi inicialmente relatada nos Estados Unidos no ano de 1972 (RUPE; ROBBINS; GBUR, 1997). No Brasil, a doença foi identificada pela primeira vez na cidade de São Gotardo-MG na safra 1981/82, na cultivar UFV-1 (YORINORI, 2005), sendo também denominada como podridão vermelha da raiz. Nos casos ocorridos na época, o agente causal foi o *Fusarium solani* (RUPE, 1987), sendo classificado como *Fusarium solani* f. sp. *glycines* alguns anos depois devido aos estudos detalhados do fungo (ROY, 1997).

Bandara et al. (2020), relatam quatro patógenos causadores da síndrome da morte súbita são conhecidos: *Fusarium virguliforme*, *Fusarium tucumaniae*, *Fusarium brasiliense* e *Fusarium crassistipitatum*. Esses fungos pertencem ao clado 2 do complexo de espécies *Fusarium solani* (HARTMAN et al., 2015; NAVI; YANG, 2016). Bandara et al (2020), ressaltam que o número e a distribuição geográfica das espécies que causam a doença está aumentando, pois patógenos foram detectados em muitas áreas de produção de soja em todo o mundo (CHEHRI; SALLEH; ZAKARIA, 2014; CUMMINGS et al., 2018; HARTMAN et al., 2015; TEWOLDEMEDHIN et al., 2017).

Os patógenos infectam primeiramente as raízes, ocasionando o desenvolvimento radicular deficiente e podridão radicular podendo evoluir para sintomas foliares, com

desfolhamento e morte precoce (ROY et al., 1997). Os sintomas foliares podem ser bastante variáveis e muitas vezes se manifesta de forma agressiva e a planta morre subitamente (GONGORA-CANUL et al., 2012).

Os sintomas foliares são causados por toxinas liberadas pelos fungos devido não conseguir invadir o caule por muitos centímetros acima da linha do solo (ROY, 1997). Estruturas de resistência na forma de clamidósporos, localizadas no solo e em restos culturais, constituem o inóculo primário da doença (ROY et al., 1997). Condições de alta umidade do solo e baixas temperaturas são favoráveis ao desenvolvimento da doença, da qual temperaturas em torno de 15°C favorecem o desenvolvimento de sintomas nas raízes e os sintomas na parte aérea são favorecidos por temperaturas entre 22° e 24°C.

O manejo da morte súbita tem sido difícil, embora alguns avanços tenham sido feitos (HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015). A seleção de plantas mais resistentes tem apresentado resultados benéficos no controle do patógeno. Porém, a identificação de cultivares resistentes é difícil porque o início e a expressão da doença são fortemente dependentes de fatores ambientais (SCHERM; YANG, 1999). O tratamento das sementes com fungicidas também apresenta resultados positivos (WEEMS et al., 2015, KANDEL et al., 2016), embora o uso extensivo pode levar a consequências ambientais negativas e deixar resíduos na cultura. Alternativamente, a rotação de culturas pode fornecer supressão em alguns campos se o produtor dispor de outras culturas para produção (HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015).

2.1.2. Ferrugem asiática

A ferrugem asiática da soja é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, pode ser considerada uma das doenças mais devastadoras da soja em todo o mundo (LANGENBACH et al., 2016). Este fungo foi inicialmente identificado no Japão em 1902, na primeira metade do século XX começou a se espalhar pela Ásia tropical e subtropical e Oceania (GODOY et al., 2016). No Brasil foi relatado pela primeira vez o ano de 2001 (YORINORI et al., 2005), causando perdas significativas de produtividade.

Nos primeiros anos de surtos epidêmicos, as perdas de rendimento foram elevadas devido à falta de fungicidas eficazes e à falta conscientização dos agricultores sobre a presença da nova doença em seus campos (GODOY et al., 2016). As perdas de produtividade estão relacionadas com a desfolha precoce e redução da área fotossintética ativa (KUMUDINI et al.,

2008). As reduções na colheita podem chegar a 90% (SIKORA et al. 2014; DALLA LANA et al., 2018).

Para controlar a doença, diversos fungicidas químicos tem sido usados. Porém, o uso excessivo de fungicida combinado com diferentes classes aumenta a probabilidade das cepas dos fungos desenvolverem gradual insensibilidade gradual (LANGENBACH et al., 2016). No Brasil, o número de fungicidas necessários para controlar a ferrugem asiática aumentou desde o primeiro surto e, assim, elevou os custos de produção da soja (GODOY et al., 2016).

Nesse sentido, Práticas de caráter preventivos são extremamente importantes e não devem ser ignoradas, devendo serem aplicadas em conjunto com a utilização de fungicidas, onde a mistura de ingredientes ativos contribui para o manejo. O patógeno produz teliosporos distribuídos em duas a sete camadas (CARVALHO JUNIOR; FEGUEIREDO, 2000). Após causar lesões na planta, o fungo produz urédias, responsáveis pela produção e liberação dos uredosporos. A epidemia inicia com a germinação dos uredosporos, seguida pela produção do tubo germinativo e seu posterior crescimento na superfície da folha, até formação do apressório (GOELLNER et al., 2010).

Todo o processo produtivo da soja é afetado pela doença devido à grande desfolha precoce que compromete o enchimento e a formação das vagens e dos grãos (CAGLIARI et al., 2019). A ferrugem diminui a capacidade fotossintética da planta, reduzindo significativamente a habilidade de produzir energia necessária para seu desenvolvimento.

2.2. Misturas em tanque

Segundo Lima (1997), até o início da década de 80 a prática de misturas de produtos em tanque foi recomendada por pesquisadores e empresas fabricantes de agroquímicos. Porém, no ano de 1985, o Ministério da Agricultura suspendeu essa técnica, por meio do ofício DIPROF/SDSV 198/85, encaminhado à Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF).

Após a suspensão, ocorreram inúmeras reuniões, ações e debates em congressos e seminários científicos entre os pesquisadores brasileiros e órgãos legisladores do país com o propósito de discutir e regularizar a recomendação da mistura em tanque. Por consequência, em 1995, foi publicada a Portaria 67 (BRASIL, 1995), criando a possibilidade de as empresas incluírem nos registros a recomendação da prática. Porém, muitos questionamentos técnicos vieram à tona, e a portaria foi revogada em 2002 na Instrução Normativa nº 46 (BRASIL, 2002a).

Assim, de fato, os questionamentos se a prática da mistura em tanque, pode ou não ser proibida continuaram. Segundo a AENDA (2011), após a revogação da portaria, a mistura em tanque não era proibida, apenas passou a ser de responsabilidade exclusiva do agricultor e os registros para as misturas não eram mais exigidos juntos ao Ministério da Agricultura.

Porém, o uso de defensivo agrícola só pode ser recomendado por profissionais legalmente habilitados, os produtos são prescritos em receituário agrônomo com recomendações de uso compatíveis aos rótulos e bulas desses produtos, conforme o decreto 4.074/02 (BRASIL, 2002b). Portanto, mesmo a prática de mistura em tanque não sendo proibida na época, não podia ser prescrita em uma receita agrônoma.

Devido a mistura em tanque não ser regulamentada até então, estudos e informações sobre a prática passaram a ficar cada vez mais escassos. Com isso, os produtores ficaram carentes de informações confiáveis. Dessa forma, gerando ausência de informações sobre essa prática.

Gazziero (2015), realizou pesquisa qualitativa, do qual foi elaborado um questionário com perguntas sobre misturas em tanque. Esse foi disponibilizado para consultores particulares, assistentes técnicos públicos e de cooperativas e produtores rurais autônomos. Entre os entrevistados, 97% relataram praticar misturas em tanque e a maioria deles (72%) dizem não encontrar informações técnicas suficientes nos meios científicos e nas mídias. Entretanto, 99% dos entrevistados demonstraram interesse em receber informações sobre esse tipo de prática, sendo desse montante, um total de 77% relatou a preferência da fonte de informação vir principalmente de instituições de pesquisa e do fabricante.

Ficava explícita a carência de informação e de conhecimento sobre a técnica de misturas em tanque por agricultores. Porém, segundo o estudo de GAZZIERO (2015), a prática continuava sendo feita nas propriedades, mesmo não sendo legalizada, até então.

Em fevereiro de 2018, o Ministério da Agricultura submeteu um projeto de Instrução Normativa (IN) conjunta com o MAPA, ANVISA e IBAMA estabelecendo critérios a serem adotados para recomendar a mistura em tanque de agroquímicos e afins. Além da prescrição em receituário agrônomo. O projeto ficou disponível durante 60 dias para consulta pública. Dessa forma, a população podia participar e contribuir com a elaboração da IN.

Segundo a coordenadora da Comissão de Defesa Agrícola da Associação dos Produtores de Soja e Milho do Mato Grosso, Roseli Giachini (APROSOJA, 2017), esse instrumento, não tinha apenas objetivo de regularizar a prática de mistura em tanque. Mas, também levou em consideração a parte social e ambiental.

Enfim, em 11 de outubro de 2018, a mistura em tanque foi regulamentada por meio da Instrução Normativa N°40 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

2.2.1. Misturas em tanque: aspectos legais

A prescrição da receita agrônômica, por engenheiro agrônomo, de um ou mais pesticidas associados em mistura está prevista no art. 66, Inciso IV, alínea “a” do Decreto n° 4.074/2002.

Porém, recomendações de misturas em tanque presentes em rótulos e bulas feitas por fabricantes de produtos agroquímicos, devem ser avaliadas por MAPA, ANVISA e IBAMA, conforme previsto no Inciso I, do § 2° do art. 22 do Decreto n° 4.074/2002.

Dessa forma, é recomendado o profissional responsável sempre estar atento as recomendações de uso presentes em bulas e rótulos de produtos aprovados. Nesse caso, quando já ocorreu a aprovação do uso da mistura presente na bula, o profissional deve seguir as recomendações presentes, sob pena de caracterizar infração a legislação, quando não seguida.

Além disso, é importante para o profissional ter conhecimento sobre a Lei n° 6.299-B, de 2022, conhecida popularmente como a lei dos agrotóxicos. Esta lei contextualiza sobre um sistema complexo de exigências e regras de controle de uso, buscando garantir a qualidade dos agroquímicos disponibilizados no mercado agrícola.

A lei, regularizou e autorizou e colocou sob exclusiva responsabilidade do engenheiro agrônomo a recomendação da aplicação combinada de diferentes agroquímicos ou a popular “mistura de tanque”.

Portanto, cabe ao engenheiro agrônomo não prescrever recomendações de misturas de agroquímicos associados incompatíveis, já descritos em bula ou na literatura. Além de estar atento as doses, intervalos de segurança, tecnologia de aplicação e cuidados com o ambiente e os aplicadores e colaboradores.

2.2.2. Mistura em tanque: aspectos agronômicos

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo. A extensão das áreas agrícolas, a agricultura intensiva em conjunto com o clima tropical, cria ambientes favoráveis a maior intensidade de problemas fitossanitários. Doenças, pragas, plantas daninhas são os principais limitantes da produtividade da lavoura, além disso é comum a ocorrência simultânea desses fatores bióticos, resultando demanda por mais de uma aplicação de agroquímicos (GUIMARÃES, 2014).

Porém, não se encontra no mercado um produto específico com amplo espectro de ação, capaz de controlar esse conjunto de problemas. Sendo assim, é necessário utilizar mais de um produto no tanque de pulverização (PETTER et al., 2013).

A mistura em tanque, trata-se da associação de defensivos agrícolas e fertilizantes foliares no equipamento aplicador, antes da pulverização. Essa prática sempre foi uma realidade no Brasil, como também em outros países. Tem como objetivo reduzir custos com combustíveis e água, de maneira a reduzir a emissão de carbono e preservar recursos hídricos, otimizar o tempo, diminuir a compactação do solo e proporcionar menor exposição do agricultor aos produtos químicos (OLIVEIRA, 2019).

Porém, esse tipo de técnica necessita de conhecimento. Pois são encontrados no mercado, diversos tipos de produtos fitossanitários, com diferentes ingredientes ativos. E assim, essa mistura pode causar incompatibilidade entre eles (GANDOLFO, 2014).

A prática de mistura em tanque requer cuidado, é necessário conhecimento. Principalmente sobre a incompatibilidade dos produtos e sua eficiência no manejo fitossanitário. A mistura de diferentes ingredientes ativos dentro do equipamento de pulverização pode apresentar altas concentrações, exigindo um sistema eficiente de agitação de caldas e boas escolhas em relação aos bicos e pontas de pulverização (CASTRO, 2009).

Quando é realizada mistura em tanque sem os devidos cuidados com produtos de diferentes origens, formulações e matéria prima, pode ocorrer dois tipos de incompatibilidade, a física e a química (GAZZIERO, 2015).

A incompatibilidade física gera decantação, floculação, heterogeneidade da mistura e insolubilidade dos produtos, resultando entupimento de mangueiras e bicos de pulverização e saturação de filtros. Além de causar desuniformidade da deposição do produto no órgão alvo da planta (PETTER, 2012). Enquanto a incompatibilidade química, causada por dissociação da molécula ou sua ligação com outros átomos, resulta em perda de eficácia dos ingredientes ativos misturados e aumento da toxicidade, causando danos a plantas e consequentemente reduzindo seu potencial produtivo (TREZZI et. al., 2005).

Porém, quando a prática é realizada de forma correta, assessorada por profissional da área, tem como resultado inúmeros benefícios para o agricultor, seus colaboradores e o ambiente. Para a prática ter sucesso nas propriedades rurais, é recomendado o conhecimento prévio sobre os tipos de formulações dos produtos utilizados na mistura, a sequência de adição desses no tanque de pulverização e o preparo e armazenamento da calda (RAKES et al., 2018).

Após o Ministério da Agricultura legalizar a prática de mistura em tanque, alguns estudos foram realizados com intuito de fornecer informações sobre incompatibilidades de ingredientes ativos, sua influência no controle de problemas fitossanitários e suas consequências toxicológicas para o ambiente. Porém, ainda pouco se conhece sobre todos esses efeitos quando realizada a mistura em tanque (MACIEL et al., 2009).

A prática de mistura em tanque de dois ou mais ingredientes ativos podem resultar em efeitos diferentes. São conhecidos três efeitos, o efeito aditivo, quando um produto não interfere na eficácia do outro, efeito antagônico, quando um diminui a eficácia do outro e o efeito sinérgico, os produtos conseguem aumentar a eficácia um do outro (QUEIROZ et al., 2008; GAZZIERO & SOUZA, 1993; TREZZI, 2005).

2.3. Propriedades físico-químicas de produtos

As propriedades físico-químicas das caldas de pulverização possuem relação direta com a estabilidade da solução ou da suspensão. Sendo, a compatibilidade dos produtos, o principal fator responsável por alterações físico-químicas das misturas (PETTER et al., 2013).

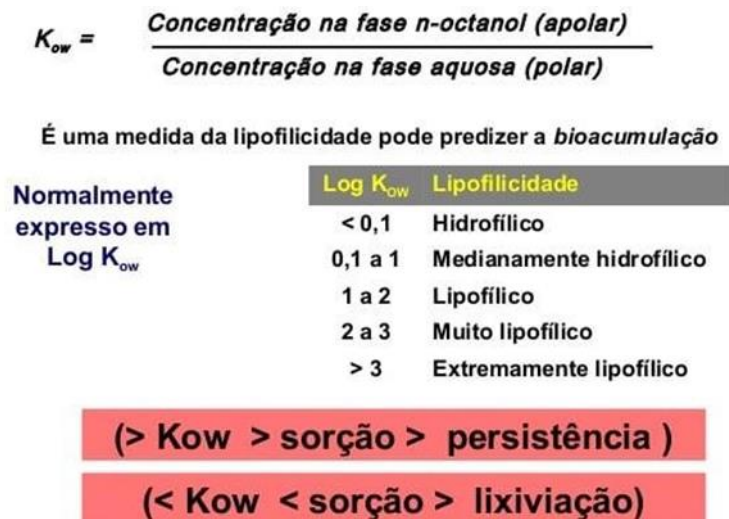
Solubilidade, constante de ionização (pKa), a meia vida do elemento T_{1/2}, a pressão de vapor P e o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) são as propriedades físicas responsáveis por alterar as misturas em tanque e sucessivamente ocorrerão as interações químicas (IKEDA, 2013). Além disso, o K_{ow} está diretamente relacionado com a absorção foliar, indicando o caráter lipofílico da molécula. Quanto maior este coeficiente do defensivo, maior será a absorção foliar desse composto devido à natureza lipídica da cera na cutícula das folhas (SANTOS et al., 2018).

A solubilidade é a medida da quantidade de fungicida com capacidade de dissolver-se em água ou solventes orgânicos. Alguns se dissolvem bem em água, mas não em solventes orgânicos, por exemplo. A medida de solubilidade é conhecida como K_{ow} (Octanol/Water Coeficiente), sendo denominado também de coeficiente de partição - P_{ow} (ROMAN et al., 2005).

O K_{ow} é determinado pela relação entre a quantidade relativa de fungicida com capacidade de dissolver em octanol e água. Fungicidas com baixo K_{ow} são solúveis em água, enquanto aqueles com alto são solúveis em solventes orgânicos (Figura 1) (ROMAN et al., 2005).

O Pow também é utilizado para descrever a distribuição de substâncias entre dois meios imiscíveis, a água e solventes orgânicos. Ou seja, a principal diferença entre Kow e Pow é o solvente utilizado para a medição. Kow refere-se ao equilíbrio entre octanol e água enquanto Pow refere-se ao equilíbrio entre solvente orgânico específico e água.

Figura 1: Esquema do coeficiente de distribuição entre octanol-água (Kow)



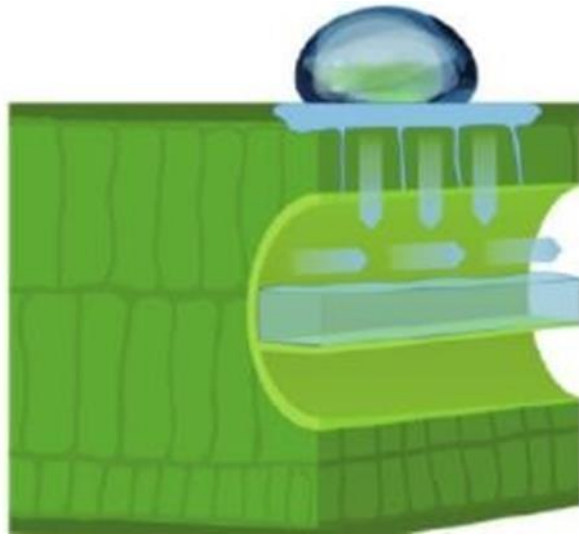
Fonte: Nissen, Sterling e Namuth (2019).

O valor de log Kow representa a medida de como uma substância dispõe-se entre dois solventes imiscíveis, como a água (polar) e o óleo (apolar). Desta forma, o Kow está relacionado com a polaridade da molécula (INÁ SAVIOLI et al., 2016). Sendo utilizado para avaliar e medir a velocidade de translocação ou sistemicidade de agroquímicos como fungicidas e herbicidas nas plantas (SANTOS, 2016).

Milhome et al. (2009), relataram valores médios de Kow de 3,9 para triazóis e 3,6 para estrobilurinas, isso ocorre devido os valores de Kow dependerem de mecanismos como troca iônica, precipitação, complexação e adsorção das moléculas no meio. Além, é claro da formulação de cada companhia, como estratégia para melhorar a performance dessas moléculas no ambiente agrícola. Em relação a sistemicidade dos fungicidas, estes são classificados de acordo com a mobilidade do químico pela planta. Quando aplicado via foliar, a absorção corre através da cutícula da planta, chegando ao parênquima paliádico e depois ao lacunoso, até ser translocado via vasos condutores (Figura 2), como o xilema e o floema (BECKERMAN, 2018).

Essa absorção pode ocorrer também via sistema radicular quando aplicado ao solo, por fluxo de massa, acompanhando o movimento da água até o interior da raiz.

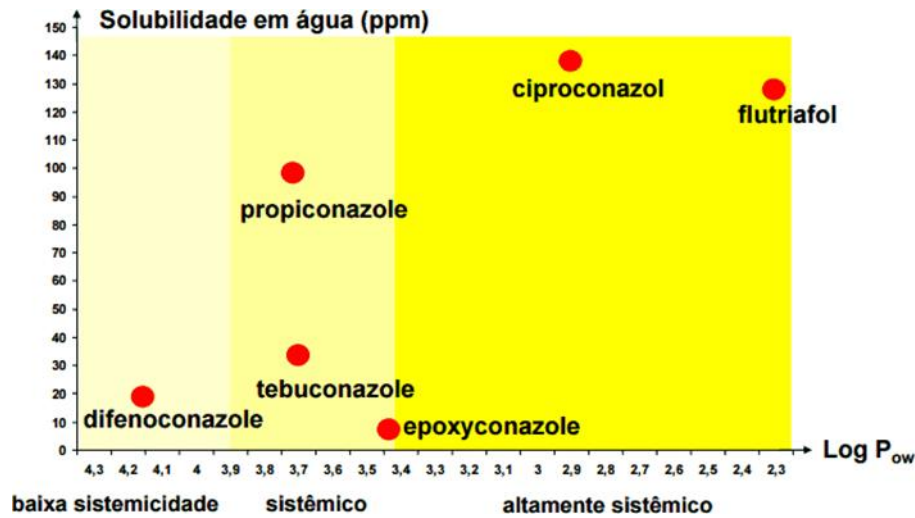
Figura 2: Modo de ação de fungicidas sistêmicos.



Fonte: Stefanello et al. (2017).

Os principais fungicidas desse grupo são os benzimidazóis, carboxamidas, triazóis (Figura 3), imidazóis, morfolinás e algumas estrobilurinas (Figura 4). Porém, existem diferentes graus de mobilidade/sistemicidade dentro dos fungicidas sistêmicos, como ilustram as imagens abaixo para triazóis e estrobilurinas (BAPTISTELLA, 2020).

Figura 3: Solubilidade dos triazóis em água (ppm ou mg/Kg ou L) em relação ao Log Pow ou Kow.



Fonte: Menten e Banzato (2016).

Nessa situação, produtos que possuem o Kow elevado, tem facilidade de absorção e translocação rápida nos tecidos das plantas, não necessitando da utilização do óleo mineral, dessa forma a aplicação tenderá a ser eficiente somente com a utilização do produto. Já os produtos com o Kow baixo (<1), são mais lentos para serem absorvidos e translocados dentro das plantas, sendo interessante a utilização do adjuvante óleo mineral, para aumentar o Kow, facilitando a absorção e translocação dentro das plantas.

Figura 4: Sistemicidade da Estrobilurinas.

INGREDIENTE ATIVO	NOME COMERCIAL	Log P _{ow}
AZOXYSTROBINA	AMISTAR	2,5
PIRACLOSTROBINA	COMET	4,0
TRIFLOXYSTROBINA	FLINT	4,5

MAIOR MOBILIDADE

MENOR MOBILIDADE

Fonte: Menten e Banzato (2016).

