UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

MISTURA DE *Beauveria bassiana* E ADJUVANTES NA PULVERIZAÇÃO PARA CONTROLE DE *Bemisia tabaci* NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.)

Nelson Henrique de Lima Roque

Engenheiro agrônomo

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

MISTURA DE *Beauveria bassiana* E ADJUVANTES NA PULVERIZAÇÃO PARA CONTROLE DE *Bemisia tabaci* NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.)

Discente: Nelson Henrique de Lima Roque
Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Antônio Polanczyk

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola).

2025

R786m

Roque, Nelson Henrique de Lima

Mistura de Beauveria bassiana e adjuvantes na pulverização para controle de Bemisia tabaci na cultura da soja (Glycine max) Nelson Henrique de Lima Roque. --Jaboticabal, 2025

101 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Costa Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Antonio Polanczyk

1. Bioinseticida. 2. Mistura em tanque. 3. Compatibilidade. 4. Tecnologia de aplicação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MISTURA DE Beauveria bassiana E ADJUVANTES NA PULVERIZAÇÃO PARA CONTROLE DE Bemisia tabaci NA CULTURA DA SOJA (Glycine max L.)

AUTOR: NELSON HENRIQUE DE LIMA ROQUE
ORIENTADOR: MARCELO DA COSTA FERREIRA
COORIENTADOR: RICARDO ANTONIO POLANCZYK

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO DA COSTA FERREIRA (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Dr. FABIANO GRIESANG (Participaçao Virtual)
Departamento de Tecnologia de Aplicação / Máquinas Agrícolas Jacto S/A - Marília/SP

Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 18 de dezembro de 2025.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Nelson Henrique de Lima Roque, natural de Osasco – São Paulo, nascido em 02 de agosto de 1994, é Técnico em Administração de Empresas pelo Instituto Técnico de Barueri – ITB, Jardim Paulista. Possui formação em Engenharia Agronômica pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, onde cursou o mestrado em Entomologia Agrícola, com ênfase em Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários. Sua linha de pesquisa contempla a estabilidade físico-química de caldas, parâmetros de aplicação, incluindo o carregamento elétrico de gotas de pulverização e estratégias de manejo voltadas à maximização da eficiência e eficácia de produtos fitossanitários no campo. Sua trajetória acadêmica teve início em 2015, por meio do grupo de estudos NEDTA – Núcleo de Estudo e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação, vinculado à UNESP/Jaboticabal, no qual participou de diversas atividades científicas e técnicas, incluindo apresentações em congressos, viagens técnicas, elaboração, redação e publicação de artigos científicos e trabalhos acadêmicos. No âmbito profissional, acumula experiência em assistência técnica e consultoria a produtores rurais nos estados de Mato Grosso, pela Cooperativa Agroindustrial C.Vale, e Minas Gerais, pela UPL, com atuação destacada nas culturas de soja e milho. Desenvolveu atividades de acompanhamento integral do ciclo produtivo, com foco em manejo integrado de pragas e doenças, nutrição vegetal e amostragem de solo para aplicação de soluções em agricultura de precisão. Também participou da organização e condução de treinamentos, palestras e eventos técnicos, promovendo o acesso dos produtores a novas tecnologias. Acredita que o planejamento estratégico, o estabelecimento de metas claras, o trabalho colaborativo e o treinamento contínuo são pilares essenciais para a obtenção de resultados consistentes. Seu objetivo é seguir contribuindo para a aproximação entre ciência e prática agrícola, visando avanços na produção rural.

“Yes, we can!”

(Barack Obama)

A minha mãe Roseli do Carmo de Lima, minha irmã Amanda Regina de Lima Roque, meu cunhado Fábio Junior Dias, minha namorada Francyelly Monicke Bezerra de Moura, demais parentes e amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter estado ao meu lado sempre e me dado força na fé, proteção e perseverança para continuar sempre.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Entomologia Agrícola da Universidade Estadual Paulista – UNESP.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcelo da Costa Ferreira, pelas conversas, amizade e ensinamentos durante o curso de pós-graduação, na orientação desta pesquisa, e por todo tempo de orientação, inclusive durante o período de graduação.

Ao meu coorientador Professor Dr. Ricardo Antônio Polanczyk pela orientação prestada durante a realização e condução da pesquisa e fornecer estrutura para realização de parte da pesquisa.

A Drª Kelly Cristina Gonçalves e Drª Andressa de Souza Polo, por terem me orientado na parte inicial do trabalho, com avaliações e procedimentos laboratoriais importantes para o projeto. A Rosângela Teodoro dos Santos Souza, por ter me ajudado na parte inicial do projeto, com avaliações importantes.

Aos amigos de laboratório Núcleo de Estudos e Desenvolvimento em Tecnologia de Aplicação (NEDTA), Ana B. D. Spadoni, Edimar Pertelini, Lucas da Silva Medeiros, Maria Thalia S. Lacerda, Gabriela Pelegrini, Anderson V. Rodrigues, Bruno Contini, Rafael Davanzo Ballera, Naiara Cruz, pela ajuda durante a condução da pesquisa. Aos amigos do laboratório LCMAP, pela troca de experiência e dicas de orientações para condução das avaliações.

Ao CEPENFITO – Centro de Pesquisa em Engenharia – Fitossanidade, pela ajuda e fomento na realização das atividades.

À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão FEPE, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV, do Câmpus de Jaboticabal – SP, por ser essencial às atividades de extensão e de produção.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e a Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - processo 2017/25258-1 e 2021/14340-4) pelo fornecimento do analisador de tamanho de partículas por difração a laser (Helos - Paqxos 5.2.1, Sympatec).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO..... iii
ABSTRACT iv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais..... 5
1. INTRODUÇÃO..... 5
2. REVISÃO DE LITERATURA 7
2.1 Cultura da soja no Brasil, aspectos econômicos e desafios na produção. 7
2.2 Mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889)..... 10
2.3 Ecologia e controle da mosca-branca..... 12
2.4 Tecnologia de aplicação e pulverização com gotas eletricamente carregadas. 13
2.5 Uso de adjuvantes em caldas fitossanitárias..... 15
2.6 Mistura em tanque 17
2. REFERÊNCIAS..... 19
CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS DA COMPATIBILIDADE DE CALDAS COMBINANDO PRODUTO BIOLÓGICO E DIFERENTES ADJUVANTES AGRÍCOLAS..... 24
RESUMO..... 24
1. INTRODUÇÃO..... 26
2. MATERIAIS E MÉTODOS..... 28
2.1 Caracterização dos tratamentos 28
2.2 Aspectos gerais das caldas..... 30
2.2.1 Estabilidade físico-química, pH e condutividade elétrica 30
2.2.2 Avaliação de viscosidade dos tratamentos..... 31
2.2.3 Avaliação de tensão superficial e ângulo de contato dos tratamentos 31
2.2.4 Avaliação do tamanho de gota dos tratamentos 32
2.2.5 Análise estatística dos resultados 33
3. RESULTADO E DISCUSSÃO 33
3.1 Avaliação da compatibilidade físico-química das misturas 33
3.2 O pH e condutividade das caldas 38
3.3 Viscosidade das caldas..... 43
3.4 Tensão superficial e ângulo de contato 46
3.5 Tamanho de gotas e coeficiente de uniformidade (SPAN) 49
em laboratório. 49
4. CONCLUSÃO..... 54
5. REFERÊNCIAS..... 55

CAPÍTULO 3 – PULVERIZAÇÃO COM GOTAS ELETRICAMENTO CARREGADAS E COMPATIBILIDADE BIOQUÍMICA DE CALDAS COMPOSTAS POR *Beauveria bassiana* E ADJUVANTES NO CONTROLE DE *Bemisia tabaci* NA CULTURA DA SOJA 62

RESUMO 62

1. INTRODUÇÃO 64

2. MATERIAL E MÉTODOS 66

2.1 Isolamento da cepa de *Beauveria bassiana* 67

2.2 Teste de compatibilidade *in vitro* em laboratório 68

2.3 Plantio e manejo das plantas 70

2.4 Pulverização de gotas carregadas eletricamente 71

2.5 Avaliação de cobertura 73

2.6 Avaliação de depósito do produto biológico 73

2.7 Avaliação da taxa de parasitismo em ninfas de mosca-branca (*Bemisia tabaci)* 74

2.8 Análise estatística dos resultados 74

3 RESULTADO E DISCUSSÃO 75

3.1 Isolamento e compatibilidade *in vitro* em laboratório 75

3.2 Cobertura da pulverização de gotas carregadas eletricamente 81

3.3 Depósito de calda de produto biológico 85

3.4 Parasitismo de ninfas de mosca-branca *(Bemisia tabaci)* 89

4. CONCLUSÃO 93

5. REFERENCIAS 94

CAPÍTULO 4 – Considerações finais 101

MISTURA DE *Beauveria bassiana* E ADJUVANTES NA PULVERIZAÇÃO PARA CONTROLE DE *Bemisia tabaci* NA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.)

RESUMO – *Bemisia tabaci* (mosca-branca) é uma praga primária na cultura da soja, por atuar como vetor de diversos vírus fitopatogênicos, como carlavírus, geminivírus e potyvírus; e de difícil controle devido ao seu hábito de se alojar, preferencialmente, na face abaxial (inferior) das folhas. A associação de gotas carregadas eletricamente e a associação de adjuvante ao produto biológico pode contribuir para maior cobertura e maior depósito na face abaxial das folhas. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar compatibilidade físico-química e bioquímica da mistura de produto biológico a base de *Beauveria bassiana* e diferentes adjuvantes e o efeito da pulverização com gotas carregadas eletricamente no controle de *Bemisia tabaci*. Foram avaliados parâmetros da mistura em laboratório para análise do espectro de gotas e compatibilidade físico-química da calda, como pH, condutividade elétrica (CE), diâmetro mediano volumétrico (DMV), uniformidade de gotas (SPAN), tensão superficial, viscosidade e ângulo de contato das gotas com a superfície artificial. Pensando na compatibilidade biológica e controle foram avaliados compatibilidade in vitro, cobertura de gotas eletricamente carregadas, depósito de calda do produto biológico e taxa de parasitismo de ninfas de mosca-branca. Para associações físico-químicas de diferentes adjuvantes com *Beauveria bassiana* a proteína fúngica de levedura (AcAg), siliconados (WS, KPu e SPr) e óleo de laranja (LM) apresentaram as melhores coberturas superficiais devido a diversos motivos , como: ao coeficiente de uniformidade (SPAN) apresentado, aos resultados de menor tensão superficial e ângulo de contato, redução na porcentagem de gotas sujeitas à deriva (P%<100 µm), menor viscosidade das caldas e faixa de pH favorável para manter a viabilidade fúngica no controle das ninfas. Para associações biológicas os adjuvantes a base de silicone e óleo vegetal foram os que obtiveram melhor performance junto a *Beauveria bassiana* por promoverem crescimento próximo ao controle, tratamento praticamente sem inibição de crescimento e melhor cobertura da face abaxial das folhas, aumentando as chances de atingir o alvo (ninfas), promovendo um controle mais eficiente.