Stefanello et al. (2017), ressaltaram a importância do conhecimento das características físico-químicas dos fungicidas para obter boa eficácia e redução das perdas no campo. Fungicidas imóveis demandam boa cobertura de gotas por unidade de folha, sendo muito suscetíveis à lavagem pela chuva. Já os fungicidas móveis no tecido possuem vantagens inversamente proporcional ao citado anteriormente. No entanto, a movimentação a longas distâncias na planta de qualquer fungicida é limitada.

Na tabela 1 estão descritas algumas propriedades físico-químicas dos fungicidas. Alterações físicas em misturas, causam na maioria das vezes precipitados e separação de fases, resultando a perda de eficiência do produto, pois a maior parte do produto não é transportado até o alvo, juntamente com as gotas pulverizadas (DELLA VECHIA, 2017).

Tabela 1: Propriedades físico-químicas de fungicidas, solubilidade em água e Kow.

Pesticidas	Solubilidade em água (S*)	Kow*
Propineb	10 mg/l	-0,26
Penconazole	730 mg/l	3,72
Difenoconazol	15 mg/l	4,2
Chlorothalonil	0,81 mg/l	2,92
Carbendazim	29 mg/l	1,38
Tetraconazole	156 mg/l	3,56
Trifloxystrobin	0,61 mg/l	4,5
Iprodione		3,5
Mancozeb	6,2 mg/l	-
Sulphur	Insolúvel	-
*Thiophanate methyl	Insolúvel	1,5
Bromadiolone	19 mg/l	-
Coumatetralyl	4 mg/l	3,46
Metaldehyde	222 mg/l	0,12
Azoxistrobina	6,7 mg/l	2,5
Propiconazole	150 mg/l	3,72
Piriproxifem	0,37 mg/l	5,37
Tiametoxam	4100 mg/l	-0,013
Piraclostrobina	1,9 mg/l	3,99
Triazofos	35 mg/l	3,55
Teflubenzuron	0,01 mg/l	4,3
Metam Sodium	722 g/l	<1

Nota: *S: solubilidade em água a 20° C; Kow: coeficiente de partição octanol/água, pH = 7, 20° C.

Fonte: Da autora (2024).

Segundo Costa et al. (2017), as alterações físicas estão também relacionadas a mistura de diferentes ingredientes ativos presentes na calda. Em suspensões concentradas, chega a ser encontrado de 20 a 50% de ingrediente ativo (JESUS, 2019).

Em relação as alterações químicas, a ocorrência é de maneira definitiva, afetando diretamente o alvo e interferindo na concentração do produto (PETTER et al., 2013). Segundo Prado et. al., (2011), os valores de pH são alterados quando realizada mistura de diferentes agroquímicos, interferindo nos níveis de dissociação dos ingredientes ativos e na estabilidade física das soluções ou suspensões. A tabela 2 apresenta valores de pH ideal para alguns fungicidas.

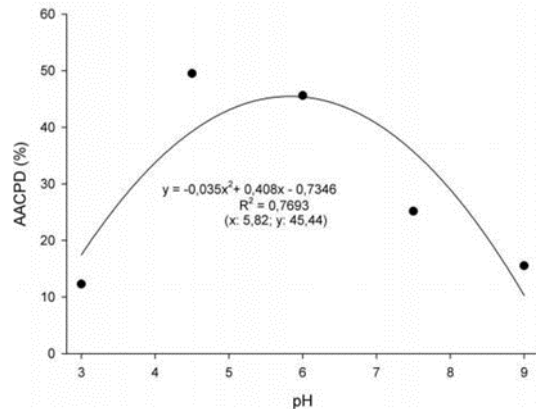
Tabela 1: Valores de pH ideal para alguns fungicidas.

Princípio ativo	pH Ideal
Benomil	5
Bitertanol	5
Captan	5
Carbendazim	5
Carboxin	5
Clorothalonil	5
Cyproconazole	5,0-6,0
Difenoconazole	5
Dodine	6,0-7,0
Fernarimol	5,0-6,0
Iprodione	5
Mancozeb	5
Oxicloreto de Cobre	5,0 -6,5
Propiconazole	5
Tebuconazole	5,0-6,5
Thiofanato Metilico	5
Thiabendazole	5
Triadimefon	5
Triforine	5

Fonte: North Carolina Agricultural Extension (2024).

Lopes (2019), avaliou a influência do pH de calda quando utilizado o fungicida Elatus 200 g.ha⁻¹ no controle da Ferrugem Asiática da Soja no campo, o autor relatou aumento gradual da AACPD com o incremento do pH de 4,5 até o valor de 5,82 (Figura 5).

Figura 5: Valores máximos obtidos para área da curva de progresso da doença em relação à testemunha (AACPD, %) em função do pH da calda de pulverização de Elatus 200 gr.ha⁻¹.



Fonte: Lopes (2019).

Segundo Velloso (1996), o pH pode influenciar a taxa de hidrólise do produto fitossanitário, afetando o nível de dissociação do ingrediente ativo e a estabilidade física da calda, gerando produto mais tóxico, causando a fitotoxicidade nas plantas. Enquanto o aumento do pH da calda pode reduzir a eficácia do produto.

Pereira, Moura e Pinheiro (2015), relataram mudanças nas propriedades físico-químicas da formulação devido aos componentes presentes na calda, promovendo reação de elementos, de cargas diferentes, alteração de pH e precipitação. A estabilidade física do ingrediente ativo do defensivo agrícola e da calda a ser aplicada, podem ser afetadas por componentes simples como a água, dependendo do seu pH. As variações extremas podem afetar a eficácia e a estabilidade desses produtos.

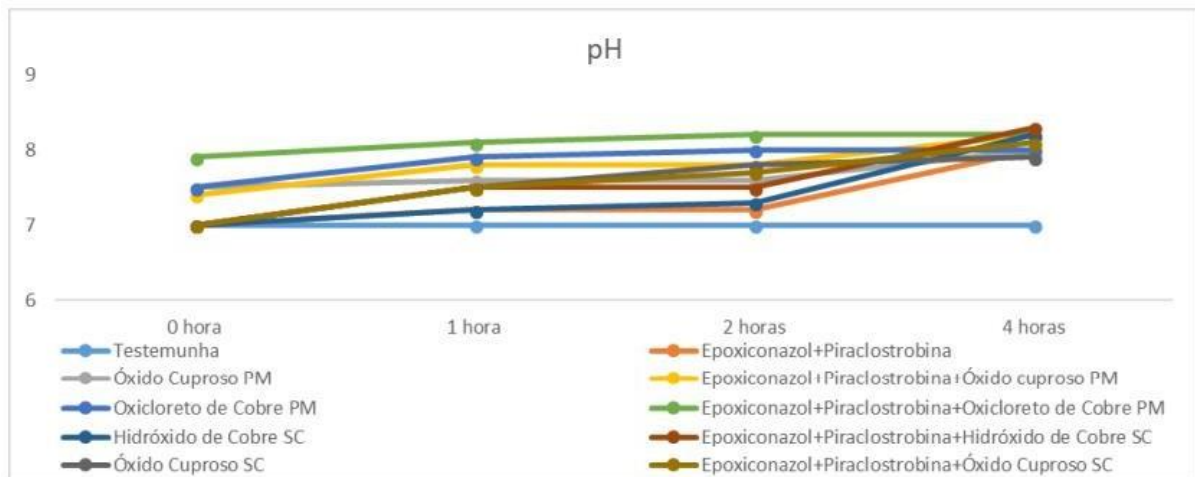
Existe correlação positiva entre aumento do pH e aumento na hidrólise de um produto, ou seja, quanto maior o pH, mais rapidamente ocorre a hidrólise, em alguns casos, pode ocorrer em questão de minutos.

Paula (2018), realizou estudo para verificar o controle da Ferrugem e da Cercosporiose do Cafeeiro com fungicida sistêmico associado ou não com protetores à base de cobre (TABELA 3). O autor utilizou diferentes combinações de fungicidas, e realizou dezessete

avaliações em intervalos mensais da incidência da Ferrugem e da Cercosporiose em folhas do cafeeiro. As incidências foram obtidas a partir da relação do número de folhas doentes e número total de folhas amostradas, o autor avaliou também o pH das caldas.

Paula (2018), verificou a variação no pH da calda de pulverização com os produtos adicionados a água e com o tempo após a mistura dos mesmos com a água, de 7 a 8,3. Uma hora após a mistura, apenas a Testemunha não alterou o pH. E quatro horas após a mistura com exceção da Testemunha, todos os tratamentos tiveram aumento de 1,1 ponto de pH da calda de pulverização ou 15,1%, em média, em relação ao tempo zero (Figura 6).

Figura 6: Curva de progresso do pH da calda de pulverização em função da mistura e do tempo para a aplicação.

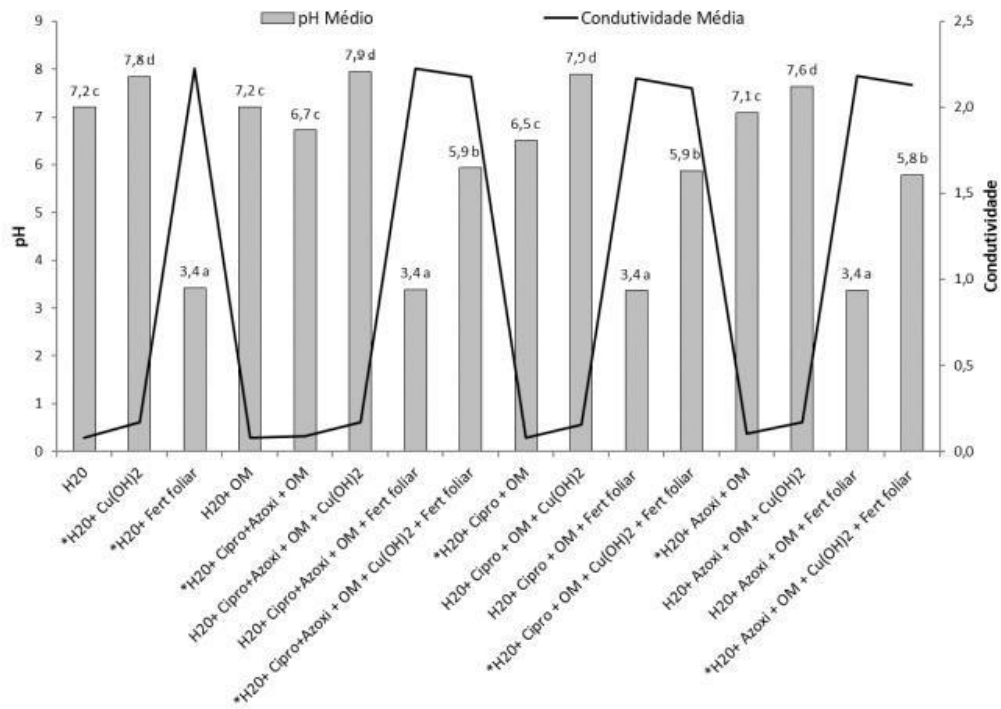


Fonte: Paula (2018).

Portanto, segundo Paula (2018), o pH da calda aumentou com o tempo em todas as misturas.

Vilela (2019), com o objetivo de avaliar o impacto das misturas, quando se utilizam os fungicidas triazol e/ou estrobilurina, juntamente com fertilizante foliar e fungicidas cúpricos, no controle da ferrugem em cafeeiros verificou alteração no pH e na condutividade elétrica quando realizada mistura dos fungicidas ciproconazol e azoxistrobina com fertilizante foliar e com hidróxido de cobre. Na mistura com o fertilizante foliar, o pH foi alterado para menor e a condutividade elétrica para maior, já com o hidróxido de cobre o pH foi alterado para maior e a condutividade permaneceu constante (Figura 7).

Figura 7: Valores médios de pH da calda e condutividade elétrica das misturas dos fungicidas avaliados com fertilizante foliar e fungicida cúprico.



Fonte: Vilela (2019).

Marcolino (2019), avaliou o pH e a condutividade de acordo com o tempo após a preparação da calda, e também observou interação significativa entre os produtos e o tempo de calda.

Os valores de pH para os produtos hidróxido de cobre e piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre tiveram maiores valores, com 9,73 e 9,63, respectivamente. Para o tempo de 0 horas após o preparo da calda, o valor do pH de piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre foi de 9,51, enquanto Sulfato de cobre + Glucona foi de 4,49. No tempo de 2 horas após o preparo da calda, os produtos com alterações expressivas nos valores de pH em relação a primeira avaliação, foram o Cu + EDTA com 23,1%, o óxido cuproso com 21,5%, piraclostrobina + epoxiconazol com 13,5% e sulfato de cobre + glucona também com 13,5%. No tempo de 4 horas apenas o óxido cuproso teve alteração maior que 10%, com valor de 14,9%. Já para a condutividade elétrica, Marcolino (2019) verificou interação entre produto e o tempo após o preparo da calda (Tabela 4).

Tabela 2: Médias da Condutividade elétrica dos produtos.

PRODUTOS	Condutividade Elétrica						
	0 h ¹	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h
1- Sulfato de cobre + Glucona	0,32 b	0,32 b	0,33 b	0,33 b	0,33 b	0,33 b	0,34 b
2- Cu + EDTA	0,26 c	0,26 c	0,26 c	0,26 c	0,26 d	0,26 d	0,25 e
3- Hidróxido de Cobre	0,25 d	0,25 c	0,26 c	0,26 c	0,27 c	0,27 c	0,27 c
4- Óxido cuproso	0,05 e	0,05 d	0,05 e	0,05 e	0,057 f	0,057 e	0,06 f
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	0,05 e	0,05 d	0,05 e	0,05 e	0,050 g	0,05 f	0,05 g
7 - Etilfosfonato de Cobre	1,44 a	1,44 a	1,44 a	1,43 a	1,41 a	1,4 a	1,40 a
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de Cobre	0,26 c	0,25 c	0,24 d	0,24 d	0,25 e	0,26 d	0,26 d
9 - Testemunha	0,04 f	0,04 e	0,04 f	0,04 f	0,04 h	0,04 g	0,04 h

¹ Horas após o preparo da calda. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Marcolino (2019).

2.4. Incompatibilidade de misturas

Segundo Silva et al. (2007), a perda de eficiência das misturas de agroquímicos ocorre principalmente devido a incompatibilidade físico química entre os produtos, causada devido as interações de diferentes formulações.

Essa incompatibilidade ocorre devido a dissociação das moléculas em íons, de cargas positivas e negativas. Esses íons se ligam, presentes na calda, e a resultante elétrica dessa dissociação varia em função do pH da solução ou suspensão (THEISEN & RUEDELL, 2004).

Porém, esse problema de incompatibilidade “pode” ser resolvido com o uso de redutores de pH e adjuvantes (VIDAL, 2002). Ou seja, as empresas, podem ajustar suas formulações para diferentes cenários.

Quando é realizado o desenvolvimento de novas moléculas, essas são testadas em misturas em tanque com outros produtos, a dose ideal e qual a melhor época de aplicação. Além disso, de acordo com Leal et al. (2019), o produto deve possuir baixo risco de resistência e ser específico para um ou poucos patógenos, possuir alvo específico e ser de baixa toxicidade ao ambiente.

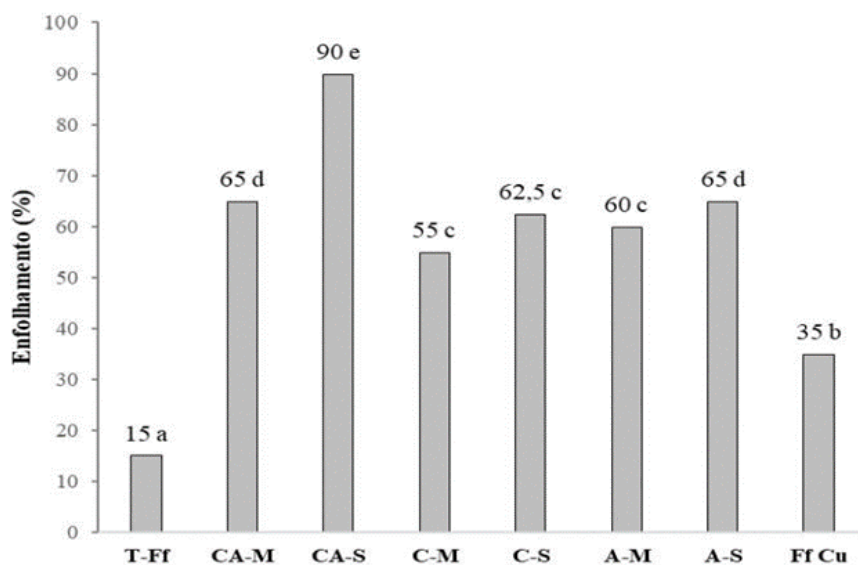
Alterações de valores de pH, condutividade elétrica, estabilidade de calda e tensão superficial já foram relatados por Petter et al. (2013) e Della Vechia, (2017), em misturas de tanque. Os autores afirmam influência desses efeitos na eficiência dos tratamentos

fitossanitários e efeitos toxicológicos desconhecidos. Cada produto possui uma faixa de pH ideal (Tabela 2), possibilitando melhor eficácia e auxiliando na absorção dos ingredientes ativos na planta. Sendo assim, em algumas situações pode ser impossível ajustar o pH da mistura de tanque para todas as moléculas.

Alguns estudos sobre incompatibilidade de misturas foram realizados em diferentes culturas. Vilela (2019), avaliou os efeitos das misturas de triazol e/ou estrobilurina, juntamente com fertilizante foliar e fungicidas cúpricos (Tabela 5), no controle da Ferrugem do Cafeeiro e os impactos causados na produtividade da cultura.

A autora observou redução no controle da Ferrugem e do enfolhamento quando utilizou misturas de ciproconazol e/ou azoxistrobina, fungicida cúprico e fertilizante foliar. As plantas mais enfolhadas foram do tratamento ciproconazol+azoxistrobina, com 90% de enfolhamento, seguido por ciproconazol+azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre + fertilizante foliar e azoxistrobina separado, estatisticamente iguais e, por sua vez, superiores aos tratamentos ciproconazol separado, ciproconazol em mistura de tanque com fungicida cúprico, à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar e azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar, os quais apresentaram o terceiro melhor enfolhamento, variando de 55 a 62,5% (Figura 8).

Figura 8: Porcentagem média de enfolhamento das plantas do cafeeiro, após tratamento com fungicidas.

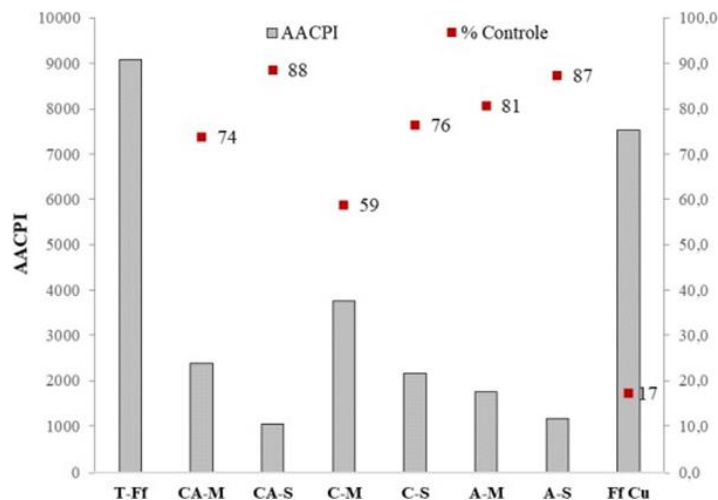


Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si, por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. T-Ff: testemunha com fertilizante foliar; CA-M: ciproconazol+azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; CA-S: ciproconazol+azoxistrobina separado; C-M: ciproconazol em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; C-S: ciproconazol separado; A-M: azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico a base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; A-S: azoxistrobina separado; Ff Cu: fertilizante foliar + fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre.

Fonte: UFLA, Lavras - MG (2019).

Vilela (2019), registrou diferença entre os tratamentos para incidência, em todos os meses avaliados e para área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da Ferrugem do Cafeeiro. Além disso, na maioria dos meses, o tratamento com apenas fertilizante foliar e o fungicida cúprico hidróxido de cobre (Ff Cu) foram semelhantes a T-Ff ou superior apenas à T-Ff e inferior aos demais (Figura 9).

Figura 9: Área abaixo da curva do progresso da doença para incidência (AACPI) da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro e porcentagem de controle, após tratamento com fungicidas, período de janeiro a maio de 2016.



Nota: T-Ff: testemunha com fertilizante foliar; CA-M: ciproconazol+azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; CA-S: ciproconazol+azoxistrobina separado; C-M: ciproconazol em mistura de tanque com fungicida cúprico, à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; C-S: ciproconazol separado; A-M: azoxistrobina em mistura de tanque com fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre+fertilizante foliar; A-S: azoxistrobina separado; Ff Cu: fertilizante foliar + fungicida cúprico à base de hidróxido de cobre.

Fonte: UFLA, Lavras - MG (2019).

Carmona et al., (2019), também avaliaram o uso do cobre e fungicidas triazóis em soja, no entanto, identificaram resultado sinérgico para o controle de doenças foliares e proteção da produtividade de grãos, quando utilizou a mistura de fosfito de cobre + picoxistrobina e ciproconazol. Liljeroth et al., (2016), afirmam, ao adicionar fosfito de cobre a mistura de estrobilurina + triazol, pode ocorrer atraso do desenvolvimento da resistência a doenças ao modo de ação desses grupos, resultando assim, prolongamento da vida útil dos ingredientes ativos da mistura.

Além disso, a dose de cobre no fosfito é menor, quando comparada a um fungicida protetor, podendo variar dependendo da formulação específica do fosfito e do fungicida protetor. Entretanto, o mesmo não foi observado por Costa et al. (2019), quando avaliaram o uso de misturas de fungicidas e cobre no controle da Ferrugem do Cafeeiro, os autores observaram queda de eficiência no controle, devido a ocorrência da hidrólise alcalina dos fungicidas sistêmicos mediado pelo cobre.

Embora os fungicidas com o cobre apresentem menor efeito, o uso combinado dos sistêmicos com hidróxido de cobre, tem a vantagem de fornecer cobre às plantas, além de reduzir o risco de selecionar populações de Ferrugem resistentes a fungicidas, menor exposição do trabalhador rural a produtos fitossanitários e redução de custos operacionais com aplicação. Porém dependendo do produto, seus adjuvantes e outras misturas de tanque, pode ocorrer redução da eficiência dos produtos sistêmicos (POZZA, 2021).

Segundo Vilela (2019), a mistura de tanque, contendo os fungicidas ciproconazol e/ou azoxistrobina mais o cúprico e o fertilizante foliar comprometeu negativamente a eficiência de controle da Ferrugem do Cafeeiro, reduzindo o enfolhamento.

Vilela (2019), observou diferentes resultados sobre compatibilidade das misturas de vários produtos, todavia, a eficácia dos fungicidas pode estar associada às mudanças químicas e físicas, resultantes das misturas das substâncias. Por isso, a qualidade química da água, o pH, entre outros, deve ser observado e levado em consideração (PETTER et al., 2013). Em relação ao pH, altas concentrações de íons H⁺ ou OH⁻ poderão reagir com o ingrediente ativo, diminuindo, assim, a concentração deste na calda (PRADO et al., 2011) e a sistemicidade (VILELA, 2019).