Palavras-chave: Bioinseticida, mistura em tanque, compatibilidade, tecnologia de aplicação.

MIXTURE OF *Beauveria bassiana* AND ADJUVANTS IN THE SPRAYING AND CONTROL OF *Bemisia tabaci* IN SOYBEAN CULTIVATION (*Glycine max* L.)

ABSTRACT – *Bemisia tabaci* (whitefly) is a primary pest in soybean cultivation due to its role as a vector of several phytopathogenic viruses, including carlavirus, geminivirus, and potyvirus. Its control is challenging, primarily because of its preference for residing on the abaxial (underside) surface of leaves. The use of electrically charged spray droplets combined with adjuvants in biological formulations may enhance droplet coverage and deposition on the abaxial leaf surface. Therefore, this study aimed to evaluate the physicochemical and biochemical compatibility of a biological product based on *Beauveria bassiana* with different adjuvants, as well as the effect of spraying with electrically charged droplets on the control of *Bemisia tabaci*. Laboratory analyses were conducted to assess mixture parameters, including droplet spectrum and physicochemical compatibility of the spray solution, such as pH, electrical conductivity (EC), volume median diameter (VMD), droplet uniformity (SPAN), surface tension, viscosity, and contact angle on an artificial surface. For biological compatibility and pest control efficacy, in vitro compatibility, coverage of electrically charged droplets, spray deposition of the biological product, and parasitism rate of whitefly nymphs were evaluated. Among the physicochemical associations of different adjuvants with *Beauveria bassiana*, yeast fungal protein (AcAg), silicone-based adjuvants (WS, KPu, and SPr), and orange oil (LM) demonstrated superior surface coverage due to favorable SPAN values, lower surface tension and contact angle, reduced percentage of drift-prone droplets (P%<100 µm), lower viscosity, and pH range favorable for maintaining fungal viability in the control of nymphs . Regarding biological associations, silicone- and vegetable oil-based adjuvants showed the best performance with *Beauveria bassiana*, as they promoted fungal growth comparable to the control, exhibited minimal growth inhibition, and enhanced abaxial leaf surface coverage, thereby increasing the likelihood of targeting nymphs and improving control efficacy.

Keywords: Bioinsecticide, compatibility, tank-mix, application technology.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é um dos cultivos mais importantes da agricultura brasileira, servindo como uma das principais bases econômicas do nosso agronegócio. Sua utilidade vai muito além do simples uso do grão para alimentação humana, ela é essencial para produção de óleo, farelo como fonte de proteína para alimentação animal e matéria-prima para muitas outras indústrias de subprodutos (EMBRAPA, 2016; Almeida et al., 2024). Nas últimas décadas, o Brasil conseguiu se tornar o maior produtor e exportador de soja do mundo. Isso aconteceu graças a uma mistura de boas políticas de governo, tecnologias certas para cada tipo de região e um trabalho constante de melhoramento genético, o que possibilitou o cultivo de soja em regiões antes consideradas pouco produtivas (CONAB, 2024a). Entretanto, o avanço da cultura em grandes extensões trouxe alguns desafios agronômicos, especialmente no que diz respeito ao manejo fitossanitário no controle de pragas, quando não realizado de forma correta. A presença de insetos fitófagos como a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) exige intervenções eficazes, pois o inseto atua não apenas na sucção da seiva vegetal na fase de ninfa e adulta, mas também como vetor de viroses e facilitador do desenvolvimento de fumagina (*Capnodium* sp.) pela excreção de uma substância melada (honeydew), com isso as folhas passam a ter uma coloração escura, comprometendo a área de fotossíntese (folhas) e a produtividade do cultivo (Suekane et al., 2013), além da sua dificuldade de controle.

O controle químico ainda é a estratégia predominante no campo, devido à sua ação rápida e ampla. No entanto, seu uso contínuo e, por vezes, indiscriminado, tem acelerado o processo de seleção de populações resistentes, além de causar a redução da diversidade de inimigos naturais (Parra, 2002; Chaim e Wadt, 2015; Monnerat et al., 2020). Sendo assim, o controle da mosca-branca apresenta desafios significativos em virtude também de características biológicas e ecológicas que favorecem sua persistência nas lavouras dificultando o manejo, sendo a preferência por se abrigar na face abaxial das folhas, a elevada taxa de reprodução, a capacidade de adaptação a diferentes hospedeiros e condições climáticas, bem como a facilidade

em desenvolver resistência a inseticidas (Baldin et al., 2017). A oviposição ocorre predominantemente no terço médio e superior das plantas, especialmente na face abaxial das folhas, local que também abriga as ninfas, as quais tendem a se concentrar no terço médio das plantas. Essa distribuição está relacionada ao crescimento vegetativo da cultura e ao ciclo de desenvolvimento da mosca-branca (Suekane et al., 2013).

Nesse cenário, temos a adoção de soluções biológicas, como os fungos entomopatogênicos, que podem atuar em conjunto com práticas tradicionais. A exemplo da *Beauveria bassiana*, fungo com ampla aplicação no controle biológico de insetos, destaca-se por sua ação eficiente contra diversas pragas agrícolas, tais como: Broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), mosca-branca (*Bemisia tabaci*), bicudo da cana-de-açúcar (*Sphenophorus levis*), cochonilha (*Planococcus minor*), ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), percevejo marrom (*Euschistus heros*) e outras.

Sua eficácia, no entanto, está diretamente relacionada à qualidade da aplicação e às condições físico-químicas e bioquímicas da calda quando em associação, que podem ser alteradas quando o produto é associado a outros insumos, como adjuvantes (Oliveira et al., 2018; Santos et al., 2021).

A adição de adjuvantes às caldas fitossanitárias é uma prática comum no campo, com o propósito de melhorar propriedades como espalhamento, adesão, penetração e estabilidade das caldas. Embora essas práticas sejam amplamente adotadas pelos agricultores, ainda há lacunas técnicas significativas, principalmente no que se refere à compatibilidade entre bioinsumos e adjuvantes. A falta de informações seguras e acessíveis sobre misturas em tanque pode comprometer a qualidade da pulverização e a eficiência do controle (Gazziero, 2015). Apesar da crescente pesquisa sobre compatibilidade de bioinsumo e adjuvantes, a literatura ainda carece de uma combinação integrada que combine a compatibilidade físico-química e bioquímica de misturas de *Beauveria bassiana* e adjuvantes, e que, simultaneamente, investigue a eficiência dessas misturas quando aplicadas com tecnologias avançadas como a pulverização com gotas eletricamente carregadas no controle de *Bemisia tabaci* na cultura da soja. Esta dissertação busca exatamente suprir esta lacuna.

Além de uma escolha criteriosa dos produtos no preparo da calda, como alternativa temos a tecnologia da pulverização com gotas eletricamente carregadas que oferece maior eficiência no direcionamento das gotas pulverizadas a face abaxial

das folhas. Essa técnica utiliza cargas elétricas para atrair as gotas à superfície vegetal, promovendo melhor deposição das gotas em regiões estratégicas no controle, especialmente na face abaxial das folhas de difícil acesso se utilizada pulverização convencional (Serra et al., 2008; Matthews et al., 2014; Martin e Latheef, 2017).

Porém o tamanho de gotas na aplicação por gotas carregadas eletricamente requer cuidados, uma vez que, para maior eficácia gotas finas (90-170) é recomendado (Chaim e Wadt, 2015; Li et al., 2025), porque permitem maior alcance às regiões internas da planta, no entanto, são mais suscetíveis à deriva, o que será também discutido no trabalho. Assim, a tecnologia de aplicação com foco nas misturas de tanque existe como um componente crítico e eficaz para o sucesso do controle, reunindo conhecimentos técnicos com o objetivo de otimizar a deposição do ingrediente ativo no alvo biológico, reduzindo perdas e riscos de contaminação (Cunha, 2008; Van Zyl et al., 2013).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos físico-químicos e bioquímicos da associação de diferentes adjuvantes agrícolas às caldas contendo produto formulado com *Beauveria bassiana*, e suas implicações em pulverização contendo gotas carregadas eletricamente, observando parâmetros qualitativos na pulverização e no controle de ninfas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da soja no Brasil, aspectos econômicos e desafios na produção.

A soja (*Glycine max* L.) consolidou-se como uma das principais commodities agrícolas brasileiras, responsável por posicionar o país como líder mundial na produção e exportação da oleaginosa. Em 2024, o Brasil produziu cerca de 147 milhões de toneladas em aproximadamente 46 milhões de hectares, com grande parte destinada ao mercado externo, especialmente à China (CONAB, 2024a; 2024b). Esse desempenho reflete não apenas a relevância econômica da cultura, mas também sua

centralidade na pauta agrícola nacional. Contudo, o modelo de expansão baseado em aumento de área e intensificação tecnológica traz consigo implicações que vão além da produtividade, envolvendo questões ambientais, sociais e fitossanitárias. O sucesso da cultura da soja no Brasil, impulsionado por melhoramento genético e políticas públicas, resultou em vastas áreas cultivadas que, por sua vez, criaram condições favoráveis para o surgimento e proliferação de pragas, como a mosca-branca- que exigem soluções de manejo cada vez mais eficientes e sustentáveis.

Historicamente, a introdução da soja no Brasil ocorreu em 1882, mas sua relevância só se consolidou no início do século XX, sobretudo no Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2004). A partir da década de 1970, políticas públicas e avanços científicos viabilizaram sua expansão para o Cerrado, transformando o Centro-Oeste em polo estratégico de produção (Dall'agnol et al., 2016). O trabalho de melhoristas como Romeu Kiihl foi decisivo para adaptar cultivares às condições tropicais, permitindo que áreas antes consideradas marginais se tornassem altamente produtivas. Esse processo, embora exitoso, também intensificou a dependência de monocultivos e a pressão sobre recursos naturais, levantando questionamentos sobre a sustentabilidade do modelo (Neto et al., 2020).

A distribuição geográfica da produção evidencia contrastes: enquanto o Mato Grosso concentra cerca de 28% da produção nacional, estados do Sul como Paraná e Rio Grande do Sul mantêm sistemas mais diversificados e propriedades menores. Essa heterogeneidade sugere que os desafios da soja não são uniformes, variando conforme o perfil produtivo e a escala de cultivo. Tecnologias como cultivares transgênicas, agricultura de precisão e manejo integrado de pragas (MIP) têm contribuído para ganhos de produtividade, mas também geram debates sobre impactos ambientais e dependência de pacotes tecnológicos (CONAB, 2025).

Apesar dos avanços, os obstáculos permanecem significativos. Doenças como a ferrugem asiática podem reduzir a produtividade em até 80% se não controladas, e a resistência de plantas daninhas a herbicidas compromete a eficácia das práticas convencionais. Além disso, os custos crescentes de insumos e a vulnerabilidade às variações cambiais expõem os produtores a riscos econômicos consideráveis. Eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, intensificam ainda mais a instabilidade, afetando a microbiota do solo e exigindo longos períodos de recuperação. Nesse cenário, políticas de apoio como o seguro safra são paliativas, mas não resolvem a raiz do problema.