A incompatibilidade física entre fungicidas (piraclostrobina/epoxiconazole, (piraclostrobina/epoxiconazole, trifloxistrobina/tebuconazole, carbendazin, flutriafol, azoxystrobina/ciproconazol, flutriafol/tiofanato-metilico) e inseticidas (methomyl, clorpirifós, teflubenzuron, triflumuron, cipermetrina e tiametoxam+lambdacialotrina), na ausência e

presença de dois redutores de pH (ácido pirolenhoso e ácido bórico), foi avaliada por Petter (2012) et. al. Os autores usaram uma escala de 1 a 5, o número 1 representa separação imediata da mistura e 5 a homogeneidade das misturas. Os autores observaram incompatibilidades físicas entre clorpirifós, teflubenzuron e triflumuron com todos os fungicidas testados.

Moraes et al., (2016), estudaram os efeitos da aplicação de misturas de herbicidas e adubos foliares em soja, e observaram fitotoxicidade nas plantas quando utilizada a mistura de lactofen + tepraloxymid. O mesmo foi observado por Petter et al., (2012), quando avaliou a interação física entre misturas em tanque de diferentes classes de agroquímicos em laboratório, observando incompatibilidades entre as misturas com a presença dos herbicidas glyphosate na formulação WG e lactofen CE.

Entretanto, Rakes et al. (2018), realizaram um estudo sobre a compatibilidade físico-química de misturas de agroquímicos em tanque de pulverização para a cultura do arroz irrigado. Os autores avaliaram as misturas de herbicidas, herbicidas + inseticidas, fungicidas e fungicidas + inseticidas (Tabela 6), e relataram compatibilidade dos produtos testados em mistura, não havendo alteração físico-química na pulverização dos tratamentos na cultura do arroz.

Portanto, relatos de incompatibilidade de misturas entre produtos são comuns. Sendo assim, nota-se a necessidade de conhecimento do profissional responsável, coerente com a compatibilidade entre formulações, dosagens e a interação entre os produtos nas misturas em tanque, para evitar a incompatibilidade e consequentemente resultar na perda de eficácia dos produtos aplicados e efeitos tóxicos para as culturas.

3. Nanopartículas no controle de doenças

Conforme já mencionado, vários métodos vêm sendo aplicado no controle de doenças de plantas, especialmente em soja, que é foco deste trabalho. Todavia diante dos desafios da utilização de fungicidas, outros meios alternativos vêm sendo testados no manejo de doenças. Entre eles, pode-se citar a utilização de nanopartículas, podendo ser utilizadas em forma de aplicação direta como fungicidas e fertilizantes. Além de agir na defesa das plantas, os micronutrientes possuem papel importante no metabolismo da planta, com ação direta na formação de fenólicos, lignina e quinonas (GRAHAM; WEBB, 1991; ROEMHELD; MARSCHNER, 1991).

As nanopartículas são conhecidas como qualquer partícula/material que possui dimensões únicas ou múltiplas na escala de 1 a 100 nm. A nanotecnologia foi denominada pela

primeira vez em 1974 pelo professor Norio Taniguchi da Universidade de Ciências de Tóquio para explicar a síntese de precisão de materiais no nível nanométrico (HASSAN et al., 2021; SAIED et al., 2021). Esse material têm a capacidade de se tornar o sistema complexo de diferentes agentes constituintes principais ativos desejados, de modo a realizar o funcionamento dentro do organismo-alvo (HASSAN et al., 2021; SAIED et al., 2021).

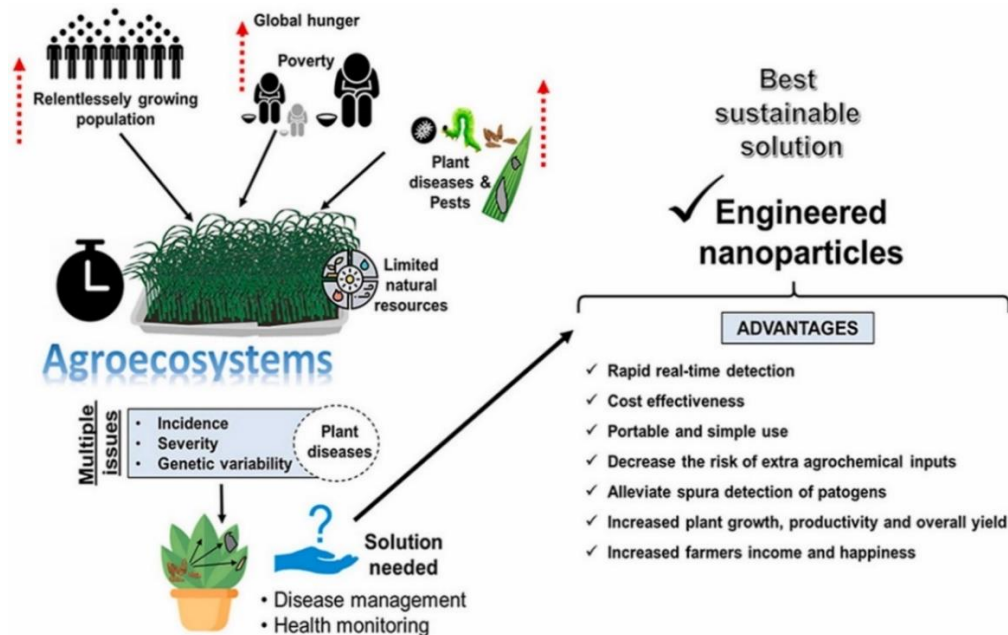
Elmer, Ma e White (2018), afirmam que existem vários benefícios na utilização de nanopartículas no controle de doenças de plantas, como a redução de substâncias químicas ativas que afetam o agroecossistema. Grandes quantidades de bactericida/fungicida e fertilizantes aplicados não atingem seu alvo e acabam entrando nas águas subterrâneas, contaminando ecossistemas vulneráveis. Considerando a grande área de superfície ativa de nanopartículas, quantidades menores podem fornecer resultados semelhantes ou melhores, e minimizar a exposição de áreas não-alvo quando comparado com as formas maiores.

Além disso, a nanotecnologia oferece uma variedade de propriedades exclusivas adicionais que podem ser exploradas no manejo fitossanitário, como melhor solubilidade, atividade residual mais duradoura de agroquímicos e maior atividade residual. A maioria das nanopartículas existentes não têm aplicação em fitopatologia (ELMER; MA; WHITE, 2018). Porém, existem alguns estudos de nanotecnologia no manejo de doenças de plantas, como o uso de nanopartículas de metaloides, óxidos metálicos, não-metals (simples e compostos), nanomateriais de carbono (ELMER; WHITE, 2018; WORRALL et al., 2018; RAMEZANI; GERAMI, 2019).

O estudo de Kumar et al. (2022), apresenta uma síntese da utilização de nanopartículas, da qual ilustram que a engenharia de nanopartículas apresenta diversas vantagens para solucionar problemas relacionados ao agroecossistema. Dentre as vantagens, os autores citam a detecção rápida em tempo real, baixo custo, uso portátil e simples, diminuição dos riscos do uso de agrotóxicos, aumento da produtividade de plantas, aumento do lucro na produtividade, dentre outros.

Malandrakis et al. (2019) e Kumar et al. (2021), ainda acrescentam que as nanopartículas fornecem uma opção ecológica promissora para sintetizar agroquímicos, devido a novas propriedades que permitem a liberação lenta do ingrediente ativo, melhoram a entrega de drogas, reduzem o risco de resistência a doenças, liberação controlada e modo de ação em vários locais.

Figura 10: Síntese da utilização de nanopartículas e vantagens para solucionar problemas relacionados ao agroecossistema.



Fonte: Kumar et al. (2022).

As nanopartículas de óxidos metálicos como Zinco (Zn), Titânio (Ti), Níquel (Ni), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Cério (Ce), Prata (Ag), Ouro (Au), Alumínio (Al), metaloides (B e Si), fulerenos não-metais, óxido de grafeno, pontos quânticos, lipossomas têm sido explorado na patologia vegetal (ELMER; WHITE, 2018; ALGHUTHAYMI et al., 2021). Essas nanopartículas apresentam potencial na fitopatologia pela ação antimicrobianas, materiais genéticos, nanofertilizantes, nanofungicidas e nanobacteriocidas.

Diferentes fontes de cobre em forma de nanopartículas mostraram efeito positivo, em alguns estudos desenvolvidos por Borgatta et al. (2018); Elmer e White (2016); Elmer et al. (2018) em hortifrúti no controle de *Fusarium* e *Verticillium* e aumento de produtividade das culturas estudadas. Graham et al. (2016), avaliaram aplicação de nanopartículas em citros, e comprovaram redução da severidade do Cancro Cítrico.

O uso de zinco para controle de doenças de plantas também vem sendo estudado. Pesquisas mostram o uso de NP de Zn aumentando a resistência de citros e beterraba a doenças (GRAHAM et al. 2016). Em pesquisa realizada por Plaza Pérez (2019), foi evidenciado redução de 27% da podridão das raízes em comparação com o controle, quando aplicadas NP de ZnO para controle de *F. virguliforme* em soja.

REFERÊNCIAS

- ALGHUTHAYMI, M. A. et al. Nanohybrid antifungals for control of plant diseases: Current status and future perspectives. *Journal of Fungi*, v. 7, n. 1, p. 48, 2021.
- ALMEIDA, A. M. R. et al. Doenças da soja (*Glycine max*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). *Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas*, 4. ed. São Paulo: Ceres, 2005. p. 569-588.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DEFENSIVOS GENÉRICOS – AENDA. Mistura em tanque. *Caderno AENDA*, n. 1, p. 1-11, 2011.
- BANDARA, A. Y. et al. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PloS one*, v. 15, n. 4, p. e0231141, 2020.
- BAPTISTELLA, J. L. C. O que são fungicidas sistêmicos e de contato e qual utilizar? *Aegro*, 2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/fungicida-sistêmico/>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- BECKERMAN, J. Fungicide Mobility for Nursery, Greenhouse, and Landscape Professionals. *Pardue*, 2018. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/BP/BP-70-W.pdf>. Acesso: 27 de dez. 2021.
- BORGATTA, J. et al. Copper based nanomaterials suppress root fungal disease in watermelon (*Citrullus lanatus*): role of particle morphology, composition and dissolution behavior. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 6, n. 11, p. 14847-14856, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 67 de 30 de maio de 1995. Regulamenta o uso das misturas de agrotóxicos em tanque. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 46, de 24 de julho de 2002. Determina às empresas titulares de registros de agrotóxicos a retirada das indicações de misturas em tanque dos rótulos e bulas de seus agrotóxicos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2002^a
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto 4074 que regulamenta a Lei 7802 de 11 de julho de 1989 que dispõe sobre agrotóxicos, seus componentes e afins e de outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2002b.
- CAGLIARI, Deise et al. Management of pest insects and plant diseases by non-transformative RNAi. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 1319, 2019.
- CARMONA, M.A. et al. Copper phosphite enhances efficacy of a strobilurin- triazole fungicide in controlling late season foliar diseases of soybean. *Crop Protection*, 115:130-134, 2019.
- CASTRO, V. L. S. S. Uso de misturas de agrotóxicos na agricultura e suas implicações toxicológicas na saúde. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, v. 4, n. 1-3, p. 87- 94, 2009.
- CARVALHO JR, A. A.; FIGUEIREDO, M. B. de et al. The real identity of the soybean rust in Brazil. *Summa Phytopathologica*, v. 26, n. 2, p. 197-200, 2000.
- CHEHRI, K.; SALLEH, B.; ZAKARIA, L. *Fusarium virguliforme*, a soybean sudden death syndrome fungus in Malaysian soil. *Australasian Plant Disease Notes*, v. 9, p. 1-7, 2014.

- COSTA, G. A. et al. Tank mix application of copper hydroxide either with cyproconazole or pyraclostrobin fungicides reduced the control of coffee leaf rust. *Crop Protection*, v. 124, 2019.
- CUMMINGS, J. A.; MYERS, K. L.; BERGSTROM, G. C. First report of sudden death syndrome of soybean caused by *Fusarium virguliforme* in New York. *Plant disease*, v. 102, n. 10, p. 2036-2036, 2018.
- DALLA LANA, Felipe et al. Meta-analytic modeling of the decline in performance of fungicides for managing soybean rust after a decade of use in Brazil. *Plant disease*, v. 102, n. 4, p. 807-817, 2018.
- DE LIMA, L. M.; POZZA, E.A.; SANTOS, F.S. Relationship between of Brown Eye Spot of Coffee Cherries and the Chemical Composition of Coffee Beans. *Journal of Phytopathology*, 2012
- DELLA VECHIA, J. F.; FERREIRA, M. C.; ANDRADE, D. J. Interaction of spirodiclofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yothersi* in citrus. *Pest Management Science*, Jaboticabal, v. 74, n. 11, p.1-19, 2018.
- ECHER, Thais Caroline Influência da mistura de fungicidas e inseticidas no controle de oídio (*Microsphaera diffusa*) da soja em casa de vegetação / Thaís Caroline Echer Pato Branco. UTFPR, 2019.
- ELMER, W.; MA, C.; WHITE, J. Nanoparticles for plant disease management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 6, p. 66-70, 2018.
- ELMER, W.; WHITE, J. C. The future of nanotechnology in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology*, v. 56, p. 111-133, 2018.
- ELMER, W. H.; WHITE, J. C. The use of metallic oxide nanoparticles to enhance growth of tomatoes and eggplants in disease infested soil or soilless medium. *Environmental Science: Nano*, v. 3, n. 5, p. 1072-1079, 2016.
- FARIAS NETO, A. L. et al. Podridão vermelha da raiz (*Fusarium solani*) e mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) na cultura da soja. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.
- GAZZIERO, D. L. P.; PRETE, C. E. C.; SUMIYA, M. Manejo de *Bidens subalternans* resistente aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. *Planta Daninha*, v. 21, n. 2, p. 283-291, 2003.
- GOELLNER, Katharina et al. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. *Molecular Plant Pathology*, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.
- GONGORA-CANUL, C. et al. Temporal dynamics of root and foliar severity of soybean sudden death syndrome at different inoculum densities. *European Journal of Plant Pathology*, v. 132, p. 71-79, 2012.
- GODOY, C. V. et al. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.407-421, 2016.
- GRAHAM, J. H. et al. Potential of nano-formulated zinc oxide for control of citrus canker on grapefruit trees. *Plant Disease*, v. 100, n. 12, p. 2442-2447, 2016.
- GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. *Micronutrients in Agriculture*, v. 4, p. 329-370, 1991.

GUIMARÃES, G. L. Principais fatores comerciais condicionantes da disponibilidade de produtos isolados e em misturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29, 2014, Gramado. Palestra... Gramado: 2014. CD ROM.

HASSAN, S. E. et al. 2021. *Rhizopus oryzae*-Mediated green synthesis of magnesium oxide nanoparticles (mgo-nps): a promising tool for antimicrobial, mosquitocidal action, and tanning effluent treatment. *Journal of Fungi*, v. 7, 372.

HARTMAN, G. L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the World 2. Soybean worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, v. 3, p. 5–17, 2011.

HARTMAN, G. L.; CHANG, H. X.; LEANDRO, L. F. Research advances and management of soybean sudden death syndrome. *Crop Prot.* v. 73, p. 60–66, 2015.

INÁ SAVIOLI, G. et al. Características físico-químicas e toxicológicas do Triticonazol. *RevInter*, v. 9, n. 3, p. 36-49, 2016.

JESUS, M.G. (2019) Análises físico-químicas das caldas e espectro de gotas com diferentes formulações de inseticidas em simulação de aplicação aérea. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista – Unesp Câmpus Botucatu.

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21.,1997, Caxambu. Palestras e mesas redondas... Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.

KRAUSE, N. D. Necessidades tecnológicas relacionadas a novos ingredientes ativos, formulações e da prática da realização de misturas de agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29.2014, Gramado. Palestra... Gramado: 2014. CD ROM.

LANGENBACH, Caspar et al. Fighting Asian soybean rust. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 797, 2016.

LEAL, F. D. S. Desenvolvimento e criação de novos fungicidas. In: POZZA, E. A. International Symposium on Plant Disease Management Plant Health in Tropical Agribusiness. Lavras: Ed. UFLA, 2019. p. 28-49.

LIMA, L. C. F. Produtos fitossanitários: misturas em tanque. Cascavel: Ocepar/Coodetec/Associação Nacional de Defesa Vegetal, 1997. 13 p. (Relatório Técnico)

Liljeroth, E., Lankinen, A., Wiik, L., Burra, D.D., Alexandersson, E., Andreasson, E., 2016. Potassium phosphite combined with reduced doses of fungicides provides efficient protection against potato late blight in large-scale field trials. *Crop Protect.* 86, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.003>.

KANDEL, Y. R. et al. Fungicide and cultivar effects on Sudden Death Syndrome and yield of soybean. *Plant Disease*, v. 100, p. 1339–1350, 2016.

KUMAR, A. et al. Potential applications of engineered nanoparticles in plant disease management: a critical update. *Chemosphere*, v. 295, p. 133798, 2022.

KUMAR, A. et al. Smart nanomaterial and nanocomposite with advanced agrochemical activities. *Nanoscale Res. Lett.* v. 16, 156, 2021.

- KUMUDINI, S. et al. Impact of *Phakopsora pachyrhizi* infection on soybean leaf photosynthesis and radiation absorption. *Crop Science*, v. 48, n. 6, p. 2343-2350, 2008.
- MACIEL, C. D. G. et al. Tensão superficial estática de misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl isoladas ou associadas com adjuvantes. *Planta Daninha*, v. 28, n. 3, p. 673-675, 2010.
- MALANDRAKIS, A. et al. Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. *Sci. Total Environ.* v. 670, p. 292–299, 2019.
- MARCOLINO, E. Determinação do intervalo da aplicação de produtos cúpricos a inoculação de *Hemileia vastatrix* em mudas de cafeeiro. 2019. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- MARIANO, J.; OSTROWISKI, A. C. Adição de produtos fitossanitários à calda de pulverização. Coamo, 2007. MATTOS, M. et al. Avaliação de estratégias com agroquímicos no controle de *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae) em tomate.
- MENTEN, J. O.; BANZATO, T. C. Fungicidas. 2016. Acesso em: 27 dez. 2021.
- NAVI, S. S.; Yang, X. Sudden death syndrome—a growing threat of losses in soybeans. *CAB Rev.* 11, 1–13, 2016.
- NISSEN, S. J.; STERLING, T. M.; NAMUTH, D. Foliar absorption and phloem translocation. 2019. Disponível em: <https://passel2.unl.edu/view/lesson/c5acc4095d02/9>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- OLIVEIRA, T. Mistura em tanque, aspectos legais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29., 2014, Gramado. Palestra... Gramado: 2014. CD ROM.
- PAZINI, J. B. et al. Compatibilidade física de misturas de agrotóxicos. Disponível em: Acesso em: 3 nov. 2014. PETTER, F. A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comunicata Sci.*, v. 4, n. 2, p. 129-138, 2013.
- PELIN, C.; WORDELL FILHO, J. A.; NESI, C. N. Ferrugem asiática da soja: etiologia e controle. *Agropecuária catarinense*, v. 33, n. 3, p. 18-21, 2020.
- PEREIRA, R. B.; MOURA, A. P.; PINHEIRO, J. B. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos em cultivo protegido de tomate e pimentão. *Circular técnica*, Brasília, n. 144, p. 1-20, maio 2015.
- PÉREZ, C. D. P. Nanoparticles of essential and nonessential elements in the management of plant diseases. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- PESTIC.: R. *Ecotoxicol. Meio Amb.*, v. 12, n. 1, p. 131-144, 2002.
- PAULA, P. V. A. A. de. Mistura de fungicidas sistêmicos com cúpricos e análise espaço temporal de doenças do cafeeiro. 2018. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- PETTER, F. A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e fungicidas. *Planta Daninha*, v. 30, n. 2, p. 449-457. 2012

- PETTER F.A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comun Sci.* 2013;4:129-38.
- Petter, F. A.; Segate, D.; Almeida, F. A.; Alcântara Neto, F.; Pacheco, L. P. (2013) Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comunicata Scientiae*, v. 4, p. 129-138
- PETTER, F. A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comunicata Scientiae*, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 129-138, 2013.
- PRADO, E.P. et al. Influência da dureza e potencial hidrogênico da calda de pulverização sobre o controle do ácaro da leprose em frutos de laranja doce. *Bragantia*, v. 70, n. 2, p. 389-396, 2011.
- POZZA, Edson Ampélio, Diagnose e controle de doenças. In: CARVALHO, Gladyston Rodrigues. *Caféicultura do Cerrado*. Belo Horizonte: Epamig, 2021, p. 347 – 429.
- RAMOS, H. H.; ARAÚJO, D. Preparo da calda e sua interferência na eficácia de agrotóxicos. Artigo em Hypertexto. 2006. Disponível em: Acesso em:.
- RAMEZANI, M.; RAMEZANI, F.; GERAMI, M. Nanoparticles in pest incidences and plant disease control. *Nanotechnology for agriculture: crop production & protection*, p. 233-272, 2019.
- RÖMHELD, V.; MARSCHNER, Horst. Function of micronutrients in plants. *Micronutrients in Agriculture*, v. 4, p. 297-328, 1991.
- ROY, K. W. *Fusarium solani* on soybean roots: nomenclature of the causal agent of sudden death syndrome and identity and relevance of *F. solani* form B. *Plant Disease*, v. 81, p. 259-266, 1997.
- ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M. Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152p.
- RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Function of micronutrients in plants. *Micronutrients in Agriculture*, v. 4, p. 297-328, 1991.
- RONCHI C.P.I. et al. Misturas de herbicidas para o controle de plantas daninhas do gênero *Commelina*. *Planta Daninha*. 2002;20:311-8
- RODRIGUES, B. N.; VICTORIA FILHO, R. Efeitos de misturas de bentazon e paraquat no controle de plantas daninhas e na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Planta Daninha*, v. 4, n. 2, p. 87-91. 1981.
- ROSELI 2017; <http://www.aprosoja.com.br/comunicacao/release/mistura-de-defensivos-agricolas-em-tanque-avanca-para-regulamentacao>.
- RUPE, J. C.; ROBBINS, R. T.; GBUR JR, E. E. Effect of crop rotation on soil population densities of *Fusarium solani* and *Heterodera glycines* and on the development of sudden death syndrome of soybean. *Crop Protection*, v. 16, n. 6, p. 575-580, 1997.
- SAIED, E. et al. 2021. The catalytic activity of biosynthesized magnesium oxide nanoparticles (MgO-NPs) for inhibiting the growth of pathogenic microbes, tanning effluent treatment, and chromium ion removal. *Catalysts*, v. 11, 821, 2021.

SCHERM, H.; YANG, X. B. Risk assessment for sudden death syndrome of soybean in the north-central United States. *Agricultural Systems*, v. 59, p. 301–310, 1999.

Spadoni A.B.D; PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E PRIMÓRDIOS DA PERDA DE ESTABILIDADE DE CALDA INSETICIDA EM MISTURAS COM FUNGICIDAS E ADJUVANTES.