Em síntese, a trajetória da soja no Brasil é marcada por conquistas expressivas, mas também por contradições. O país alcançou liderança mundial, mas enfrenta dilemas relacionados à sustentabilidade, à dependência de insumos externos e à vulnerabilidade climática (FAO, 2025). A fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, é um dos principais fatores agronômicos que contribuem para a produção da cultura. Por meio de uma relação simbiótica (troca), as raízes da soja fornecem exsudatos às bactérias, que em troca fixam o nitrogênio atmosférico, reduzindo os custos com fertilizantes nitrogenados (Hungria et al., 2006). Além disso, o desenvolvimento de cultivares resistentes a pragas, como a soja Bt (*Bacillus thuringiensis*), tem contribuído para o aumento da produtividade e para a redução do uso de inseticidas no campo (EMBRAPA, 2016).

Apesar dos avanços tecnológicos e da expansão da área cultivada, a produção de soja no Brasil enfrenta diversos desafios que comprometem sua produtividade e sustentabilidade. Entre os principais obstáculos estão as doenças fúngicas e bacterianas, as plantas daninhas resistentes, os custos elevados de produção e as condições climáticas adversas.

A doença fúngica ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é considerada a mais severa que ocorre na soja. Desde sua identificação em 2001, tem sido monitorada constantemente devido ao seu potencial de perdas, até 80% na produtividade, caso não seja adequadamente controlada. Outras doenças relevantes incluem mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*), mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), mancha aureolada (*Thanatephorus cucumeris*), crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. glycinea), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), podridão de carvão da raiz (*Macrophomina phaseolina*), podridão parda da haste (*Cadophora gregata*), seca da haste e da vagem (*Phomopsis* spp.), e podridões radiculares causadas por *Fusarium* spp., *Rosellinia necatrix* e *Phytophthora sojae* (Henning et al., 2005).

A resistência de plantas daninhas a herbicidas representa outro desafio no manejo. Espécies como picão-preto (*Bidens pilosa*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e buva (*Conyza bonariensis*) e outras, competem por recursos e podem comprometer a produtividade e qualidade na colheita, elevando o teor de impurezas e reduzindo o valor comercial do grão no momento de classificação (Gazziero et al., 2006).

Os custos de produção também têm se elevado nos últimos anos, especialmente em função do aumento dos preços de insumos como semente tratada, fertilizantes e defensivos agrícolas. Questões logísticas, variações cambiais e dependência de fornecedores internacionais tornam o cenário ainda mais desafiador, exigindo dos produtores uma gestão eficiente e estratégias de otimização de recursos financeiros no momento de compra ou venda (Vos et al., 2025).

Eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e inundações severas, têm afetado negativamente a produção agrícola. Tais eventos comprometem a microbiota e a fertilidade do solo, exigindo longos períodos de recuperação e impactando diretamente a produtividade das lavouras, alguns estados brasileiros onde os produtores sofrem com as intempéries climáticas, a exemplo do Paraná, o governo pode exercer ações de apoio financeiro, a exemplo do seguro safra, que fomenta parte do prejuízo da produção agrícola (Catelan et al., 2022; Ferreira et al., 2024).

Em resumo, a trajetória da soja no Brasil é marcada por avanços expressivos, sustentados por inovação tecnológica, apoio financeiro, adaptação às condições locais e investimentos em pesquisa. No entanto, os desafios fitossanitários, econômicos, climáticos e ambientais exigem atenção contínua e estratégias integradas para garantir a sustentabilidade e produtividade da cultura. Esses desafios não podem ser dissociados da discussão sobre pragas-chave como a mosca-branca, cuja persistência evidencia os limites do manejo convencional. Assim, compreender a cultura da soja em sua dimensão econômica e produtiva é essencial para justificar a busca por alternativas inovadoras, como o uso de agentes biológicos associados a tecnologias de aplicação e adjuvantes, capazes de ampliar a eficiência e reduzir a dependência de estratégias exclusivamente químicas.

2.2 Mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889)

A mosca-branca é reconhecida como uma das pragas mais complexas da agricultura moderna, não apenas pela sua polifagia e capacidade adaptativa, mas também pelo papel como vetor de viroses que comprometem cultivos estratégicos como soja e feijão (Bello et al., 2020). Sua rápida dispersão e elevada taxa reprodutiva evidenciam a dificuldade de controle por métodos convencionais. Embora descrições

morfológicas e biológicas sejam amplamente conhecidas, o ponto crítico reside em sua resiliência frente às práticas de manejo químico, que frequentemente resultam em resistência populacional. Essa característica coloca em evidência a necessidade de alternativas sustentáveis, como o uso de agentes biológicos, cuja eficácia depende de condições ambientais e de tecnologias de aplicação adequadas.

A mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), é reconhecida como um complexo de espécies, pertence à ordem Hemiptera, subordem *Sternorrhyncha*, família *Aleyrodidae* e subfamília *Aleyrodinae* (Bellows Jr. et al., 1994). No Brasil, os primeiros registros da presença de *Bemisia tabaci* ocorreram na década de 1920, inicialmente em plantas cultivadas e daninhas, atualmente é considerada uma das principais pragas agrícolas e vetor de mais de 400 espécies de vírus, como o mosaico-dourado (Bello et al., 2020).

A introdução e disseminação dos biotipos invasores, têm sido associadas a surtos populacionais e perdas significativas em diversas culturas, incluindo soja, feijão, tomate e pimentão, com relatos de expansão em estados como Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Pernambuco e Distrito Federal. Esses surtos estão frequentemente relacionados à transmissão de geminivírus e à capacidade adaptativa do inseto, favorecida por interações com endossimbiontes bacterianos (Bôas et al., 2003; Bello et al., 2020).

O ciclo de vida de *Bemisia tabaci* envolve metamorfose incompleta, com ovos de forma oval e amarelados (0,2–0,3 mm) depositados na face abaxial das folhas, ninfas sésseis de coloração translúcida a amarelo-pálida que passam por quatro ínstares, e adultos recobertos por cera, com quatro asas membranosas e dimorfismo sexual evidente, medindo entre 1 e 2 mm (Lima et al., 2001; Lima et al., 2002; Barreto et al., 2024).

A longevidade e o desenvolvimento do inseto são influenciados por fatores ambientais, especialmente temperatura e disponibilidade de alimento, podendo o ciclo completo ser concluído em cerca de 18 a 19 dias sob temperaturas próximas a 32 °C (Lima et al., 2002). Fêmeas adultas depositam de 100 a 300 ovos ao longo da vida, com início da postura logo após a emergência, e apresentam múltiplos eventos reprodutivos (Gallo et al, 2002; Lima et al., 2002; Bello et al., 2020). Além disso, adultos são ágeis e podem ser dispersos pelo vento, contribuindo para a rápida colonização de novas áreas e para a disseminação de vírus em diferentes regiões produtoras (Lima et al., 2002; Bello et al., 2020).

2.3 Ecologia e controle da mosca-branca

O manejo da mosca-branca ilustra os dilemas do Manejo Integrado de Pragas (MIP): embora estratégias culturais e biológicas sejam recomendadas, na prática predomina o uso de inseticidas químicos. Essa dependência gera efeitos colaterais, como resistência e impacto sobre inimigos naturais, perpetuando um ciclo de difícil ruptura (Parra, 2002; Chaim e Wadt, 2015). A lacuna evidente está na baixa adoção de agentes biológicos, como *Beauveria bassiana*, que apesar de demonstrar eficácia, ainda carece de estudos que validem sua integração com adjuvantes e tecnologias de aplicação. Ou seja, a adoção plena do MIP é frequentemente limitada pela variabilidade de desempenho a campo, muitas vezes associadas a falhas na entrega eficaz do inóculo ao alvo. A literatura, portanto, aponta para a necessidade crítica de aprimorar a tecnologias de aplicação para maximizar a virulência do fungo em condições adversas.

Trata-se de um inseto sugador que afeta a produtividade das lavouras por meio da sucção de seiva, excreção de substâncias açucaradas que favorecem o crescimento de fumagina e, principalmente, pela transmissão de viroses que comprometem a fotossíntese das plantas (Oliveira et al., 2001; Baldin et al., 2005).

A mosca-branca caracteriza-se por ser uma espécie altamente polífaga, capaz de se alimentar e se reproduzir em mais de 600 espécies vegetais, incluindo culturas de grande importância econômica. Essa ampla gama de hospedeiros contribui para sua persistência no ambiente de produção agrícola, inclusive durante a entressafra, quando pode se manter em plantas daninhas ou em tigueras (EMBRAPA, 2025).

As condições climáticas exercem forte influência sobre o ciclo biológico e a dinâmica populacional do inseto. Períodos secos e quentes contribuem para o desenvolvimento e a dispersão dos adultos, sendo observados maiores picos populacionais durante a estação seca. Altas temperaturas aceleram o ciclo de vida do inseto, reduzindo o intervalo entre gerações e aumentando sua capacidade reprodutiva (Khanh e Giang, 2021). Além disso, seus aspectos ecológicos permitem rápida adaptação a novas condições ambientais e a diferentes hospedeiros, o que dificulta o controle e favorece sua disseminação em diferentes regiões de produção agrícola (Oliveira et al., 2018).

O Manejo Integrado de Pragas (MIP), contempla estratégias preventivas, culturais, biológicas e químicas. Entre as práticas recomendadas destacam-se a rotação de culturas com espécies não hospedeiras da mosca-branca, visando à quebra do ciclo da praga; Plantio e colheita em épocas estratégicas, evitando períodos de maior pressão populacional; Eliminação de plantas voluntárias e daninhas que possam servir de abrigo ou alimento; Uso de produtos biológicos, como parasitoides e entomopatógenos, que atuam de forma seletiva, auxiliando na quebra de resistência por rotação de princípio ativo; Monitoramento constante das populações por meio de armadilhas adesivas e inspeções visuais dos sintomas nas plantas (Baldin et al., 2005; EMBRAPA, 2025).

O controle químico, embora eficaz em situações de alta infestação, deve ser utilizado com racionalidade. O uso indiscriminado de inseticidas favorece o surgimento de populações resistentes, além de impactar negativamente os inimigos naturais da praga (Parra, 2002; Chaim e Wadt, 2015; Monnerat et al., 2020).

No controle biológico agentes como o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*, têm demonstrado eficácia na redução das populações de mosca-branca em campo, especialmente quando integrados a outras estratégias do MIP (Baldin et al., 2005; Oliveira et al., 2018). Além disso, o uso de cultivares resistentes e o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento remoto têm ampliado as possibilidades de controle eficiente.

O manejo fitossanitário da mosca-branca exige ampla abordagem, com base em conhecimentos ecológicos, do histórico da área e tecnologia de aplicação. Isso tudo aliado ao monitoramento constante, é essencial para mitigar os impactos dessa praga nas lavouras (Parra, 2002). Portanto, o controle da mosca-branca não deve ser visto apenas como um desafio fitossanitário, mas como um problema sistêmico que exige inovação nos métodos de controle.