SILVA, J. F. et al. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

SIKORA, E. J. et al. A coordinated effort to manage soybean rust in North America: A success story in soybean disease monitoring. *Plant disease*, v. 98, n. 7, p. 864-875, 2014.

THIESEN, G.; RUEDEL, J. Tecnologia de aplicação de herbicidas: teoria e prática. Cruz Alta: FUNDACEP, 2004. 90 p. VARGAS, L. et al. Histórico, custo e o desafio do manejo no futuro. In: RESTAINO, E. Viabilidad del glyphosate en sistemas productivos sustentables. Estantuela en Colonia: INIA, 2013. p. 99-110. (Série Técnica, 204) INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MISTURAS EM TANQUE CONTENDO O HERBICIDA 2,4-D NO ESPECTRO DE GOTAS DA APLICAÇÃO GGANDOLFO 2014 DISSERTAÇÃO

PAZINI, J. B. et al. Compatibilidade física de misturas de agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. Anais... Santa Maria: CBAI, 2013.

SANTOS, F. H. dos; SANTOS, L. A; FARIA, C. M. D. R. Translocação de triazóis e estrobilurinas no controle do oídio da soja. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava-PR, v.11, n.1, p.87-92, jan-abr., 2018. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N1.10

SOUZA, P. E.; DUTRA, M. R. . Fungicidas no controle e manejo de doenças de plantas. 1ª. Ed. Lavras: Editora UFLA, v. 1. 174p, 2003.

STEFANELLO, M. T.; MARQUES, L. N.; MADALOSSO, M. G.; BALARDIN, R. S. Propriedades físico-químicas dos fungicidas e penetração em tecidos foliares. *Materiais didáticos*. 2017.

TEWOLDEMEDHIN, Y. T. et al. Soybean SDS in South Africa is caused by *Fusarium brasiliense* and a novel undescribed *Fusarium* sp. *Plant disease*, v. 101, n. 1, p. 150-157, 2017.

Tomlin, S. C. 2000. *The Pesticide Manual*. Twelfth Edition. British Crop Protection Council, Surry, UK.

VELLOSO, J. A. R. O.; SOUZA, R. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas pulverizador de barra. In: GUEDES, J.C. et al. *Tecnologia e segurança na aplicação de produtos fitossanitários: curso de atualização*. Departamento de Defesa Fitossanitária /Sociedade de Agronomia de Santa Maria. p. 31-60. 1996.

VILELA, Ximena Maira de Souza. Fungicidas sistêmicos para Ferrugem do cafeeiro: controle e eficiência na mistura com cúpricos e fertilizantes foliares. 2019. 87 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

ZAMBOLIM, L. et al. Integrated management of Asian soybean rust. *European Journal of Applied Sciences*, v. 10, n. 2, p. 602-633, 2022.

WEEMS, J. D. et al. Effect of fungicide seed treatments on *Fusarium virguliforme* infection of soybean and development of sudden death syndrome. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 37, p. 435–447, 2015.

WORRALL, E. A. et al. Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy*, v. 8, n. 12, p. 285, 2018.

YORINORI J.T.; PAIVA W.M.; FREDERICK R.D.; COSTAMILAN L.M.; BERTAGNOLI P.F.; HARTMAN G.L.; GODOY C.V.; NUNES J.J. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease* 89: 675- 677.

SEGUNDA PARTE – Artigos

ARTIGO 1: Manejo da Ferrugem da Soja com o uso de Nanopartículas em mistura com fertilizantes foliares.

RESUMO

Nanopartículas são partículas extremamente pequenas, com dimensões na escala nanométrica, (< 100 nm), devido as características únicas, têm despertado o interesse dos pesquisadores e levado ao desenvolvimento de nanotecnologias aplicadas à agricultura. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência das NP's de CuO, MgO, ZnO, B e MnO nas doses de 30,50,100,250,500 mg/L na germinação de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* e o controle da ferrugem em plantas de soja em casa de vegetação. NP's de CuO, MgO, ZnO na dose de 250 mg/L também foram comparadas em mistura com fertilizantes foliares e fungicidas (Oxicloreto de Cobre 1 L/ha; Mancozeb 1,5 kh/ha; Bixafem+Proticonazol+Trifloxistrobina 0,5L/ha). A severidade da ferrugem foi avaliada a cada 5 dias, após o aparecimento das primeiras pústulas e os dados obtidos foram transformados em área sob a curva de progresso da doença para severidade (AACPDS). A dose de 250 mg/L de CuO, MnO, Zn, Si e MoO inibiram 75, 52, 81, 84 e 72% de esporos de *P. Pachyrhizi*, respectivamente. Em casa de vegetação, a menor AACPDS foi de 80,5 e 70 observada nos tratamentos Kellus Inox + NP Cu 250ppm e Cu EDTA + NP Zn 250ppm, com redução de 85,09 e 86,93% da AACPDS, respectivamente. Portanto, o potencial dos NP's de CuO, MnO e ZnO em inibir a germinação de esporos de *P. Pachyrhizi* e no controle da ferrugem em plantas de soja em casa de vegetação foi verificado.

Palavras-chave: Nanotecnologia, *Phakopsora pachyrhizi*, mistura em tanque, sustentabilidade, manejo alternativo.

1. Introdução

A crescente demanda global por alimentos, juntamente com a necessidade de garantir a sustentabilidade e a segurança alimentar, tem levado a um intenso desenvolvimento de novas tecnologias no setor agrícola (Lima et. al., 2022). Nesse contexto, o uso de nanopartículas tem se destacado como promissora para melhorar a eficiência dos sistemas de produção agrícola e reduzir os impactos ambientais.

Nanopartículas são partículas extremamente pequenas, com dimensões na escala nanométrica, variando de 1 a 100 nanômetros. Devido ao seu tamanho imperceptível, elas apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas distintas das partículas em escala macroscópica (Duhan et al., 2017). Essas características únicas, têm despertado o interesse dos pesquisadores e levado ao desenvolvimento de nanotecnologias aplicadas à agricultura.

No contexto agrícola, as nanopartículas têm sido exploradas em várias aplicações, abrangendo desde a proteção de cultivos contra pragas e doenças até a melhoria da nutrição vegetal e a remediação de solos contaminados (Li et al., 2016). As nanopartículas de prata, por exemplo, têm mostrado atividade antimicrobiana eficaz contra patógenos de plantas, enquanto nanopartículas de óxido de ferro têm sido utilizadas como agentes de liberação controlada de nutrientes e pesticidas. Além disso, as propriedades magnéticas e fotossensíveis de certas nanopartículas têm permitido o desenvolvimento de sistemas de entrega direcionada de substâncias ativas, aumentando a eficiência de aplicação e reduzindo a exposição a organismos não-alvo (Lamsal et al. 2011a & b).

O uso de nanopartículas tem mostrado bons resultados devido a capacidade multifuncional desses materiais. Com ação em alvos específicos, esses nanomateriais fornecem fertilizantes e pesticidas de forma controlada, ou seja, ocorre liberação de nucleotídeos, proteínas e outras moléculas de acordo com a demanda da planta, ajudando assim na regulação do metabolismo da planta (Nair et al., 2010).

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é considerada a doença mais destrutiva das plantas de soja, compromete a produtividade e pode levar a perdas totais das lavouras. Os primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja (FAS) são observados na parte adaxial da folha e com o progresso da doença são notadas pústulas de cor amarronzadas na parte abaxial foliar. Esses sintomas ocorrem com maior frequência em plantas na fase de floração, porém podem surgir em qualquer momento do ciclo fenológico da cultura (Yorinori, 2005). O progresso da doença na planta é relacionado diretamente por interação de fatores abióticos e bióticos. Fatores abióticos, como temperatura e molhamento foliar, possuem influência direta na progressão temporal do patógeno (Juliatti et al., 2005).

A ocorrência dessas doenças com grande potencial de queda na produtividade exige produtos específicos e de baixo impacto ambiental. O uso da nutrição mineral na proteção de plantas contra patógenos, é um importante aliado, por também atuar na ativação dos mecanismos de defesa das plantas. Segundo Huber, (1997), os nutrientes podem participar de rotas metabólicas de compostos capazes de inibir ou reduzir a infecção e a colonização de patógenos. Plantas com nutrição equilibrada possuem maior resistência a infecções causadas por patógenos, resultando na redução da severidade de doenças e conseqüentemente menor aplicação de fungicidas.

Apesar do potencial promissor das nanopartículas na agricultura, seu uso ainda enfrenta desafios significativos. Questões relacionadas à segurança ambiental, toxicidade e efeitos

colaterais em organismos não-alvo precisam ser cuidadosamente avaliadas. Além disso, a escala de produção e a viabilidade econômica das nanopartículas agrícolas também são aspectos importantes a serem considerados (Mousa et al., 2015).

O uso de células microbianas para a síntese de nanopartículas metálicas, é uma abordagem inovadora. Métodos para a síntese de nanopartículas estão sendo desenvolvidos por pesquisadores, técnicas biológicas a partir de bactérias, fungos e vírus para a síntese de NP's, cepas de fungos *Fusarium*, *Aspergillus*, *Verticillium* e *Penicillium* tem mostrado resultados promissores na fabricação de NP's (Bansal et al., 2014).

Diante desse cenário, esse trabalho tem como objetivo avaliar a atividade antifúngica *in vitro* das NP's de Cu, MnO, Zn, B, SiO, MoO e posteriormente o efeito dessas moléculas na severidade da doença e no crescimento da planta.

2. Material e Métodos

2.1 Nanopartículas

NPs de B (1 nm), CuO (40 nm), MnO (30 nm), Si, MoO e ZnO (10-30 nm) foram obtidos da US Research Nanomaterials Inc., Texas). Suspensões de NPs foram preparadas a 500 µg/ml de água destilada adicionado um agente não iônico surfactante (1 ml/litro) (Regulaid®, Kalo Inc., Overland Park, KS). As suspensões foram sonicadas durante 2 min num sonicador de sonda (Fisher Scientific, FB505) a 50% de amplitude imediatamente antes da aplicação para obter uma dispersão estável.

2.2 Avaliação da germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*

Para avaliar a toxicidade na germinação de *P. Pachyrhizi*, NP de B, Cu, MnO, Zn, sio e MoO foram inseridas em meio ágar-água a 1,0% (p/v) a 30, 50, 100, 250 e 500 mg L⁻¹ em quatro repetições vertidas em placas de Petri (6 cm de diâmetro) e deixados esfriar. Após a solidificação do meio, 200 µL da suspensão de esporos do patógeno na concentração de 10⁵, calibrada em camara de Neubauer foram depositados em sua superfície e espalhados com uma espátula de Drigalski.

2.3 Eficiência de nanopartículas no controle da ferrugem asiática da soja em Casa de Vegetação

O experimento foi instalado em casa de vegetação com temperatura média de 25 °C +/- 3°C, umidade relativa do ar de 70% +/- 5%. Essa temperatura e umidade foram mantidas por jato de ar forçado por ventoinhas, acionada por um termostato e irrigação por atomização de água por “sprinkler” controlada por timer (3x ao dia), atuando no controle automático de temperatura. Utilizaram-se seis sementes de soja da cultivar TMG 2185 IPRO para semeadura em vasos de 5 litros contendo substrato composto por Casca de Pinus, vermiculita, PG Mix 14.16.18, Nitrato de Potássio, Superfosfato Simples e Turfa. Foram selecionadas as 3 melhores plantas para conduzir o ensaio.

Para a manutenção do ensaio foi realizada uma aplicação de isca para o controle de lesmas. Todas as aplicações foram realizadas via foliar. Os tratamentos: Kellus Inox + NP CuO 250 ppm; Cu EDTA + NP Zn 250 ppm; Mancozeb + NP_CuO 250 ppm; NP ZnO 250 ppm + NP CuO 250 ppm + NP MgO 250 ppm; Concorde + NP ZnO 250 ppm + NP CuO 250 ppm + NP MgO 250 ppm; Difere + NP ZnO 250 ppm + NP CuO 250 ppm; Fox Xpro; Controle (água) em delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições, sendo cada parcela experimental composta por 3 plantas, totalizando 105 plantas. A aplicação da calda ocorreu no estádio V2 da planta, do qual se caracteriza pela presença do segundo par de folhas trifolioladas.

2.4 Obtenção de inóculo e inoculação

Urediniósporos de *P. Pachyrhizi* presentes em soros urediniais de folíolos frescos da cultivar TMG 2185 IPRO de soja mantidos em vasos na casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia, localizada na Universidade Federal de Lavras, foram coletados e inoculados em plantas de soja, na casa de vegetação, de acordo com Frederick et al. (2002). Os urediniósporos de *P. Pachyrhizi* foram coletados de folíolos de soja com sintomas visíveis de pústulas e necrose.

A suspensão de urediniósporos foi preparada em água destilada contendo 0,01% de Tween 20 (v:v) até a concentração de $5,0 \times 10^4$ urediniósporos.ml⁻¹, a qual foi uniformemente pulverizada nas duas faces das folhas até o ponto de escorrimento sobre as plantas de soja em estádios V3. Imediatamente após a inoculação, as plantas foram incubadas em câmara úmida e no escuro por 24 horas. A inoculação das plantas foi realizada 7 dias após aplicar os tratamentos.

2.5 Variáveis analisadas

2.5.1 Avaliação da severidade da doença

Quando os primeiros sintomas da doença foram observados, iniciaram-se as avaliações da severidade nas folhas de soja em intervalos de 5 dias, totalizando seis avaliações. Para quantificar a severidade da doença, a planta foi dividida em três partes (posições da copa), ou seja, terço inferior, médio e superior. Em cada uma das posições foram utilizadas duas folhas trifolioladas, sendo a avaliação realizada no folíolo central de cada folha marcada com linha colorida. Para a estimativa da severidade da ferrugem da soja utilizou-se a escala diagramática de Godoy et al. (2006).

2.5.2 Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD)

Os valores médios, em cada repetição, foram integrados à área sob a curva de progresso da doença para severidade (AACPDS) de acordo com a equação proposta por Shaner e Finney (1977).

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i)$$

Onde:

- AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença;
- y: intensidade da doença na “i”-ésima observação;
- t: tempo em dias na “i”-ésima observação;
- n: número de avaliações no tempo.

3. Análise estatística

As variáveis analisadas em cada experimento foram submetidas aos testes de Shapiro–Wilk e Bartlett ($p > 0,05$) para testar os pressupostos da análise de variância. Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial Nanopartículas x doses (teste F; $p \leq 0,05$) e, quando significativos, as variáveis qualitativas foram comparadas por teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). No caso da variável quantitativa doses, foram ajustados modelos lineares de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R versão 4.0.2.

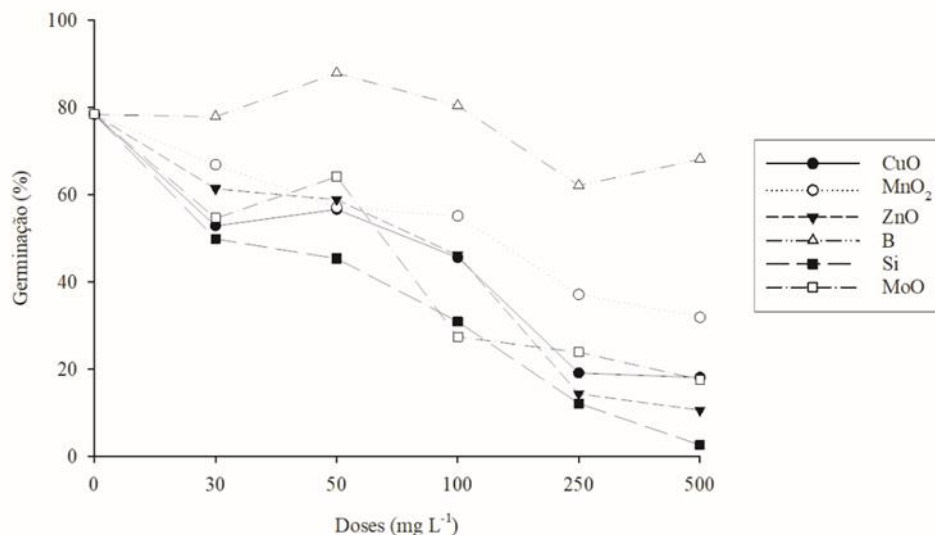
4. Resultados

Houve diferença entre os tratamentos para a variável severidade, AACPDS, porcentagem de germinação e peso das plantas secas.

4.1 Avaliação da germinação de uredosporos de *Phakopsora Pachyrhizi*

Houve diferença ($p < 0,05$) entre as doses para os diferentes tratamentos no experimento realizado *in vitro* para avaliar a germinação de esporos de *P. Pachyrhizi*. Nanopartículas de Cu e Zn reduziram a germinação abaixo em 41% nas doses de 100 mg/L^{-1} , (figura 1). Entretanto, dose de 250 mg/L^{-1} de Zn e Si reduziram a germinação dos uredosporos em 80% e NP de Cu reduziram em 75% a germinação de *P. Pachyrhizi* (Figura 1).

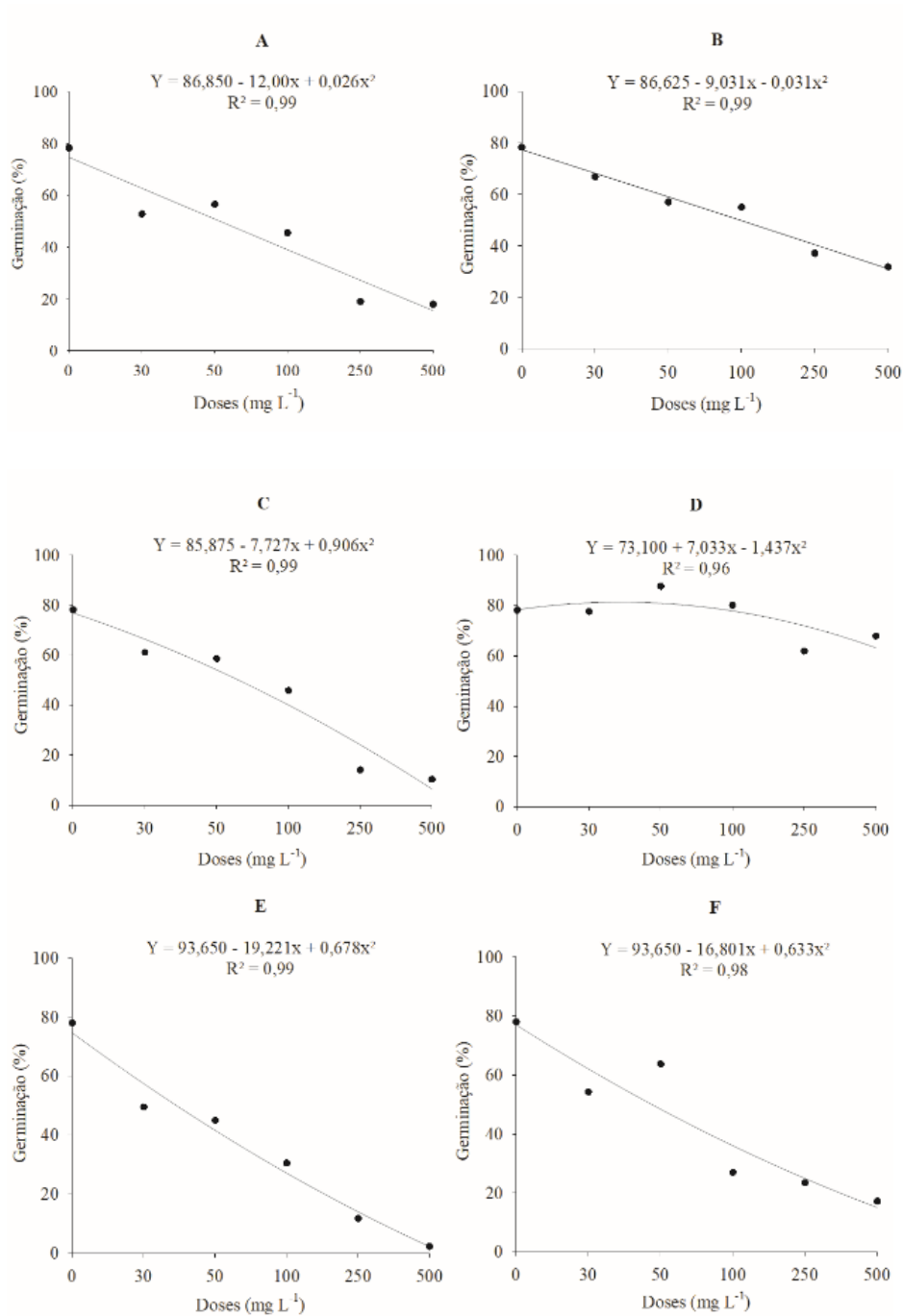
Figura 11: Efeito das nanopartículas CuO, MnO, ZnO, B, SiO e MoO nas doses de 30, 50, 100, 250 e 500 mg/L na germinação dos uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*.



Fonte: Da autora (2023).

A maior germinação de uredosporos ocorreu sem a adição de nanopartículas, porém com o aumento de doses de NP's a germinação diminuiu (figura 2). Assim o melhor ajuste foi fornecido pelo modelo quadrático. Quando utilizadas as NP's de CuO, MnO, ZnO, B, SiO, MoO na dose de 500 mg/L^{-1} ocorreu inibição de 76, 59, 86, 13, 96 e 80% respectivamente em comparação com a dose de 0 mg/L^{-1} . Enquanto que na dose de 250 mg/L^{-1} ocorreu inibição de 75, 52, 81, 20, 84 e 72% (Figura 2).

Figura 12: Porcentagem (%) de germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* em função das doses de 30, 50, 100, 250 e 500 mg L⁻¹ de CuO (A), MnO (B), Zn (C), B (D), MoO (E) e Si (F).

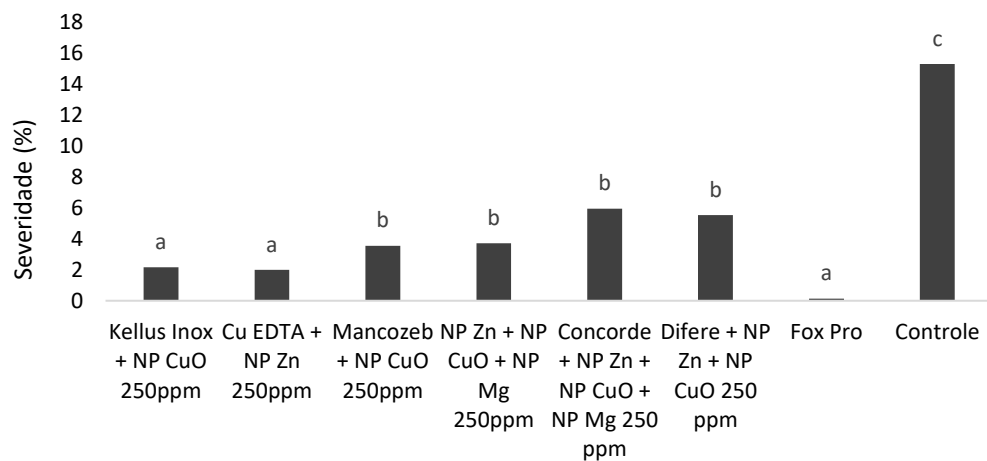


Fonte: Da autora (2023).

4.2 Severidade da doença

Os primeiros sintomas da ferrugem da soja foram observados 27 dias após a inoculação, com aumento de severidade da doença ao longo do tempo. A mistura Cu EDTA + NP Zn 250 ppm e Kellus Inox + NP CuO 250 ppm, foram os tratamentos com maior redução da epidemia durante o período avaliado, este foi seguido por “ranking” de eficácia na redução da epidemia por Mancozeb + NP Cu 250ppm, NP Zn + NP Cu + NP Mg 250, Difere + NP Zn + NP Cu 250ppm, Concorde + NP Zn + NP Cu + NP Mg 250 ppm, todos estes produtos foram superiores em termos eficácia em comparativo ao controle (Figura 3).

Figura 13: Severidade da ferrugem (*P. Pachyrhizi*) em soja em função dos tratamentos aplicados, avaliados nos dias 28, 33, 38, 43, 48, 53 após a inoculação.

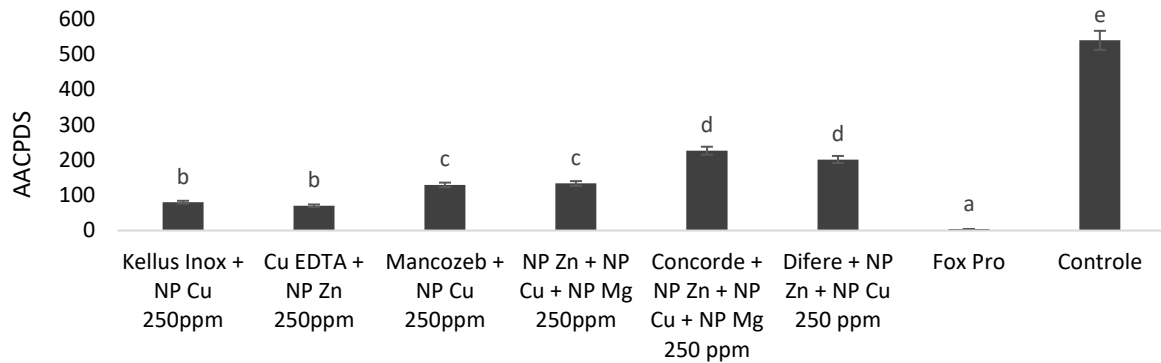


Fonte: Da autora (2023).

4.3 AACPDS

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) quando aplicado os tratamentos de misturas. A eficiência do fungicida Fox Pro (Bixafem + Proticonazol + Trifloxistrobina) teve maior eficiência, com controle de 99%. Mistura de Cu EDTA + NP Zn 250 ppm reduziu em 86,9% a AACPDS e o tratamento de Kellus Inox + NP Cu 250 ppm reduziu em 85% em relação a testemunha, seguidos dos tratamentos Mancozeb + NP Cu 250ppm, NP Zn + NP Cu + NP Mg 250ppm, Difere + NP Zn + NP Cu 250ppm e Concorde + NP Zn + NP Cu + NP Mg 250ppm, com reduções de 75,2, 76, 62,6 e 58% da AACPDS (Figura 4).

Figura 14: Área sob a curva de progresso da doença para severidade - AACPDS da ferrugem da soja (\square), segundo os tratamentos aplicados. As barras representam o desvio padrão dos valores de quatro repetições. Médias com letras iguais são significativamente iguais pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

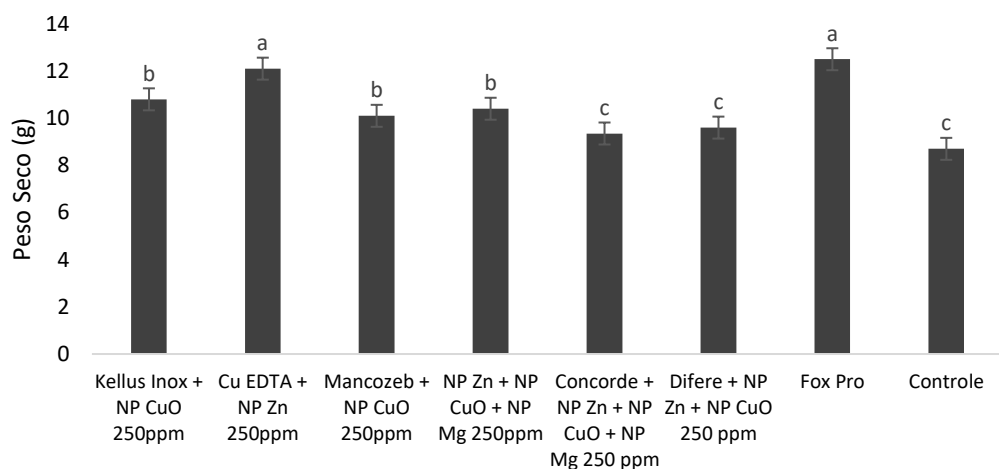


Fonte: Da autora (2024)

4.4 Peso da parte aérea seca

Para o peso da parte aérea seca, Cu EDTA + NP Zn 250 ppm, Fox Pro, Kellus Inox + NP CuO 250 ppm, Mancozeb + NP Cu 250ppm, NP Zn + NP Cu + NP Mg 250ppm, foram superiores a testemunha, diferindo entre eles ($p < 0,05$) (Figura 5).

Figura 15: Peso da parte aérea seca de plantas de soja em função dos tratamentos aplicados. As barras representam o desvio padrão dos valores de quatro repetições. Médias com letras iguais são significativamente iguais pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).



Fonte: Da autora (2024).

5. Discussão

O uso de nanopartículas foi constatado no presente trabalho. O trabalho constatou que a aplicação de nanopartículas de Cu, Zn, Mn, Si e Mo na dose de 250 mg/L-1 reduziram a germinação do esporo de *P. Pachyrhizi* abaixo de 50%.

A aplicação desses materiais em nanoescala é uma tecnologia muito promissora na aplicação na proteção e nutrição de plantas devido às suas qualidades, como tamanho, alta relação superfície-volume e propriedades ópticas (Pomastowski et al. 2017).

Alguns estudos realizados em placas de Petri confirmaram os efeitos destas nanopartículas em vários patógenos de plantas. De acordo com Kanhed et al. (2014) aplicação de NP's de Cu inibiram o crescimento de *Alternaria alternata*, *Fusarium* e *Phoma destructiva*, mostrando melhor eficácia quando comparada com o fungicida comercial Bavistin. Portanto, os autores concluíram alta eficácia das NP's de Cu contra fungos patogênicos de plantas.

Em experimento realizado por Elmer & White (2016) também foi comprovada a eficácia do uso de nanopartículas. Os autores aplicaram dose de 1000 mg. L-1 em mudas de tomateiros e observaram redução de 31, 28 e 28% na AACPD da murcha de *Fusarium oxysporum* f sp. lycopersici quando utilizadas as NP's de Cu, Mn e Zn respectivamente.

Pérez et l., (2018) também realizaram estudos in vitro com o uso de NP's de Cu, Mn e Zn em doses de 100 mg.L-1 e observaram redução em até 50% da germinação de esporos de *Hemileia vastatrix*. Além disso os autores notaram influência na biossíntese de fenol solúvel total e lignina constatando efeitos dos micronutrientes na defesa vegetal. No mesmo trabalho foi estudado também efeitos da NP de Ag, resultando redução de 92% na AACPD quando utilizado dose de 1000 mg. L-1 dessas NP's.

O mecanismo do modo de ação das NP's ainda está sendo estudado por muitos pesquisadores. Segundo Sirelkhatim et al., (2015), a eficácia das NP's está relacionada diretamente com a biodisponibilidade do metal, devido à alta relação área/superfície.

Brayner et al. (2006) relatam em seu trabalho a indução de liberação de lipídeos e proteínas da membrana de células bacterianas. Em trabalho realizado por Graham et al. (2016), os autores relatam redução do cancro cítrico causada por *Xanthomonas Citri* subsp. Citri, com aplicações de Zinkicide, uma formulação de nanopartícula de Zn disponível comercialmente, em comparação com a aplicação de moléculas de óxido de Cu e Zn.

No presente trabalho, a aplicação do Mn na dose de 500 mg/L-1 em teste in vitro foi observada germinação de 32% dos esporos de *P. Pachyrhizi* e em associação com moléculas de CuO e ZnO um percentual de controle de 75% da severidade da doença. Segundo Thompson e

Huber (2007), esse micronutriente é considerado ativador da fenilalanina amônia liase e da síntese de fenol, diante disso muitos trabalhos veem sendo conduzidos com o uso de nanopartículas de Mn. Elmer e Datnoff (2013) avaliaram os efeitos de aplicações de NP's Mn em aspargos, morangos, trigo e beterraba.

Leal et al., (2023), avaliaram os efeitos da Ag e Np's CuO nas doses de 0, 50, 100, 200 e 400 mg/L na germinação de esporos de *H. vastatrix* e o controle da ferrugem em mudas de cafeeiro em casa de vegetação. Os autores observaram inibição de 99,8 e 98,4% da germinação de esporos de *H. vastatrix*, respectivamente na dose de 400 mg/L de NPs Ag e CuO e em casa de vegetação foi observada menor AUDPCS na dose de 400 mg/L com 97,5 e 92%, respectivamente. A eficácia das NPs CuO 250 mg/L foi igual ($p < 0,05$) ao óxido cuproso, com redução de 84,2 e 83,1% da AUDPCS, respectivamente.

A ação de micronutrientes no manejo de doenças de plantas está relacionada com o aumento da resistência a doenças através da ativação de enzimas de defesa do hospedeiro como a fenilalanina amônia liase e prolifonel oxidases (Huber e Thompson, 2007).

Com o intuito de descobrir o papel das nanopartículas papel na indução de resistência Singh et al., (2013) testaram 15 nanopartículas de micronutrientes e relataram eficácia apenas para CuSO₄ e NazB407, com redução de 72 e 78% na severidade da ferrugem e redução de 38 e 57% no tamanho das pústulas por folha de ervilha.

6. Considerações finais

- O uso da aplicação foliar de nanopartículas em mistura com fertilizantes foliares pode ser considerada uma alternativa no manejo da Ferrugem da Soja.
- Houve redução em mais de 60% na inibição dos uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* quando utilizadas nanopartículas de CuO, MnO, ZnO MoO e Si.
- Nanopartículas de Cu, Zn, Mn foram eficazes na redução da severidade da Ferrugem da Soja.
- Misturas utilizando NP's de Zn 250 mg.L⁻¹ + Cu EDTA e NP's de CuO 250 mg.L⁻¹ + Kellus Inox, ocorreu controle de 86,9 e 85,03% da e AACPDS.

REFERÊNCIAS

- Azhir, E., Etefagh, R., Shahtahmasebi, N., Mashreghi, M., and Pordeli, P. 2015. Preparation, characterization and antibacterial activity of manganese oxide nanoparticles. *Physical chemistry research*. 3: 197-204. doi: 10.22036/PCR.2015.9329
- Auffan, M., Rose, J., Bottero, J. Y., Lowry, G. V., Jolivet, J. P., & Wisner, M. R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology*, 4(1), 634–641. [https:// doi. org/ 10. 1038/ nnano. 2009. 242](https://doi.org/10.1038/nnano.2009.242)
- BANSAL, P. J. S.; DUHAN, S.K.; GAHLAWAT. Biogenesis of nanoparticles: a review. *Afr. J. Biotechnol.* 13, 2778–2785. 2014.
- DIMKPA, C.O.; LATTA, D. E.; MCLEAN, J. E.; BRITT, D. W.; BOYANOV, M. I.; ANDERSON, A. J. Fate of CuO and ZnO nano- and microparticles in the plant. *Environmental Science Technology*, Pasadena, v. 47, n.1, p. 4734–4742, 2013
- DUHAN, J. S.; KUMAR, R.; KUMAR, N.; KAUR, P.; NEHRA, K.; DUHAN, S.. “Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture”. *Biotechnology Reports* 15. 11-23. 2017.
- ELMER, W. H.; AND WHITE, J. Nanoparticles of CuO improves growth of eggplant and tomato in disease infested soils. *Royal Chemical Society. Environmental Science: Nano* 3:1072-1079. 2016.
- Elmer, W., Ma, C., & White, J. C. (2018). Nanoparticles for plant disease management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 6, 66–70. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. coesh. 2018. 08. 002](https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.08.002). Elmer, W., & White, J. C. (2018). The future of nanotechnology in Plant pathology. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 1–33. [https:// doi. org/ 10. 1146/ annurev- phyto- 080417- 050108](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050108).
- Elmer, W. H., Nuverza-Mena, N., Triplett, L. R., Robertes, E. L., Silady, R. A., & White, J. C. (2021). Foliar application of copper oxide nanoparticles suppresses fusarium wilt development on chrysanthemum. *Environmental Science & Technology*, 55(15), 10805–10810. [https:// doi. org/ 10. 1021/ acs. est. 1c023 23](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02323)
- GIANNOUSI, K.; AVRAMIDIS, I.; DENDRINOUS-SAMARA, C. Synthesis, characterization and evaluation of copper based nanoparticles as agrochemicals against *Phytophthora infestans*. *Royal Society of Chemistry, London*, v. 3, n. 1. P. 21743–21752. 2013.
- GODOY, C.V.; KOGA, L.; CANTERI, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.31, p. 63-68, 2006.
- HE, L.; LIU, H.; MUSTAPHA, A.; LIN, M. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological research* 166. 207-215. 2016.
- Huber, D. M., and Thompson, I. A. 2007. Nitrogen and plant disease. Pages: 31-44, in: Datnoff, L. E., Elmer, W. H., and Huber, D. M. (Eds.), *Mineral nutrition and plant disease*. Saint Paul, MN USA.

- JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C.; BALARDIN, R.S.; VALE, F.X.R. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. In: LUZ, W.C.; FERNANDES, J.M.C.; PRESTES, A.M.; PICININI, E.C. Revisão anual de patologia de plantas Passo Fundo. v. 13, p. 351-395, 2005
- KANHED, P.; BIRLA, S.; GAIKWAD, S.; GADE, A.; SEABRA, A. B.; RUBILAR, O.; DURAN, N.; RAI, M. In vitro antifungal efficacy of copper nanoparticles against selected crop pathogenic fungi. *Materials Letters*, Amsterdam, v. 115, n. 15, p. 3–17. 2014
- KALIM, S.; LUTHRA, Y. O.; GANDHI, S. K. Cowpea Root Rot Severity and Metabolic Changes in Relation to Manganese Application. *Journal of Phytopathology*. 151(2). Fev. 92-97. 2003.
- Lamsal, K., Kim, S.W., Jung, J. H., Kim, Y. S., Kim, K. S., and Lee, Y. S., 2011a. Application of silver nanoparticles for the control of *Colletotrichum* species in vitro and pepper anthracnose disease in field. *Mycobiol*. 39:194-199.
- Lamsal, K., Kim, S.W., Jung, J. H., Kim, Y. S., Kim, K. S., and Lee, Y. S., 2011b. Inhibition effects of silver nanoparticles against powdery mildews on cucumber and pumpkin. *Mycobiol*. 39:26-32.
- LAMSAL, K.; KIM, S. W.; JUNG, J. H.; KIM, Y. S.; KIM, K. S.; LEE, Y. Application of silver nanoparticles for the control of *Colletotrichum* species in vitro and pepper anthracnose disease in field. *Mycobiology*. 39, 194–199. 2011.
- Li, Z.; Fan, Y.; Gao, L.; Cao, X.; Ye, J.; Li, G. The dual roles of zinc sulfate in mitigating peach gummosis. *Plant Dis*. 100: 345-351. 2016.
- Munusamy, S., Bhakayaraj, K., Vijayalakshmi, L., Stephen, A., and Narayanan, V. 2014. Synthesis and characterization of cerium oxide nanoparticles using *Curvularia lunata* and their antibacterial properties. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*. 2:318–323.
- MOUSA, A.; ALGHUTHAYMI, H. A.; MAHINDRA, R.; GALIEV, E. S.; ABD-ELSALAM, K. A. Myconanoparticles: synthesis and their role in phytopathogens management, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 29:2, 221-236. 2015.
- Navrotsky, A. 2000. Technology and applications Nanomaterials in the environment, agriculture, and technology (NEAT). *Journal of Nanoparticles Research*. 2:321–323.
- NAIR, R.; VARGHESE, S. H.; NAIR, B. G.; MAEKAWA, T.; YOSHIDA, Y.; KUMAR, D. S. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Sci*. 179, 154–163. 2010.
- Pérez, C. D. P., De La Torre-Roche, R., Zuverza-Mena, N., Ma, C., Shen, Y., White, J. C., Pozza, E. A., Pozza, A. A. A., & Elmer, H. W. (2019). Metalloid and metal oxide nanoparticles suppress sudden death syndrome of soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(1), 77–87. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06082>
- Pomastowski, A. K., Rafinska, K., and Railean-Plugaru, B. 2017. Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in Colloid and Interface Science*. 249: 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033>.

R DevelopmentCore Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: [https:// www.R- proje ct. org/](https://www.R-project.org/)

Shaner, G., & Finney, R. E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67, 1051–1056.

Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H., Ann, L. C., Bakhori, S. K., Hasan, H., and Mohamad, D. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-micro letters*. 7: 219-242. DOI 10.1007/s40820-015-0040-x.

SINGH, D.; KUMAR, A.; SINGH, A.K.; TRIPATHI, H.S. Induction of resistance in field pea against rust disease through various chemicals/nutrients and their impact on growth and yield. *Plant Pathol J.*; 12: 36-49. 2013.

YORINORI, J. T. A ferrugem “asiática” da soja no continente americano: evolução, importância econômica e estratégias de controle. In: JULIATTI, F.C., POLIZEL, A.C., HAMAWAKI, O.T. (Org.) In: Workshop brasileiro sobre a ferrugem asiática, 1. Uberlândia. Coletânea. Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 21-37, 2005.

ARTIGO 2: Mistura de fertilizantes foliares e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia da mistura de fungicidas utilizado juntamente com produtos da Compass Mineral (Profol Produtividade, Kellus Inox e Concorde), no manejo da Ferrugem Asiática da Soja em condições controladas. O experimento foi realizado no Departamento de Fitopatologia na Universidade Federal de Lavras. O pH e a condutividade elétrica dos tratamentos foram quantificadas. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, composto por 7 tratamentos (Água; Fox XPro 0,5ml; Fox XPro 0,5ml + Profol 2g; Fox XPro 0,5ml + Profol 2g + Concorde 2ml; Fox XPro 0,5ml + Kellus Inox 0,5g; Fox XPro 0,5ml + Kellus Inox 0,5g + Concorde 2ml; Fox XPro 0,5ml + Concorde 2ml) e 5 repetições. A suspensão de urediniósporos foi pulverizada nas duas faces das folhas. As variáveis analisadas foram: severidade, área abaixo da curva de progresso da doença (AACPDS), teor de clorofila, matéria seca (g), altura (cm), diâmetro (cm) das plantas, peso de vagens (g) e fitoxidez. As variáveis pH e condutividade elétrica foram significativas para os diferentes tratamentos avaliados. As variáveis AACPDS, parte área seca, teor de clorofila total e peso de vagens apresentaram diferença significativa para os tratamentos avaliados. A mistura Fox + Profol (82,81%) e Fox + Profol + Concorde (83,84%) foram os tratamentos com maior redução do progresso da doença durante o período avaliado. Para todos os tratamentos, com exceção da testemunha, foi observado sintomas de fitoxidez nas plantas. Recomenda-se a utilização da combinação das misturas Fox X Pro + Profol + Concorde e Fox X Pro + Profol, por apresentarem maior redução na epidemia da ferrugem asiática.

Palavras-chave: mistura em tanque; fertilizantes foliares; ferrugem asiática; soja.

1. Introdução

O cultivo da soja destaca-se entre as atividades do agronegócio mundial, considerada uma das mais importantes oleaginosas comercializadas no mundo (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Porém, atualmente um dos maiores desafios da agricultura é produzir alimentos em quantidade e qualidade suficientes para garantir a demanda mundial e a segurança

alimentar da população, pois diversos fatores podem reduzir a sua produtividade (EHLERS, 2017).

Dentre eles, destacam-se as doenças, sendo a principal nessa cultura a Ferrugem Asiática da Soja (FAS) (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow), podendo causar perdas de até 90% (HARTMAN et al., 2015). A doença foi relatada pela primeira vez no Japão em 1902 (GODOY et al., 2016) e em 1979, Deslandes, descreveu a presença da ferrugem na cidade de Lavras nos campos testes de Soja. Porém ficou conhecida como doença epidêmica no Brasil na safra de 2001/2002, estando presente em praticamente 100% da área de cultivo de soja do país (YORINORI et al., 2005).

O fungo *P. Pachyrhizi* é um parasita obrigatório, biotrófico, produz urediniósporos e teliósporos (HARTMAN et al., 2015). Porém, somente os urediniósporos são conhecidos por serem importantes em epidemias, devido à grande quantidade e capacidade de disseminação. A sobrevivência do fungo ao longo do ano depende da produção contínua de urediniósporos em hospedeiros alternativos, papel também exercido por teliósporos, e de condições climáticas ideais para a cultura (GODOY et al., 2016).

Os primeiros sintomas observados da doença são pequenas lesões de cor marrom, formadas principalmente na face abaxial dos folíolos da soja. A alta densidade de lesões leva à desfolha prematura e à maturidade precoce, resultando em perdas significativas de produtividade (HARTMAN et al., 2015).

Devido à falta de cultivares com resistência completa à doença, o método de controle mais utilizado é o químico, o qual se baseia em aplicações de fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis e das carboxamidas, mesostêmicos das estrobilurinas, em mistura e associados ou não a multissítios, como o mancozebe, os cúpricos e o clorotalonil. Porém, na maioria das vezes a utilização dos fungicidas em safras sucessivas em grandes áreas e sucessivas vezes, resulta na seleção direcional de patógenos resistentes e perda da eficácia desses produtos (KLOSOWSKI et al., 2016; MENDONÇA JÚNIOR et al., 2019). Godoy et al. (2016) e Juliatti et al (2004) afirmam que por causa da redução da eficiência dos fungicidas, a adoção do manejo integrado é de extrema importância para controlar essa doença e manter a sustentabilidade da cultura.

Além da utilização de fungicidas, atualmente, tem se buscado alternativas viáveis, seguras, eficientes e com baixo impacto ambiental para o manejo da FAS. Assim, o uso da nutrição mineral vem ganhando destaque como um importante aliado na proteção de plantas contra patógenos, procurando aumentar a sustentabilidade da cultura, exigida por consumidores. Os mecanismos de defesa das plantas estão relacionados com a nutrição

equilibrada, pois os nutrientes podem participar de rotas metabólicas de compostos capazes de inibir ou reduzir a infecção e a colonização de patógenos (Huber, 1997).

Porém, segundo Pozza & Pozza (2023), os nutrientes agem de forma individualizada, dependendo da concentração e a forma disponível na planta. Sendo assim um nutriente pode reduzir a infecção de determinado patógeno, porém pode aumentar a infecção de outro.