2.4 Tecnologia de aplicação e pulverização com gotas eletricamente carregadas.

A tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários consiste na utilização de conhecimentos científicos e técnicos voltados à correta deposição do produto sobre o alvo biológico, em quantidade suficiente para garantir a eficácia do controle,

minimizando perdas, custos operacionais e contaminação de áreas não alvo (Matuo, 1990). A tecnologia de pulverização com gotas eletricamente carregadas representa um avanço significativo ao permitir maior deposição em áreas de difícil acesso, como a face inferior das folhas, onde a mosca-branca se aloja. Contudo, sua adoção em larga escala ainda é limitada por fatores operacionais e custos, além da necessidade de ajustes finos em parâmetros como tamanho de gotas e voltagem. A crítica central é que, embora estudos demonstrem maior cobertura foliar, poucos avaliam de forma sistemática sua interação com agentes biológicos.

A pulverização com gotas eletricamente carregadas consiste na aplicação de gotas eletricamente carregadas, que são atraídas pelas superfícies vegetais por meio da diferença de cargas (positiva e negativas) entre a calda e a folha, ou vice-versa. Essa técnica permite maior deposição em áreas de difícil acesso, como a face inferior das folhas, onde a mosca-branca costuma se alojar e ovipositar. Segundo Pelegrini (2021), a utilização de pulverização por gotas carregadas eletricamente resulta em maior cobertura foliar e eficácia no controle da mosca-branca na cultura da soja, quando comparada à pulverização convencional, demonstrando que a tecnologia de aplicação pode desempenhar papel fundamental no controle da mosca-branca, especialmente quando associada a técnicas avançadas como a pulverização por gotas carregadas eletricamente.

Nesta aplicação é fundamental a adequação dos produtos ao alvo biológico por meio da seleção criteriosa do tamanho de gotas e parâmetros operacionais (Oliveira, 2011). O tamanho das gotas é um fator crítico na aplicação, pois gotas grossas apresentam menor capacidade de adesão às superfícies vegetais, além de favorecerem ao escorrimento e à deriva. Por outro lado, gotas muito pequenas podem ser facilmente desviadas pelo vento e não atingirem o alvo desejado. Pelegrini (2021) e Chaim e Wadt (2015) destaca que gotas finas apresentam melhor desempenho na pulverização por gotas carregadas eletricamente, promovendo maior cobertura e penetração no dossel da planta por receberam maior quantidade de cargas. O artigo de Li et al. (2025) detalha o tamanho de gotas em aplicações contendo gotas eletricamente carregadas, recomendando 90 até 170 μm, com uniformidade aprimorada e modelos preditivos validados, na literatura a maioria dos trabalhos demonstram que gotas finas são mais recomendadas, por potencializarem o efeito da pulverização com gotas carregadas eletricamente, os trabalhos apresentam diferentes faixas de tamanho de gotas, não demonstrando um valor ideal fixo. Outros estudos

corroboram esses valores, reforçando a importância de ajustar pressão, voltagem e altura para otimizar a deposição e reduzir deriva.

Além disso, no contexto apresentado o benefício da pulverização por gotas eletricamente carregadas pode estar relacionado ao rendimento operacional do equipamento, já que o número de reabastecimentos será reduzido, gastando se menos tempo em não pulverização. Essa tecnologia também favorece a uniformidade da aplicação, reduzindo falhas de cobertura e aumentando a eficiência do controle (Tavares et al., 2017).

Em resumo, o sucesso da aplicação não depende exclusivamente da eficiência dos produtos utilizados, mas está relacionado também ao equipamento utilizado no processo de pulverização, existe um grande caminho desde a escolha dos produtos até a chegada da gota no alvo (Fritz et al., 2014). Assim, a tecnologia de aplicação não deve ser vista isoladamente, mas como parte de um sistema integrado capaz de potencializar o uso de biológicos e reduzir falhas do manejo convencional (Petter et al., 2013; Della Vechia, 2017).

2.5 Uso de adjuvantes em caldas fitossanitárias

Os adjuvantes têm sido amplamente utilizados para potencializar a eficiência das caldas fitossanitárias, são substâncias não fitossanitárias que podem atuar em todas as etapas da aplicação. Ao serem adicionadas às caldas fitossanitárias, podem atuar como surfactantes, agentes de deposição ou redutores de deriva, no espalhamento de gotas, antiespumante, carga iônica, outros (Kissmann, 1998; Oliveira, 2011), assim melhorando características especificas das caldas no tratamento fitossanitário, atuando como condicionadores de calda. Óleos, na melhora da adesão e penetração da calda na folha (Wang et al.,2025). No entanto, a literatura evidencia uma grande variabilidade nos resultados, que dependem não apenas da formulação, mas também das condições ambientais e do alvo biológico. Essa heterogeneidade revela uma lacuna importante: embora os adjuvantes sejam considerados aliados no manejo químico, pouco se sabe sobre sua interação com agentes biológicos, como *Beauveria bassiana*. Estudos que apontam ganhos de deposição ou retenção foliar nem sempre avaliam os efeitos sobre a viabilidade do

microrganismo, o que pode comprometer sua eficácia em campo. Além disso, a prática comum de misturas em tanque, frequentemente realizada sem orientação técnica, aumenta o risco de incompatibilidades químicas e fitotoxicidade. Exemplo da variabilidade na composição, a formulação de produtos fitossanitários contendo o ingrediente ativo e outros componentes químicos (inertes) , incluindo os adjuvantes que são adicionados para aumentar a eficiência e ação na aplicação para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas (Butler-Ellis et al., 1997; Kissmann, 1998; Della Vechia, 2017), esses vão surtir efeito sinérgico ou antagônico quando associados ao biológico em mistura.