Além disso, a mistura com nutrientes, pode contribuir na melhor eficácia da aplicação de fungicidas, pois irá fornece-los diretamente as folhas, onde serão rapidamente absorvidos e utilizados em momentos críticos da planta, como condições de estresse. Plantas bem nutridas e vigorosas tem maior capacidade de resistir a infecções causadas por diferentes patógenos, resultando na redução da severidade de doenças e conseqüentemente menor aplicação de fungicidas.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficácia de fungicidas com produtos capazes de incrementar a nutrição mineral no manejo da Ferrugem Asiática da Soja.

2. Material e Métodos

2.1 Experimento em Laboratório

Foram avaliados seis tratamentos mais a testemunha em água para medir o pH e a condutividade elétrica em diferentes tempos (0, 30 min., 1h, 2h, 3h, 4h e 8h). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, composto por 7 tratamentos: Água; Fox XPro 0,5ml; Fox XPro 0,5ml + Profol 2g; Fox XPro 0,5ml + Profol 2g + Concorde 2ml; Fox XPro 0,5ml + Kellus Inox 0,5g; Fox XPro 0,5ml + Kellus Inox 0,5g + Concorde 2ml; Fox XPro 0,5ml + Concorde 2ml) (Tabela 1) e 5 repetições. A calda final de cada tratamento correspondeu a 200 ml da mistura de fertilizantes foliares e fungicidas para medir o pH e a condutividade elétrica.

Tabela 1: Composição dos fertilizantes foliares utilizados nos tratamentos, em % p/p.

Nutrientes	% p/p*		
	Profol	Concorde	Kellus Inox
Nitrogênio (N)	12	9	-
Fósforo (P ₂ O ₅)	-	2	3

Potássio (K ₂ O)	3	1	-
Magnésio (Mg)	1	-	-
Enxofre (S)	9,4	-	-
Boro (B)	2	0,04	-
Cobre (Cu)	0,1	0,1	-
Ferro (Fe)	0,2	-	-
Manganês (Mn)	6,5	0,1	9
Molibdênio (Mo)	0,1	0,1	-
Zinco (Zn)	9	0,1	3
Carbono orgânico total	-	6	-

Fonte: ICL (2022).

2.2 Experimento em Casa de Vegetação

O experimento foi instalado em casa de vegetação com temperatura média de 25 °C +/- 3°C, umidade relativa do ar de 70% +/- 5%. Essa temperatura e umidade foram mantidas por jato de ar forçado por ventoinhas, acionada por um termostato e irrigação por atomização de água por “sprinkler” controlada por timer (3x ao dia), atuando no controle automático de temperatura. Utilizaram-se seis sementes de soja da cultivar TMG 2185 IPRO para semeadura em vasos de 5 litros contendo substrato composto por Casca de Pinus, vermiculita, PG Mix 14.16.18, Nitrato de Potássio, Superfosfato Simples e Turfa. Foram selecionadas as 3 melhores plantas para conduzir o ensaio.

Para a manutenção do ensaio foram realizadas duas aplicações de Neonicotinóide + Piretróide (250g/ha) para mosca branca e percevejo verde, além da aplicação de isca para o controle de lesmas.

Todas as aplicações foram realizadas via foliar. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 repetições, sendo cada parcela experimental composta por 3 plantas, totalizando 105 plantas. A aplicação da calda ocorreu no estágio V2 da planta, do qual se caracteriza pela presença do segundo par de folhas trifolioladas.

2.3 Obtenção de inóculo e inoculação

Urediniósporos de *P. Pachyrhizi* presentes em soros urediniais de folíolos frescos da cultivar TMG 2185 IPRO de soja mantidos em vasos na casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia, localizada na Universidade Federal de Lavras, foram coletados e inoculados em plantas de soja, na casa de vegetação, de acordo com Frederick et al. (2002). Os urediniósporos de *P. Pachyrhizi* foram coletados de folíolos de soja com sintomas visíveis de pústulas e necrose.

A suspensão de urediniósporos foi preparada em água destilada contendo 0,01% de Tween 20 (v:v) até a concentração de $5,0 \times 10^4$ urediniósporos.ml⁻¹, a qual foi uniformemente pulverizada nas duas faces das folhas até o ponto de escorrimento sobre as plantas de soja em estádios V3. Imediatamente após a inoculação, as plantas foram incubadas em câmara úmida e no escuro por 24 horas. A inoculação das plantas foi realizada 7 dias após aplicar os tratamentos.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1 Avaliação da intensidade da doença

Quando os primeiros sintomas da doença foram observados, iniciaram-se as avaliações da severidade nas folhas de soja em intervalos de 7 dias, totalizando seis avaliações.

Para quantificar a severidade da doença, a planta foi dividida em três partes (posições da copa), ou seja, terço inferior, médio e superior. Em cada uma das posições foram utilizadas duas folhas trifolioladas, sendo a avaliação realizada no folíolo central de cada folha marcada com linha colorida. Para a estimativa da severidade da ferrugem da soja utilizou-se a escala diagramática de Godoy et al. (2006). Com os resultados referentes aos índices médios de severidade da doença, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença da severidade (AACPDs), segundo Shanner e Finey (1977) e, em seguida, com os resultados, procedeu-se à análise de variância.

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i-1} - T_i)$$

Em que:

- AACPD= área abaixo da curva de progresso da doença;
- y: intensidade da doença na “i”-ésima observação;

- t: tempo em dias na “i”-ésima observação;
- n: número de avaliações no tempo.

2.4.2 Avaliação de clorofila

Quatro leituras foram realizadas durante a condução do experimento sendo medido o teor de clorofila em um trifólio em cada terço da planta e realizadas as médias para obter a média por parcela (Venâncio et al., 2004). A primeira medida foi realizada (V2) antes de aplicar os tratamentos, a segunda (V3) antes da inoculação do patógeno, a terceira quando foi observado os primeiros sintomas da doença e a última no final do experimento. O teor de clorofila foi calculado indiretamente, a partir das leituras do medidor portátil de clorofila SPAD-502® (Matsumoto et al., 2006). Posteriormente, foi utilizada a seguinte equação para determinar o teor de clorofila por peso da planta seca (TC, mg.g-1):

$$TC = a + b * s$$

Onde: 'a' (-1,4693) e 'b' (0,3975) se referem aos parâmetros da equação de calibração para cultura da soja e 's' ao valor SPAD observado.

2.4.3 Avaliação das variáveis morfológicas

Foi feita a medição da altura e diâmetro das plantas. Para medida da altura (cm) utilizou-se fita métrica e para o diâmetro o paquímetro. Sendo as medições de diâmetro feitas entre o primeiro e segundo pares de folhas trifolioladas. Foram realizadas 3 avaliações, sendo uma antes da inoculação, uma após o aparecimento da doença e um ao final do experimento.

2.4.4 Avaliação do peso da planta e das vagens secas

Para calcular o peso das plantas secas (g), as mesmas foram coletadas e acondicionadas em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada a 65°C até atingirem peso constante. O peso de vagens (g) correspondeu a média obtida referente a todas as plantas da parcela.

2.4.5 Avaliação da fitotoxidez da planta

A fitotoxidez foi avaliada dois dias após a pulverização dos tratamentos, mediante a observação visual de cada folha das plantas.

3. Análise estatística

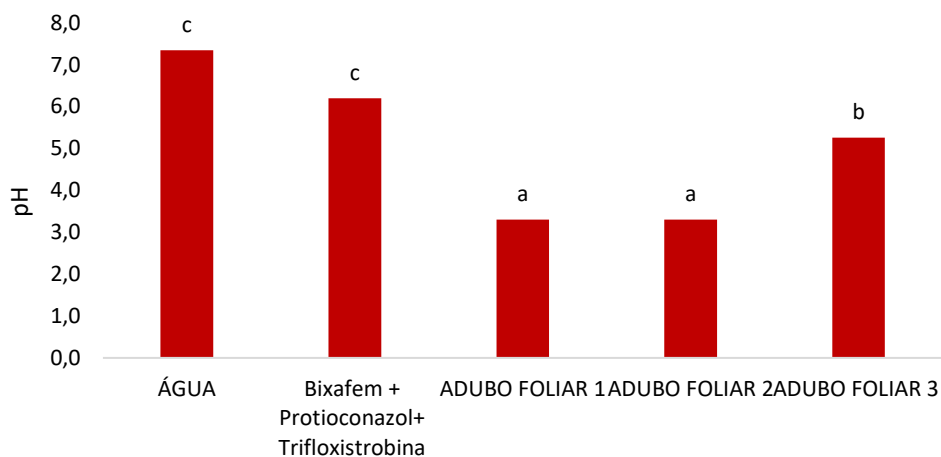
Os dados da AACPDS, o peso das plantas e das vagens secas, a altura, o diâmetro, os teores de clorofilas total, pH e condutividade foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar os pressupostos da análise de variância. Após confirmar a distribuição normal dos dados, estes foram submetidas à análise de variância. As variáveis significativas no teste F ($p < 0,05$), foram submetidas ao agrupamento de médias por Scott-Knott. A análise estatística foi realizada no software R (R Core Team, 2013) e os gráficos plotados utilizando-se o software Microsoft® Excel® 2013.

4. Resultados

4.1 Condutividade Elétrica e pH

Houve diferença entre os tratamentos para as variáveis pH e condutividade elétrica ($p < 0,05$) (Figuras 1 e 2). Porém não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) ao longo dos diferentes tempos (Figuras 5 e 6). Dentre os tratamentos, Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina + Adubo foliar 1 apresentou o menor pH (2,96) e o Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina apresentou o maior pH (6,0), sendo que a testemunha apresentou pH de 7,1 (Figura 2).

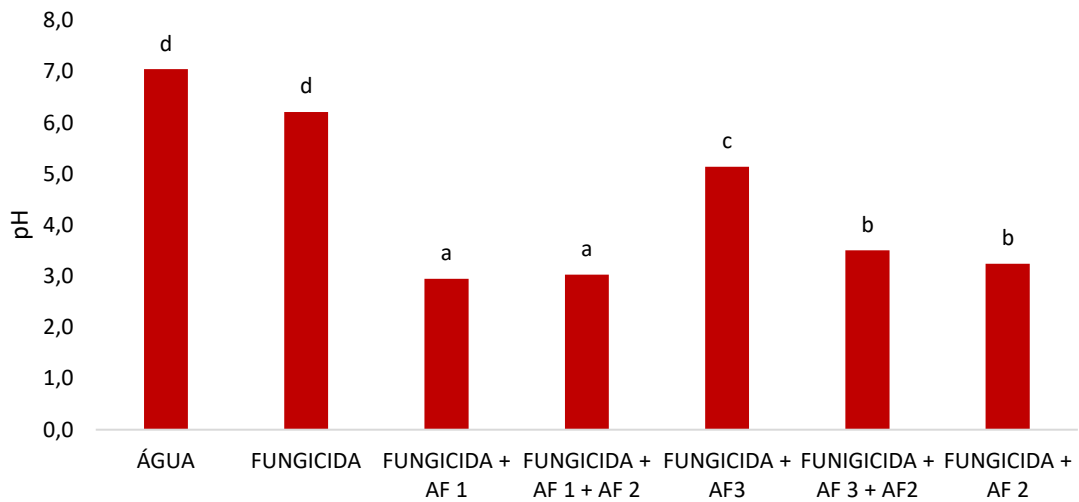
Figura 1: Valores médios de pH dos tratamentos avaliados: água.



Nota: água; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina; Profol (Adubo foliar 1); Concorde (Adubo foliar 2) Kellus Inox (Adubo foliar 3). Médias seguidas por mesmas letras nas barras não diferem entre si por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade

Fonte: Da autora (2024)

Figura 16: Valores médios de pH das caldas de misturas dos tratamentos avaliados.

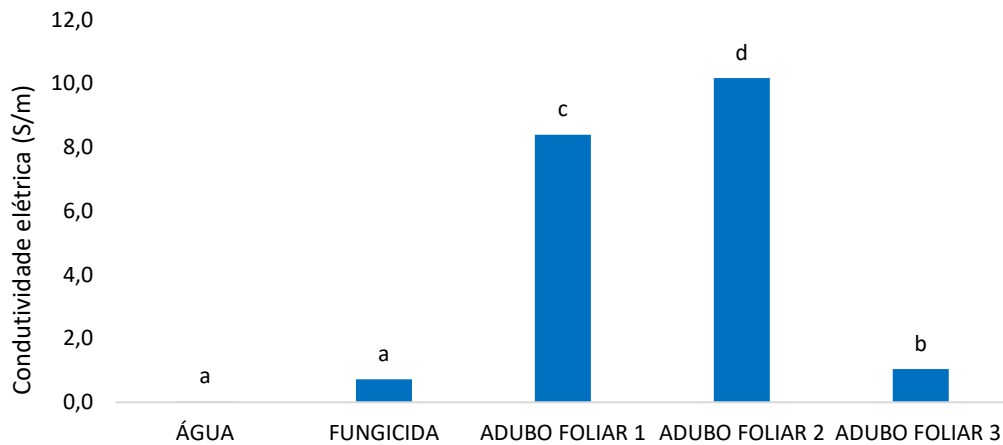


Nota: água; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Profol (AF1); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3) + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2). Médias seguidas por mesmas letras nas barras não diferem entre si por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2024)

Para condutividade elétrica, o tratamento Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 1 + Adubo foliar 2 (15,72) apresentou maior condutividade elétrica e Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina apresentou menor valor dessa variável (0,72) (Figura 3).

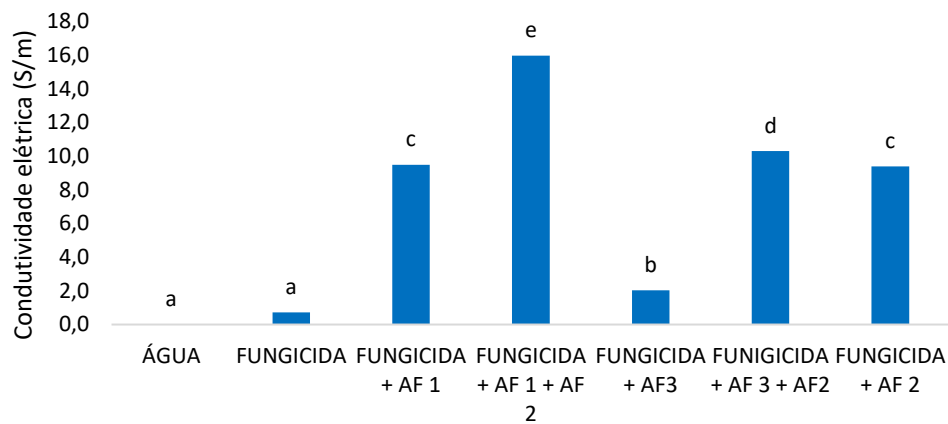
Figura 17: Valores médios de condutividade elétrica dos tratamentos avaliados.



Nota: água; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina; Profol (Adubo foliar 1); Concorde (Adubo foliar 2) Kellus Inox (Adubo foliar 3). Médias seguidas por mesmas letras nas barras não diferem entre si por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.1

Fonte: Da autora (2024).

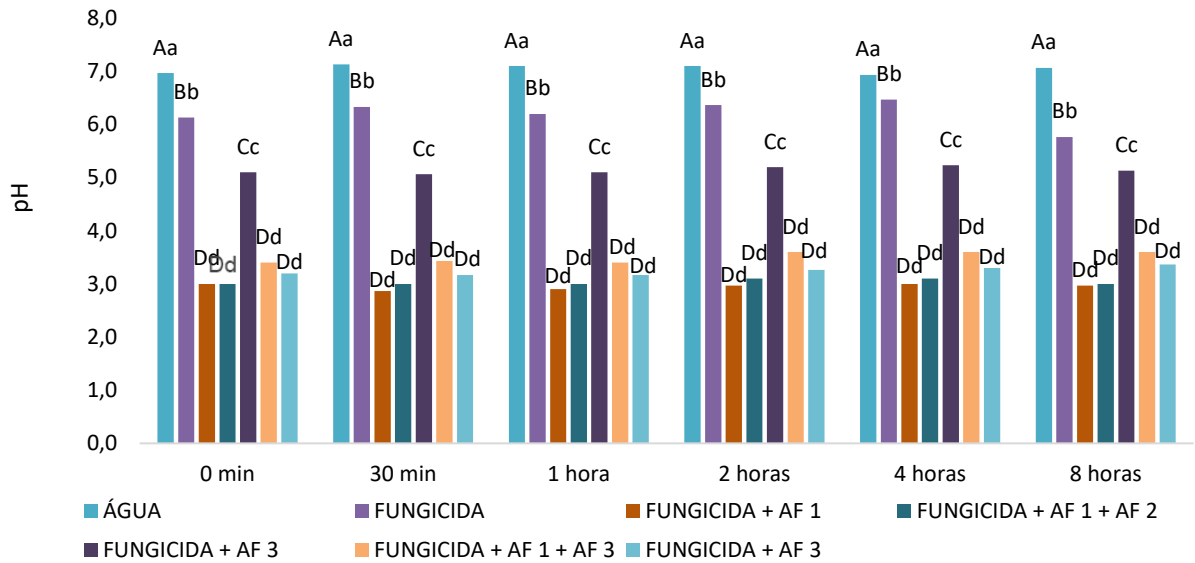
Figura 4: Valores médios de condutividade elétrica das caldas de misturas dos tratamentos avaliados.



Nota: água; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Profol (AF1); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3) + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2) . Médias seguidas por mesmas letras nas barras não diferem entre si por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2024).

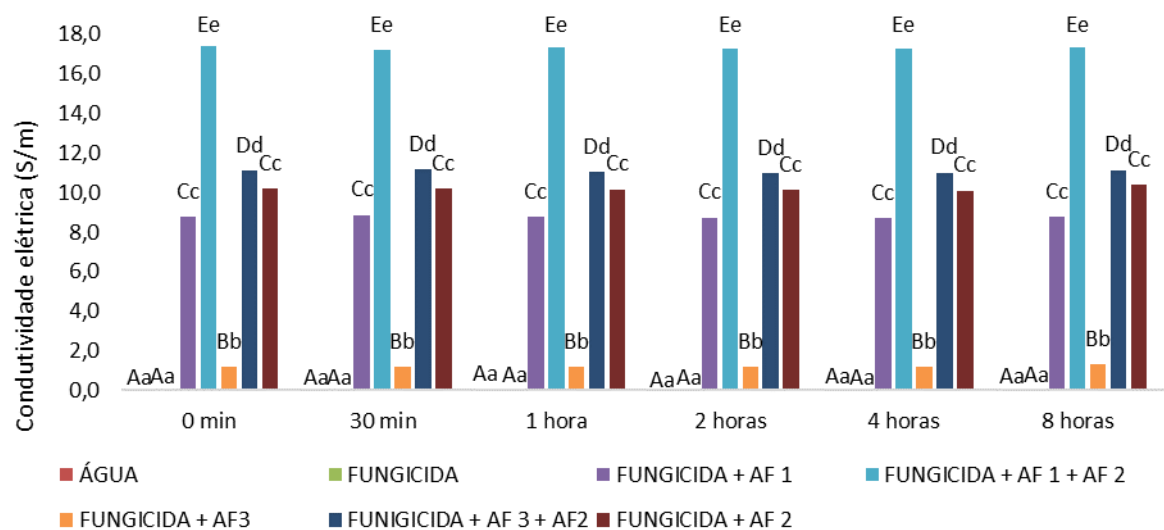
Figura 518: Valores médios de pH das caldas de misturas dos tratamentos avaliados em diferentes tempos.



Nota: água; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina; Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Profol (AF1); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Kellus Inox (AF3) + Concorde (AF2); Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Concorde (AF2). Médias seguidas por mesmas letras nas barras não diferem entre si por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2024).

Figura 6: Valores médios de condutividade elétrica das caldas de misturas dos tratamentos avaliados em diferentes tempos.



Fonte: Da autora (2024).

4.2 Avaliação da doença

Houve diferença entre os tratamentos para as variáveis AACPDS, peso da parte área e das vagens secas e teor de clorofila total ($p < 0,05$) (Tabela 3).

A mistura Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 1 (82,81%) e Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 1 + Adubo foliar 2 (83,84%) foram os tratamentos com maior redução da epidemia durante o período avaliado (Tabela 3), este foi seguido por “ranking” de eficácia na redução da epidemia por, Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina (69,47%), Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 3 + Adubo foliar 2 (61,22%), Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 2 (56,80%) e Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 3 (52,22%) todos estes produtos foram superiores em termos eficácia em comparativo a testemunha.

Para as variáveis parte área seca, teor de clorofila total e peso de vagens, os resultados dos tratamentos aplicados foram superiores a testemunha, e não diferindo ($p < 0,05$) entre eles (Tabela 3). Já para as variáveis altura e diâmetro, os tratamentos não diferiram da testemunha (Tabela 3).

Tabela 2: Resultados das variáveis analisadas AACPDS, eficiência, teor de clorofila total, parte aérea seca, altura, diâmetro e peso de vagens.

Tratamentos	AACPDS	Ef. (%)	TC (mg.g ⁻¹)	PAS (g)	Altura (cm)	Diâm. (cm)	Peso de vagens (g)
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina +	104,06b	69,47	11,36a	20,0 1 a	37,13a	1,71a	27,31a
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 1	58,59a	82,81	10,99a	23,6 1 a	39,53a	1,49a	36,93a
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 1 + Adubo foliar 2	55,06a	83,84	12,47a	22,2 1 a	38,23a	1,51a	25,01a
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + Adubo foliar 3	162,84b	52,22	11,52a	21,7 3 a	46,66a	2,04a	46,21a
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + +Adubo foliar 3+Adubo foliar 2	132,18b	61,22	10,66a	21,2 5 a	44,13a	1,48a	37,08a
Bixafem + Protioconazol+ Trifloxistrobina + +Adubo foliar 2	147,23b	56,8	11,50a	22,0 8 a	44,93a	1,81a	35,25a
Testemunha	340,87c	-	8,68b	6,59 b	42,06a	1,76a	6,95b
CV	38,86	-	6,48	35,1	20,07	20,37	35,2

Fonte: Da autora (2024)

Para todos os tratamentos, com exceção da testemunha, foi observado sintomas de fitoxidez nas plantas.

5. Discussão

Neste estudo, o tratamento Fungicida + Adubo foliar 1 apresentou o menor pH (2,96) e condutividade elétrica (8,78). Em pesquisas sobre misturas de produtos para preparação de calda, é importante avaliar o pH e a condutividade elétrica da calda, pois o pH pode interferir na ação de um ingrediente ativo, tendo em vista a possibilidade da reação das concentrações de íons H⁺ ou OH⁻ com o ingrediente ativo, diminuindo a concentração deste na calda, afetando a eficiência do produto aplicado (PRADO et al., 2015).

Sobre a condutividade elétrica, o ideal é os valores sempre estarem próximo de zero, conforme observado para testemunha e o tratamento Fungicida. Os valores de condutividade elétrica altos da calda, indicam a presença de íons, sua concentração e valência. Vilela (2009) relata que menores valores de pH e maiores valores de condutividade elétrica nas caldas promovem a atração entre as partículas da solução e a superfície da planta tratada, afetando a absorção e eficácia dos produtos.

O tratamento com Fox apresentou maior pH (6,2), estando este o mais próximo da neutralidade e da testemunha. O acréscimo dos produtos contendo os nutrientes, promoveu diminuição do pH das caldas. Petter et al. (2013) ressaltam sobre as caldas com valores de pH próximo à neutralidade demonstram maior estabilidade dos princípios ativos, por não reagirem com íons. Por outro lado, se o pH da calda está reduzido, os produtos tendem a reduzir suas cargas iônicas negativas, podendo ocasionar a adsorção de outras moléculas presentes na mistura.

O fungicida utilizado, Fox XPro (Bayer®) apresenta como ingredientes ativos a Trifloxistrobina + Protioconazole + Bixafem, com modo de ação correspondente à inibidores da quinona oxidase (QoIs), inibidores da desmetilação (DMIs) e inibidores da succinato desidrogenase (SDHIs). Gabardo et al. (2020), relataram sobre a combinação de dois ou mais ingredientes ativos que apresentam mecanismos de ação distintos proporciona controle mais eficiente da ferrugem asiática da soja. Além disso, essas combinações permitem o aumento do espectro de ação do produto em campo, garantindo maior efeito residual e reduzindo o risco de emergência de populações de patógenos resistentes ao fungicida.

Os QoIs são fungicidas denominados de estrobilurinas, atuantes na inibição da respiração mitocondrial celular, no sítio da enzima quinona oxidase do complexo III, impedem

o transporte de elétrons entre os citocromos b e c1, intervindo na constituição da molécula energética adenosina-trifosfato (ATP). Atuam na prevenção, cura, e afeta o desenvolvimento do fungo nos estádios iniciais da infecção (RODRIGUES, 2006).

Os DMIs inibem a biossíntese do ergosterol, mediante o bloqueio da desmetilação do lanosterol. A redução do ergosterol causa ruptura da membrana e derramamento da célula fúngica e, conseqüentemente, sua morte. Atuam como protetores, impedindo a germinação de esporos, formação do tubo germinativo e apressório (RODRIGUES, 2006).

Os SDHIs são as carboxamidas, foram testadas no Brasil, para controle da ferrugem asiática da soja no ano de 2014 (GODOY et al., 2014). Age impedindo a respiração do fungo através do bloqueio dos sítios de ligação da ubiquinona no complexo II da mitocôndria, causando a interrupção do transporte de elétrons e inibindo a produção de ATP e a formação de várias moléculas intermediárias (CARRIJO, 2014).

Observou-se a mistura de Fungicida + Adubo foliar 1 (82,81%) e Fungicida + Adubo foliar 1 + Adubo foliar 2 (83,84%) foram os tratamentos com maior redução da epidemia durante o período avaliado, e conseqüentemente apresentaram maior eficácia do produto. Nesse sentido, cabe ressaltar, este melhor resultado pode ser devido a utilização do Adubo foliar 1, tendo em vista os outros tratamentos quando utilizado o Fungicida ou Fungicida + Adubo foliar 2 apresentaram porcentagem máxima de eficácia de 69,47%. Segundo Gazziero (2015), a técnica de mistura de produtos em tanque pode gerar resultados com efeitos sinérgico, aditivo ou antagônico em relação ao efeito de cada produto fitossanitário utilizado isoladamente. Do mesmo modo, neste estudo, observou efeito aditivo benéfico para a proteção da planta, quando adicionado Adubo foliar 1 juntamente com fungicida.

De acordo com informações do fabricante (ICL, 2022), o Profol Produtividade reúne o equilíbrio entre os nutrientes ligados diretamente à fotossíntese e produção de grãos, e diferentes fontes desses nutrientes, proporcionando ação de nutrição completa durante todo o ciclo das culturas, incluindo o da soja. O Profol tem sido utilizados em alguns estudos visando a produtividade da soja (Basso et al., 2011; Potrich; Jardini, 2020).

A utilização de fungicida neste estudo proporcionou eficácia superior (69,47%) ao teste realizado por Mendonça Junior et al. (2019) com este fungicida no controle da ferrugem asiática da soja, da qual observaram eficácia de 44%. Esta diferença dos resultados obtidos nos estudos pode ser devido a diversos fatores relacionados as características do hospedeiro e do método de cultivo, como a temperatura, cultivares, genótipos (Juliatti et al. 2021), precipitação, umidade, dose do produto (Gabardo et al., 2020) e a idade (Bonde et al., 2012).

Alguns estudos têm sido realizados para verificar o efeito da aplicação associada de alguns minerais juntamente com o fungicida. Zamboli et al. (2019) utilizaram o potássio (K), nutriente essencial para as plantas e está envolvido nos processos celulares que podem influenciar a gravidade da ferrugem asiática da soja. Os autores testaram a aplicação de diferentes concentrações do nutriente sozinho e em combinação com fungicida azoxistrobina (200 g/L) + ciproconazol (80 g/L). Foi verificada diminuição da severidade da doença e aumento da taxa de controle do patógeno, da produtividade da soja e dos teores de clorofila a, b e total, de acordo com o aumento das doses de K aplicado juntamente com o fungicida,

Por outro lado, uma pesquisa desenvolvida por Gabardo et al. (2020) para testar a eficiência de nutrientes (cálcio, cobre, manganês, zinco, molibdênio, fertilizante NK) como produto alternativo no controle da ferrugem asiática da soja nas safras 2013/2014 e 2014/2015, o autor estudou a aplicação dos nutrientes isolados no controle da doença. Os autores observaram quando os nutrientes são aplicados isolados, sem estar em misturas com fungicidas não promovem o controle da doença e desfolha da planta.

Para as variáveis parte área seca, teor de clorofila total e peso de vagens, os resultados dos tratamentos aplicados foram superiores a testemunha, não diferindo entre eles. A avaliação destes parâmetros é importante, tendo em vista que a infecção por *P. Pachyrhizi* causa rápido amarelecimento e queda precoce das folhas, resultando em desfolha prematura na cultura Henning et al. (2014).

Board et al. (2010) ressaltaram a importância da desfolha excessiva e a produtividade de grãos de soja. Pois, a produtividade está relacionada diretamente com a fotossíntese, realizada pela captação da luz pelas folhas. A desfolha precoce na cultura, reduz a produtividade ao interferir nos processos fisiológicos, diminuindo assim o número vagens, de sementes por vagem e menor peso de 1000 grãos. Além disso a ferrugem asiática pode causar aborto e queda de vagens ao afetar as culturas no estágio de formação da vagem (Barros et al., 2008).

Também vale ressaltar a importância da utilização de fertilizantes (nutrientes), e o aumento da produtividade da planta. Conforme foi observado, em todos os tratamentos, do qual o peso de vagens foi superior ao da testemunha. Gabardo et al. (2020) também verificaram este efeito dos nutrientes sobre o número de vagens, embora não tenha sido encontrado eficácia dos produtos avaliados sobre a ferrugem asiática de soja. Contudo, Gabardo et al. (2020) verificaram aumento de 116% no rendimento do cultivo, quando o fungicida foi aplicado juntamente com os nutrientes. Isto vem a confirmar a importância do controle da doença e a ligação com produtividade da soja.

Datnoff et al. (2007) afirmam a importância dos nutrientes minerais e as funções desempenhadas no metabolismo, no crescimento, produtividade da planta e aumento da resistência à patógenos. Muitos nutrientes são cofatores enzimáticos, ativadores, inibidores ou moduladores de vários processos metabólicos na planta e podem participar da síntese de compostos usados em barreiras químicas. Assim, a nutrição mineral pode determinar a resistência ou suscetibilidade de uma planta a várias doenças.

A altura das plantas avaliadas variou de 37,13 a 46,66 cm, não sendo verificada diferença nos valores desse parâmetro entre os tratamentos e a testemunha. Estes dados corroboram com os dados observados por Mendonça Júnior et al. (2019), do qual avaliaram diferentes fungicidas, com ação QoIS, DMIs e SDHIs no controle da ferrugem da soja, dentre eles o Fox e Fox Xpro, e não observando diferença na altura da soja quando aplicados estes produtos em relação a testemunha.

Para todos os tratamentos, com exceção da testemunha, foi observado sintomas de fitoxidez nas plantas. De acordo com Vilela (2019) a prática da mistura de tanque é amplamente utilizada em plantações. Todavia, a interação de produtos misturados é pouco explorada nas pesquisas, principalmente os reflexos causados nas plantas, bem como a interferência no controle da doença. Além da fitoxidez, Gabardo et al. (2020) declaram sobre a combinação de produtos pode reduzir o risco de isolados resistentes a fungicidas.

Segundo, Goulart (2022), a fitotoxicidade de fungicidas é uma característica comum em soja, isso porque o produto apresenta rápida absorção e menor velocidade de translocação pelos feixes vasculares, podendo acumular nas folhas, resultando em ação tóxica para as plantas, principalmente se aplicadas em altas temperaturas. Todavia, o autor ressalta: a fitotoxicidade não interfere na produção da planta.

Trabalhos futuros, devem ser realizados para avaliar o efeito dos tratamentos utilizados em campo. Além disso, é importante verificar essa eficiência dos tratamentos em diferentes safras, pois segundo Gabardo et al. (2020) a produtividade das safras posteriores à primeira, tendem a ser inferiores, pois a severidade da doença pode ser maior após sua primeira infestação, devido ao fungo se tornar resistente aos tratamentos aplicados.

6. Conclusão

Nas condições desse estudo, todos os tratamentos utilizados em misturas foram eficientes para o controle da ferrugem asiática da soja. Sendo a combinação das misturas Fungicida (Bixafem+Proticonazol+Trifloxistrobina) + Profol + Concorde e Fungicida

(Bixafem+Proticonazol+Trifloxistrobina) + Profol, com maior redução na epidemia da ferrugem asiática.

Houve alteração de pH e condutividade elétrica quando realizada mistura do fungicida com os fertilizantes foliares.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, M. V. G. Desempenho de fungicidas comerciais no controle da ferrugem asiática da soja. 2021. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.
- Barros, H.B.; Sedyama, T.; Reis, M.S.; Cecon, P.R. Efeito do número de aplicações de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v.30, p.239-245, 2008.
- Basso, C. J., Santi, A. L., Lamego, F. P., & Giroto, E. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. *Ciência Rural*, 41, 1726-1731, 2011.
- Board, J.E.; Kumudini, S.; Omielan, J.; Prior, E.; Kahlon, C.S. Yield response of soybean to partial and total defoliation during the seedfilling period. *Crop Science*, Madison, v.50, p.703-712, 2010.
- Bonde, M. R.; Nester, S. E.; Berner, D. K. Effects of soybean leaf and plant age on susceptibility to initiation of infection by *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Health Progress*. Online publication. doi: 10.1094/PHP-2012-0227-01-RS. v. 10, 2012.
- Carrizo, D. R. Efeitos fisiológicos provocados pelo fungicida fluxapiraxade, isolado e em formulação com a piraclostrobina, na cultura da soja. 2014. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2014.
- Datnoff, L.E.; Rodrigues, F.A.; Seebold, K.W. Silicon and plant nutrition. In: Datnoff, L.E.; Elmer, W.H.; Huber, D.M. (ed.). *Mineral nutrition and plant disease*. Saint Paul, 2007. p.233-246.
- Ehlers, Eduardo. *O que é agricultura sustentável*. Londrina: Embrapa soja, 2017.
- Gabardo, G.; Pria, M.D.; Silva, H.L.; Harms, M.G. Produtos alternativos no controle da ferrugem asiática da soja e sua influência no desfolhamento, produtividade e componentes de rendimento. *Summa Phytopathologica*, v.46, n.2, p.98-104, 2020.
- Gazziero, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 83–92, jan./mar. 2015.
- Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, Lavras, v.31, p.63 - 68, 2006.
- Godoy, C. V., Seixas, C. D. S., Soares, R. M., Marcelino-Guimarães, F. C., Meyer, M. C., & Costamilan, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.407-421, 2016.

Godoy, C. V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2013/14: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.

Londrina: Embrapa Soja. 2014. 7P. (Circular técnica, 103).

Goulart, Nádia Caroline Marques. Triazois isolados no manejo de Ferrugem Asiática da soja. 2022. 37 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2022.

Hartman, G. L.; Sikora, E. J.; Rupe, J. C. Rust. In: Hartman, G. L. et al. (Ed.). *Compendium of soybean diseases and pests*. 5th ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2015. pp. 56-58.

Henning, A.A.; Almeida, A.M.; Godoy, C.V.; Seixas, C.D.S.; Yorinori, J.T.; Costamilan, L.M.; Ferreira, L.P.; Meyer, M.C.; Soares, R.M.; Dias, W.P. *Manual de identificação de doenças de soja*. 5.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

Hirakuri, Marcelo Hiroshi; Lazzarotto, Joelsio José. *O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro*. 2014.

Huber, D. D.; Römheld, V.; Weinmann, W. Relationship between nutrition, plant, diseases and pests. In: MARSCHNER P (ed) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Sydney, p. 2836–2999. 2012

ICL. Concorde. 2022. Disponível em: <https://iclamericadosul.com/produtos/agro/vegetal/concorde/>. Acesso em: 17 ago. 2022.

Juliatti, B. C. M., Pozza, E. A., & Juliatti, F. C. Severity of rust infection in soybean genotypes with partial resistance as a function of temperature and leaf wetness duration. *Genetics and Molecular Research*, v. 20, n. 2, gmr18781, 2021.

JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C.; JULIATTI, F.Ca. 2004. *Manejo integrado de doenças da soja*. Uberlândia: Composer, Gráfica e Editora.

Klosowski, A.C.; May de mio, I.I.; Miessner, S.; Rodrigues, R.; Stammler, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. *Pest Management Science*, v. 72, p. 1211–1215, 2016.

Matsumoto, S.N. et al. Water relations in coffee grove planted with grevilleas in Vitória da Conquista, BA. *Coffee Science*, Lavras, v.1, n. 1, p. 71-83, abr./jun. 2006.

Mendonça Júnior, D. P., Ribeiro, L. A. E., de Sá, D. D. D., de Araújo, F. P., & de Souza, J. E. B. (2019). Comportamento de fungicidas sistêmicos para o controle da ferrugem asiática na soja. *Ipê Agronomic Journal*, 3(2), 25-34.

Petter, F.A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. *Comunicata Scientiae*, 4(2):129-138, 2013.

Potrich, Murilo Vilela; Jardini, Debora Curado. *Aplicação complementar de manganês em soja transgênica*. 2020. 9f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Univag Centro Universitário, Várzea Grande, 2020.

Pozza E. A., Pozza A. A. A. Coffee plant diseases affected by nutritional balance. *Coffee Science*, 2023.

Prado, E. P., Raetano, C. G., Dal Pogetto, M. H. D. A., Costa, S. I. D. A., & Christovam, R. D. S. (2015). Taxa de aplicação e uso de surfactante siliconado na deposição da pulverização e controle da ferrugem da soja. *Engenharia Agrícola*, 35, 514-527.

RIBEIRO, L.A.E; JÚNIOR, D.P.M; SÁ, D.D; ARAÚJO. F.P; SOUZA, J.E.B. Viabilidade econômica do uso de fungicidas no controle da ferrugem asiática da Soja. *Ipê Agronomic Journal*, v. 3, n. 2, p. 35-43, 2019.

RODRIGUES, M. A. T. Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC. 2006. Dissertação (Mestrado em Proteção Vegetal) –Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2006.

SANTOS, Natália Ribeiro; SILVA, Damilly Urielly Viana. Produtividade da soja (*glycine max l.*) em resposta da adubação foliar no município de Paragominas-PA. Orientador: Luís de Souza Freitas. 2018. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Paragominas, PA, 2018.

Shaner, G. & Finney, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 70:1183-1186. 1977.

Venâncio, W.S.; Rodrigues, M.A.T.; Begliomini, E.; Souza, N.L. de. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. *Publication UEPG, Ponta Grossa*, v. 9, n. 3, p. 59-68, 2004.

Vilela, Ximena Maira de Souza. Fungicidas sistêmicos para ferrugem do cafeeiro: controle e eficiência na mistura com cúpricos e fertilizantes foliares. 2019. 87 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

Yorinori, J. T., Paiva, W. M., Frederick, R. D., Costamilan, L. M., Bertagnolli, P. F., Hartman, G. E., ... & Nunes Jr, J. (2005). Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease*, 89(6), 675-677.

Zambolim, L.; Mochko, A.C.R.; Parreira, D.F.; Valadares, S.V. Potassium fertilization reduces the severity of Asian soybean rust under high disease pressure. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 11, 116-129, 2019.

Anexo 1

Escala diagramática de Godoy et al., 2006, utilizada para avaliar a severidade da ferrugem asiática da soja.

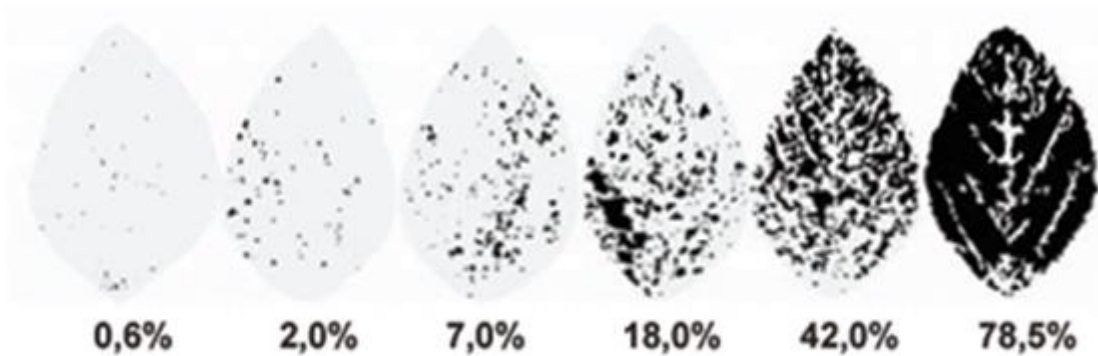


FIG 1 - Diagrammatic scale of soybean (*Glycine max*) rust severity (percentage of diseased leaf area).

ARTIGO 3: Manejo da Morte Súbita em Soja com o uso de nanopartículas de CuO e ZnO

Andreane Bastos Pereira^{1*}; Edson Ampélio Pezza^{1†}; Júlia Marques Oliveira^{1†}; Wade Elmer^{2†}

^{1*} Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Trevo
Rotatório Professor Edmir Sá Santos, Lavras, 37203-202, Minas Gerais,
Brasil.

² Departamento de Ecologia e Patologia de Plantas, The Connecticut Agricultural Experiment Station (CAES),
Huntington Street, New Haven, 06504, Connecticut, Estados Unidos.

*Autor correspondente. E-mail: andreanebastosagro@gmail.com

Autores contribuintes: edsonpozza@gmail.com; wade.elmer@ct.gov; juliamoliveira@ymail.com

†These authors contributed equally to this work.

Artigo formatado de acordo com as normas da revista European Journal of Plant Pathology.

Abstract

A soja está entre as principais commodities agrícolas e uma das culturas mais importantes do agronegócio mundial, com grande importância para sociedade e para economia do país. Diante da grande demanda de sua produção, muitas tecnologias têm sido avaliadas de maneira a aumentar a produtividade da lavoura e promover o crescimento e o controle de pragas e doenças das plantas de forma sustentável. A síndrome da morte súbita (SDS) da soja (*Glycine max* (L.) Meer) causada por *Fusarium virguliforme* tem aumentado em distribuição e importância econômica. Nesse sentido, nanopartículas de micronutrientes tem sido testada para o controle desta doença. O objetivo deste estudo é testar nanopartículas de CuO, S e ZnO na dose de 50 ppm e 500 ppm na severidade da doença causada pelo *Fusarium virguliforme* em soja e verificar se a combinação de CuO e ZnO (250 ppm e 500 ppm) favorece o controle da doença e o desenvolvimento da soja. A utilização de CuO, S e ZnO na dose de 50 ppm e 500 ppm não influenciaram ($P < 0,05$) a severidade da doença causada pelo *Fusarium virguliforme* em soja. A combinação de CuO + ZnO 500 ppm apresentou melhores resultados no controle da doença e não influenciou no desenvolvimento da soja.

Keywords: nanopartículas, morte súbita, manejo alternativo, soja.

1. Introdução

Perspectivas mostram a necessidade do crescimento da demanda por alimentos nos próximos anos, devido ao aumento exponencial da população. Essa previsão se torna alarmante quando são levados em consideração fatores com ação direta nos ciclos produtivos, como as mudanças climáticas (Tillman et al. 2011).

Para a safra 2023/2024 a previsão é de 75% de chances de ocorrência de El Niño, fenômeno no qual pode desencadear a seca no verão ou a falta de pluviosidade suficiente para boas produtividades, penalizando assim as culturas de grãos. Com isso essas mudanças climáticas podem alterar o atual cenário fitossanitário da agricultura. (Inmet, 2023).

Em ambientes com plantas suscetíveis e patógenos virulentos, condições climáticas são determinantes na ocorrência e progresso da doença. Portanto, os cenários enfrentados por produtores e pesquisadores são desafiadores, sendo necessário estudo de novas estratégias para enfrentar o manejo de doenças de plantas.

Entre eles, o uso de nanopartículas pode contribuir na solução dos novos desafios no manejo de doenças, podendo ser utilizadas em forma de aplicação direta como fungicidas e fertilizantes. Pesquisadores tem mostrado aplicações importantes com o uso de nanopartículas em forma de óxidos metálicos de micronutrientes na proteção de plantas. Além de agir na defesa das plantas, os micronutrientes possuem papel importante no metabolismo da planta, pois têm ação direta na formação de fenólicos, lignina e quinonas (Graham e Webb 1991; Roemheld e Marschner 1991).

O uso da nutrição foliar para controlar doenças é uma prática conhecida. Porém, existem alguns obstáculos, entre eles, a distribuição desses nutrientes para os tecidos foliares. A qualidade de aplicação das

moléculas nos tecidos foliares também está diretamente ligada com a translocação dessas por toda a planta (Bukovac e Wittwer

A síndrome da morte súbita (SMS) da soja causada por *Fusarium virguliforme*, tem como sintomas iniciais o desenvolvimento radicular deficiente e podridão radicular. Com o desenvolvimento da doença é notado clorose e necrose interneval, desfolha e morte precoce (Gongora-Canul et al., 2010). O tratamento de sementes com fungicidas específicos e o um solo bem drenado e com menor compactação podem reduzir a severidade da SMS, porém nenhuma estratégia de manejo conseguiu suprimir a doença de forma consistente em todas as áreas.

Aplicação de nanopartículas de CuO e ZnO tem mostrado efeitos consistentes na severidade de doenças de algumas culturas (Elmer e White 2018). Diferentes fontes de cobre em forma de nanopartículas mostraram efeito positivo, segundo estudo de Borgatta et al. 2018; Elmer e White 2016; Elmer et al. 2018, em hortifrúti para o controle de *Fusarium* e *Verticillium* e aumento de produtividade das culturas estudadas. Graham et.al (2016), avaliaram aplicação de NP ZnO em citros, e comprovaram redução da severidade do Cancro Cítrico.

Estudos com NP's de CuO em melancia, reduziram a severidade de *F. oxysporum* f. sp, além de aumentar a biomassa da planta. Plantas tratadas com NP's de CuO produziram 53% mais frutos comparadas ao controle e outros fungicidas e mostraram resultados da expressão genica da polifenol oxidase (PPO) quando NP's de CuO e *F. oxysporum* f. sp estavam ambos presentes Elmer et al (2018).

O uso de zinco para controle de doenças de plantas também vem sendo estudado. Pesquisas mostram o uso de NP de Zn aumentando a resistência de citros e beterraba a doenças (Derbalah et al. 2013; Graham et al. 2016). Em pesquisa realizada por Plaza Pérez (2019), foi evidenciado redução de 27% da podridão das raízes em comparação com o controle, quando aplicadas NP de ZnO para controle de *F. virguliforme* em soja.

A nutrição de plantas com Zn tem sido associada ao manejo de doenças devido ao Zn ser um importante cofator enzimático com ação na enzima superóxido dismutase (Duffy 2007). Elmer e White (2016) mostraram inibição do *F. oxysporum* f.sp. lycopersici quando utilizado Zn em ágar a 25%.

Neste trabalho, os objetivos foram, primeiramente, examinar o efeito dos óxidos metálicos Cu e Zn combinados com controles alternativos de doenças de plantas no crescimento vegetal e composição elementar da raiz de plantas de soja e avaliar a capacidade da NP em suprimir *Fusarium* e os efeitos sobre crescimento de plantas em estufa. Posteriormente foram comparados os óxidos metálicos Cu e Zn combinados com controles alternativos de doenças de plantas para efeito sobre o rendimento, controle de doenças e composição elementar das raízes de plantas de soja.

2. Material e Métodos

2.1 Nanopartículas, plantas e inóculo

NPs de CuO (40 nm, 99,00% puro, S e ZnO (10–30 nm, 99,00% puro) foram obtidas da US Research Nanomaterials Inc. (Houston, TX). As suspensões de NPs foram preparadas a 250 µg/mL de água destilada e adicionado surfactante não iônico (0,5 mL/litro) (Regulaid, Kalo Inc., Overland Park, KS). As suspensões foram sonicadas por 10 min em sonificador de sonda (Fisher Scientific, FB505) a 50% de amplitude imediatamente antes da aplicação para obter total dispersão.

Sementes de soja (*Glycine max*, cultivar SEEDRANCH; Seed world USA, Odessa, FL) foram plantadas em 36 células (5,66 por 4,93 por 5,66 cm) com mistura de vasos sem solo (ProMix BX; Premier Hort Tech, Quakertown, PA) e fertilizadas uma vez por semana com *All-purpose plant food* NPK (18-18-21). As características da mistura de envasamento foram as seguintes: pH = 6,5, NO₃-N=3 µg/g, NH₄-N = 12 µg/g, P = 100 µg/g, K = 180 µg/g, Ca = 1,66 µg/g, Mg = 125 µg/g, sais solúveis = 0,3 ms/cm conforme determinado pelo teste de Morgan. As temperaturas da estufa foram em média de 17 a 22 °C à noite e de 19 a 25 °C durante o dia. Mudanças no estágio V3 foram usadas para iniciar todos os estudos descritos abaixo.

O inóculo do patógeno foi preparado em milho autoclavado com água destilada (1,1 peso/vol) por 1 hora por 2 dias consecutivos. O milho foi semeado com três tampões de ágar colonizados por *F. virguliforme* (Isolate Mont-1). A cultura foi deixada crescer por 2 semanas a 22-25 °C, e o milho foi seco ao ar e moído em um moinho de café por 30 s. O inóculo de milho foi completamente misturado manualmente em uma mistura de envasamento.

2.2 Avaliação dos efeitos do CuO e ZnO no controle da Morte Súbita em Soja em Casa de Vegetação

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação com objetivo de selecionar o melhor tratamento para controlar a Morte Súbita em Soja (*Fusarium virguliforme*). As mudas de cada tratamento foram imediatamente transplantadas para uma mistura de vasos não infestada e para a mistura de vasos infestada com 1,4 g/L de inóculo de milho. Após o transplante, as plantas foram irrigadas individualmente para evitar molhar as folhas.

O primeiro experimento foi montado em casa de vegetação em delineamento de blocos casualizados com 7 tratamentos (1 – Controle; 2- CuO (40 nm); 3 – S (nm); ZnO (10 a 30 nm) em doses de 50 e 500 ppm × 2 níveis de inóculo (infestado com *F. virguliforme* ou não infestado) em esquema fatorial de análise de variância 3x2x2.

O segundo experimento teve como objetivo estudar a interação das nanopartículas de CuO e ZnO em conjunto nas doses de 50 e 500 ppm.

Após 5 semanas, as plantas foram colhidas e os seus pesos da parte aérea fresco foram medidos. As raízes foram lavadas e depois pesadas, e imediatamente após, a porcentagem da área desses órgãos com podridão foi determinada visualmente.

2.3 Análise estatística

As variáveis severidade das raízes, peso de raízes e folhas frescos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar os pressupostos da análise de variância, entre eles a distribuição normal de resíduos. Apresentando distribuição normal, essas variáveis foram submetidas à análise de variância sem a necessidade de transformação dos dados. Em seguida, as médias dos tratamentos foram comparadas por teste de Tukey ($p > 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas usando software R 4.0.2.

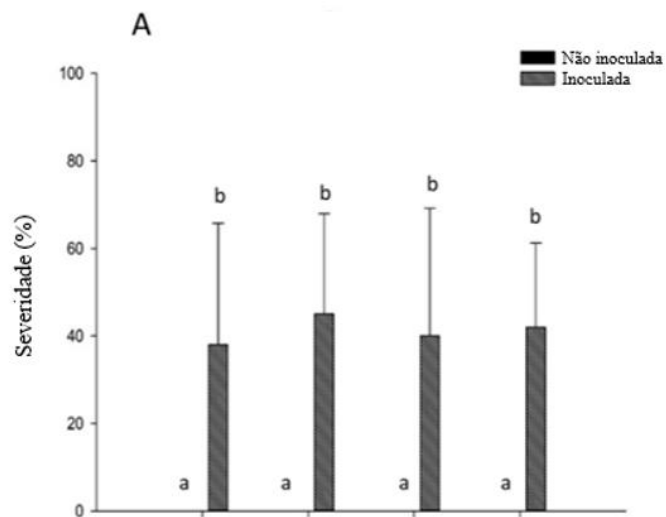
3. Resultados

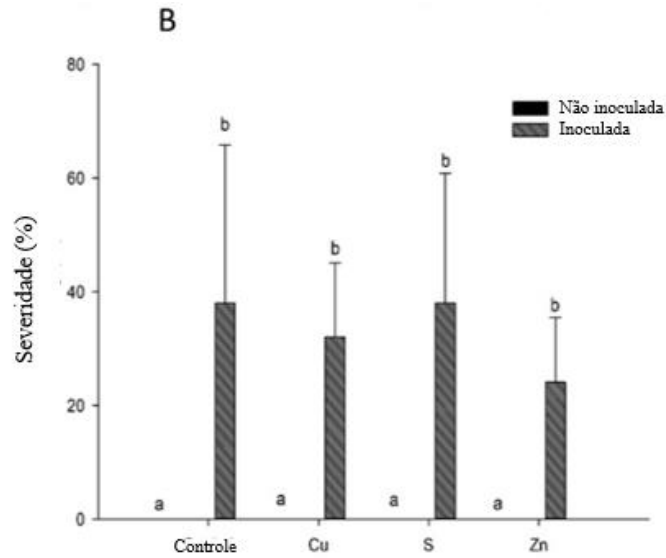
3.1 Experimento 1

No experimento 1, do qual foram testados Cu, S e ZnO na dose de 50 e 500 ppm, não foram verificadas diferenças na severidade da doença em relação aos tratamentos. Esse comportamento foi verificado tanto em plantas inoculadas quanto não inoculadas (Fig 1).

Porém, entre as plantas inoculadas e não inoculadas observou-se diferença na severidade da doença, da qual plantas não inoculadas não apresentaram a doença nas duas doses testadas (Fig 1).

Fig1. Severidade da doença com utilização das doses A. 50 ppm e B. 500 ppm.





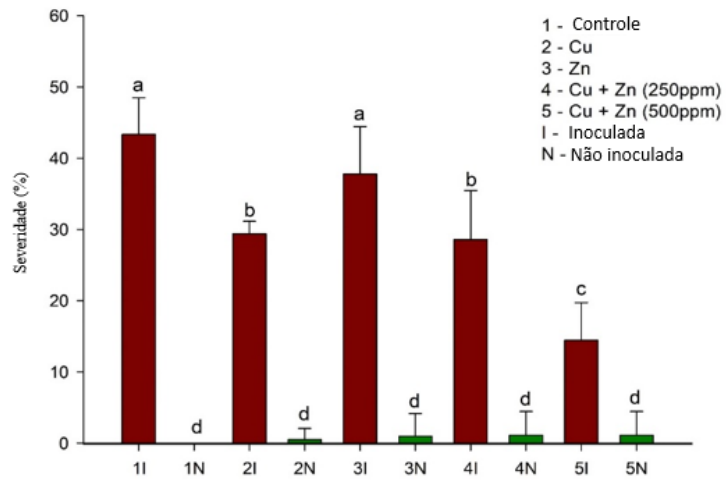
3.2 Experimento 2: Interação das Nanopartículas de CuO + ZnO nas doses de 50 e 500 ppm na severidade da Morte Súbita em Soja.

No experimento 2, com objetivo de avaliar a interação entre o CuO e o ZnO, verificou a diferença significativa ($p < 0,05$) de severidade da doença nas plantas inoculadas em relação às plantas não inoculadas (Fig 2).

A menor taxa de severidade foi registrada no tratamento CuO + ZnO na dose de 500 ppm, o qual promoveu diminuição superior a 50% da severidade em relação ao controle. Em relação a dose utilizada, o uso de 500 ppm apresentou redução significativa em relação à utilização da dose de 250 ppm (Fig 2).

Além disso, a utilização de CuO isoladamente também ocasionou diminuição ($p < 0,05$) da severidade da doença, já o uso de ZnO não afetou esta variável (Fig 2).

Fig 2. Severidade da morte súbita em plantas de soja tratadas com nanopartículas de cobre e de zinco.



Os tratamentos empregados não influenciaram nas variáveis peso da parte aérea fresca (Figura 3) e peso das raízes frescas ($p < 0,05$) (Figura 4), independente da inoculação do patógeno.

Fig 3. Peso fresco das folhas de acordo com os tratamentos utilizados.

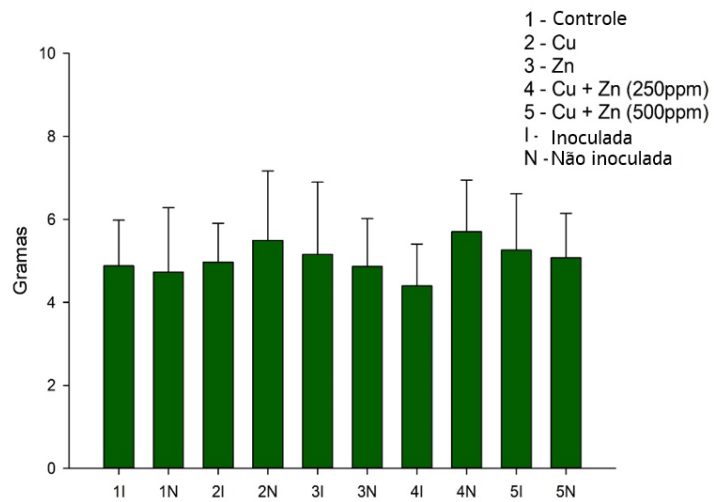
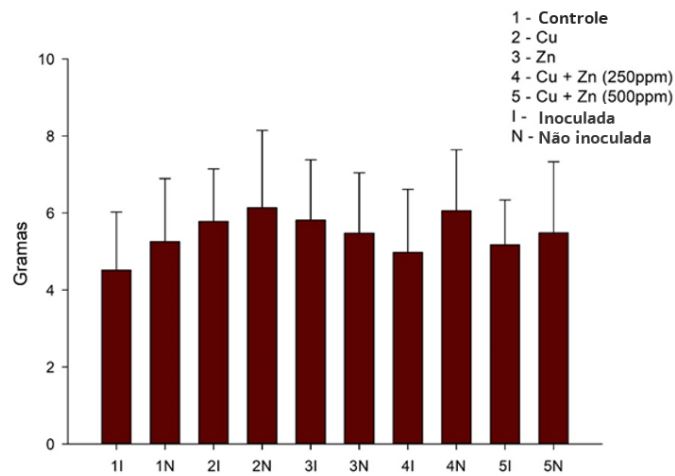


Fig 4. Peso das raízes frescas, de acordo com os tratamentos utilizados.



4. Discussão

Com a grande demanda de produção da soja, existe atualmente no mercado várias tecnologias usadas para alcançar alta produtividade focado principalmente no estímulo dos componentes de produção da planta para se expressarem ao máximo possível (SEIXAS, 2020) e no controle de doenças devastadoras de plantações (GAO et al., 2018; BUENO et al., 2021). Nesse sentido, as nanopartículas de micronutrientes podem aumentar o desenvolvimento da planta, bem como auxiliar no combate de patógenos (KIM et al., 2018; THAKUR et al., 2018; MA et al., 2020).

As nanopartículas de CuO, S e ZnO nas doses de 50 ppm e 500 ppm, não influenciaram na severidade da doença, sugerindo não serem eficientes no controle do patógeno, independente das doses aplicadas. No entanto, o estudo realizado por Pérez (2019) com soja em casa de vegetação identificou ação de nanopartículas de CuO e ZnO no controle de *F. virguliforme* em soja. Pérez et al. (2020) registraram diminuição da severidade de *F. virguliforme* em soja 17-25% com a utilização de CuO e ZnO.

De acordo com Moreira et al. (2020) as condições de manejo podem promover diferentes resultados, todavia, este experimento seguiu a metodologia empregada por Pérez (2019). Porém, estudo *in vitro* com as nanopartículas CuO e ZnO não apresentaram controle sobre *F. virguliforme* (Pérez et al., 2020). De acordo com Pérez et al. (2020) essa divergência dos resultados provavelmente ocorreu devido a restauração dos níveis alterados de nutrientes no tecido da planta promovido com as nanopartículas, sugerindo aumento da defesa da planta em consequência da nutrição modulada.

No experimento 2 a combinação de CuO + ZnO na dose de 500 ppm apresentou melhores resultados para severidade da doença, seguido dos tratamentos CuO + ZnO 500 ppm e CuO isoladamente. Estes resultados infere uma maior ação do CuO no controle do patógeno, tendo em vista a utilização de ZnO isolado não apresentou controle do *F. virguliforme*.

O efeito positivo de nanopartículas de CuO no controle de patógenos de plantas já foi relatado para *F. virguliforme* em soja (PÉREZ, 2019; MA et al., 2020; PÉREZ et al., 2020), *Fusarium* e *Verticillium* em tomate, berinjela e melancia (BORGATTA et al., 2018; ELMER et al., 2018; ELMER; WHITE, 2016), sendo observado também aumento de rendimento na produção.

De acordo com Evans et al. (2007), o cobre atua como cofator de componentes-chave da defesa do hospedeiro, como a plastocianinas, peroxidases e multi-CuOxidases. Novas implementações de Cu podem aumentar ainda mais a reação de defesa, permitindo a liberação de íons Cu a serem absorvidos (STRAYER-SCHEYER et al., 2018).

De acordo com Ma et al. (2020) nanopartículas de Cu são mais facilmente disponibilizadas para a absorção nos tecidos, destacando a importância da morfologia e perfil de dissolução de nanopartículas na resposta da planta. Ma et al. (2020) indicaram através de análises moleculares o alívio significativo do estresse induzido por *F. virguliforme* com a utilização de nanopartículas de Cu.

Apesar do estudo sugerir pouco ou nenhum efeito do ZnO no controle do patógeno, a nutrição com Zn tem sido associada com controle de doenças e funciona como cofatores nas enzimas superóxido dismutase, supressoras dos radicais livres (DUFFY, 2007).

Mesmo não sendo observada diferença do peso fresco das folhas e raízes nos diferentes tratamentos utilizados, estas avaliações são essenciais em estudos de produtividade e controle de pragas e doenças. A avaliação do peso fresco da planta é importante, pois esta característica se relaciona diretamente com sua produtividade, pois tem relação com componentes de produção como número de hastes e número de nós da soja (SOARES, 2016). Por outro lado, na avaliação das raízes, o ideal é os tratamentos promovam um aumento na massa de raízes saudáveis, de maneira a permitir a absorção e transporte de nutrientes disponível no solo pela planta (BORCIONI et al., 2016).

Resultados observados para o peso das folhas e raízes frescas, da qual não se observou influência do patógeno e dos tratamentos sobre estas variáveis, não corroboram com os resultados observados por Pérez (2019), da qual o autor verificou com adição das nanopartículas CuO e ZnO, peso fresco das plantas de soja infestadas com *F. virguliforme* muito inferior às plantas não infestadas. Ainda de acordo com este autor a dição de nanopartículas de CuO e ZnO pode contribuir para um maior desenvolvimento da planta, fato este não observado na presente pesquisa.

Ma et al. (2020) observaram redução da biomassa e da fotossíntese em 70,3 e 60%, respectivamente em plantas de soja infectada com *F. virguliforme*. Porém, com a aplicação foliar de Cu em nanoescala, foi possível reverter esse dano.

Além disso, Pérez (2019) também relatou sobre a diminuição da porcentagem de raízes podres utilizando CuO e ZnO, da qual adição de CuO e ZnO resultaram em redução de 26% e 27%, respectivamente, na porcentagem de podridão radicular em comparação com plantas de soja não tratadas.

Embora, neste estudo se utilizou metodologia semelhante a empregada por Pérez (2019), Moreira et al. (2020) afirmam sobre a atuação de diferentes fatores sobre o desenvolvimento de plantas de soja, como: fatores ambientais, épocas de semeadura, hábitos de crescimento da cultivar, grupo de maturação da cultivar e estádios fenológicos de aplicação dos produtos. Estas particularidades podem gerar resultados distintos.

5. Conclusão

O uso de CuO e sua combinação com ZnO reduzem a severidade da doença causada por *F. virguliforme* e soja. O tratamento com CuO + ZnO 500 ppm é indicado para obtenção de melhores resultados no controle do patógeno. Os tratamentos empregados não afetaram o desenvolvimento da planta.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Fundação CAPES. e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelas bolsas concedidas. À Pós Doutoranda Júlia Marques e ao Wade Elmer.

7. Conformidade com padrões éticos

7.1 Conflito de interesses.

Os autores declaram não ter conflito de interesses.

7.2 Estudos em humanos e animais

A pesquisa realizada não envolve participantes humanos ou animais.

8. Referências Bibliográficas

BORCIONI, E.; MÓGOR, A. F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, p. 509-515, 2016.

BORGATTA, J.; MA, C., HUDSON-SMITH N., ELMER, W., PÉREZ, C. D. P., DE LA TORRE-ROCHE, R., ZUVERZA-MENA, N., HAYNES C. L., WHITE J.C., HAMERS R. L. Copper nanomaterials suppress root fungal disease in watermelon (*Citrullus lanatus*): Role of particle morphology, composition, and dissolution behavior. *Sustainable Chem. Engineering*, v. 6, p. 14847–14856, 2018.

BUENO, A. D. F.; PANIZZI, A. R.; HUNT, T. E.; DOURADO, P. M.; PITTA, R. M.; GONÇALVES, J. Challenges for adoption of integrated pest management (IPM): the soybean example. *Neotropical Entomology*, v. 50, p. 5-20, 2021.

CONOVER, W. J.; IMAN, R. L. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The American Statistician*, v. 35, p. 124-129, 1981.

DUFFY, B. Zinc and plant disease, pages 155-178, in: *Mineral Nutrition and Plant Disease*, L. E. Datnoff, W. H. Elmer and D. M. Huber, ed., APS Press, St. Paul, MN. 2007.

ELMER, W. H.; WHITE, J. Nanoparticles of CuO improves growth of eggplant and tomato in disease infested soils. *Royal Chemical Society. Environmental Science: Nano*, v. 3, p. 1072-1079, 2016.

ELMER, W., DE LA TORRE-ROCHE, R., PAGANO, L., MAJUMDAR, S., ZUVERZA-MENA, N., DIMPKA, C., GARDEA-TORRESDEY, J., AND WHITE, J. C. Effect of metalloid and metal oxide nanoparticles on Fusarium wilt of watermelon. *Plant Diseases*, v. 102, p. 1394-1401, 2018.

STRAYER-SCHERER, A., LIAO, Y.Y., YOUNG, M., RITCHIE, L., VALLAD, G. E., SANTRA, S., FREEMAN, J.H., CLARK, D., JONES, J. B. AND PARET, M. L. Advanced copper composites against copper-tolerant *Xanthomonas perforans* and tomato bacterial spot. *Phytopathology*, v. 108, p. 196-205, 2018.

EVANS, I.; STOLBERG, E.; HUBER, D. M. Copper and Plant disease. Pages 177-188, in: *Mineral Nutrition and Plant Disease*. L. E. Datnoff. W. H. Elmer and D. M. Huber. eds., APS Press. St. Paul. MN. 2007.

GAO, Y.; SHI, S.; XU, M.; CUI, J. Current research on soybean pest management in China. *Oil Crop Science*, v. 3, n. 4, p. 215-227, 2018.

KIM, D. Y.; KADAM, A.; SHINDE, S.; SARATALE, R. G.; PATRA, J.; GHODAKE, G. Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 3, p. 849-864, 2018.

MA, C., BORGATTA, J., HUDSON, B. G., TAMIJANI, A. A., DE LA TORRE-ROCHE, R., ZUVERZA-MENA, N., ... & WHITE, J. C. Advanced material modulation of nutritional and phytohormone status alleviates damage from soybean sudden death syndrome. *Nature nanotechnology*, v. 15, n. 12, p. 1033-1042, 2020.

MOREIRA, D. G.; SOUZA, C. A.; BASILIO, A. F.; STEFEN, D. L. V. Desempenho produtivo da soja submetida a aplicação de fitorreguladores em diferentes estádios fenológicos. *Acta Iguazu*, v. 9, n. 3, p. 55-68, 2020.

PÉREZ, Cristian David Plaza. Nanoparticles of essential and nonessential elements in the management of plant diseases. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

PERÉZ, C. D. P.; DE LA TORRE ROCHE, R.; ZUVERZA-MENA, N.; MA, C.; SHEN, Y.; WHITE, J. C.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; ELMER, W. H. Metalloid and Metal Oxide Nanoparticles Suppress Sudden Death Syndrome of Soybean. *J Agric Food Chem*. 2020 Jan 8;68(1):77-87. doi: 10.1021/acs.jafc.9b06082.

SEIXAS, C. D. S. et al. (Eds.). *Tecnologias de Produção de Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

SOARES, L. H. Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura da soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro. 2016. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2016.

THAKUR, S.; THAKUR, S.; KUMAR, R. Bio-nanotechnology and its role in agriculture and food industry. *J Mol Genet Med*, v. 12, n. 324, p. 1747-0862.1000324, 2018.