Um dos fatores que pode influenciar significativamente a eficiência dos produtos fitossanitários é o volume e a concentração de adjuvantes utilizados na calda de pulverização. Segundo McMullan (1993) o aumento da concentração de adjuvantes pode potencializar a eficácia dos herbicidas, promovendo maior retenção do produto sobre a superfície foliar, Sasaki et al. (2015) demonstra que os adjuvantes podem diminuir o tamanho de gotas em aplicação contendo gotas carregadas eletricamente, o que melhora a deposição. No entanto, a resposta ao uso de adjuvantes pode variar substancialmente em função da espécie vegetal e do tipo de alvo biológico, exigindo avaliação criteriosa para cada situação.

A aplicação pode ser afetada por diferentes fatores, sendo eles climatológicos ou operacionais, sendo assim os adjuvantes são um ponto chave para potencializar o controle destas variáveis que quando bem controladas podem mitigar muitos problemas das aplicações de produtos fitossanitários (Ferreira et al., 2013; Decaro Jr e Sergio, 2015; Griesang et al., 2017). Nesse sentido, torna-se essencial investigar de forma sistemática quais combinações de adjuvantes favorecem ou limitam a ação de biológicos, de modo a transformar uma prática empírica em estratégia validada cientificamente. Essa discussão conecta-se diretamente ao desafio de reduzir a dependência de inseticidas químicos e ampliar o papel dos biológicos no Manejo Integrado de Pragas.

2.6 Mistura em tanque

Em áreas de produção agrícola, é comum a ocorrência simultânea de plantas daninhas, pragas, doenças e deficiência nutricional exigindo dos produtores estratégias eficazes e economicamente viáveis para o manejo fitossanitário no momento de realizar a pulverização. Dentre as alternativas disponíveis, a prática da mistura em tanque de produtos fitossanitários, acima de dois produtos, surge como uma das mais adotadas, especialmente pelo seu potencial de reduzir custos operacionais, otimizar o tempo de aplicação e diminuir compactação do solo pelo menor número de entradas com o pulverizador na área de produção (Gazziero, 2015; Gandini et al.,2020).

No entanto, a literatura evidencia que essa prática é marcada por forte caráter empírico: a maioria dos agricultores utiliza combinações sem respaldo técnico, muitas vezes em doses máximas, o que aumenta os riscos de fitotoxicidade, incompatibilidade química e impactos ambientais. Embora estudos apontem benefícios potenciais, como maior espectro de ação e redução da compactação do solo, há uma lacuna significativa quanto à avaliação científica da interação entre produtos biológicos e adjuvantes. Essa ausência de recomendações claras compromete a eficácia do manejo integrado e reforça a necessidade de pesquisas que validem combinações seguras e eficientes (Gazziero, 2015).

Com o intuito de subsidiar discussões técnicas e promover reflexões sobre o uso racional dessa prática, são descritas as estratégias de campo observadas em propriedades agrícolas brasileiras que utilizam misturas em tanque, incluindo o uso de agentes biológicos como o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* e diferentes tipos de adjuvantes. Esses componentes têm sido incorporados às caldas com o propósito de ampliar o espectro de ação, melhorar a adesividade das gotas e favorecer a eficácia dos produtos biológicos aplicados (Zhao et al., 2022).

Segundo levantamento realizado por Gazziero (2015), envolvendo produtores rurais de diferentes regiões do Brasil, verificou-se que 97% dos entrevistados utilizam misturas em tanque, sendo que em 95% dos casos são combinados de dois a cinco produtos por aplicação. A maioria dos produtores relatou utilizar a dose máxima recomendada nos rótulos dos produtos, prática que pode elevar os riscos de fitotoxicidade, incompatibilidade química e impactos ambientais. Além disso, 72% dos

participantes afirmaram desconhecer ou considerar insuficientes as informações disponíveis sobre misturas, enquanto 99% demonstraram interesse em receber orientações técnicas mais detalhadas.

Embora a mistura em tanque represente uma alternativa prática e econômica, seu uso exige cautela e conhecimento técnico, pode levar a ocorrência de interações que se manifestam de forma aditiva, antagônica ou sinérgica, que podem ou não prejudicar o controle, até mesmo causar fitotoxicidade (Gazziero e Souza, 1993; Nash, 1967; Trezzi et al., 2005).

Diante da ampla adoção dessa prática e dos riscos associados à sua má utilização, torna-se essencial que o tema seja amplamente discutido entre produtores e profissionais da área (agrônomos). Buscando o desenvolvimento de materiais técnicos a partir de pesquisas para recomendações assertivas sobre quais as melhores combinações de misturas em tanque de produtos biológicos e adjuvantes, são medidas fundamentais para promover o uso seguro e eficiente dos produtos fitossanitários no campo (Gazziero, 2015; Spadoni, 2019; Conceschi et al., 2024).

Nesse sentido, investigar a associação de *Beauveria bassiana* com diferentes adjuvantes não apenas responde a uma demanda prática do campo, mas também contribui para transformar uma prática empírica em estratégia tecnicamente fundamentada, ampliando o papel dos biológicos no controle da mosca-branca e reduzindo a dependência de inseticidas químicos.

2. REFERÊNCIAS

Almeida, J. F.; Da Silva Moura, C. M.; Da Silva, J. A.; Gois, G. C. Subprodutos da agroindústria na alimentação de frangos de corte. **Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações,** v. 3, p. 44-55, 2024.

Baldin, E.L.L.; Vendramin, J.D.; Lourenção, A.L.Resistência de genótipos de tomateiro à mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Hemiptera: *Aleyrodidae*). **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 435-441, 2005.

Baldin, E.L.L.; Cruz, P.L.; Morando, R.; Silva, I. F.; Bentivenha, J.P.F.; Tozin, L.R.S.; Rodrigues, T.M.Characterization of antixenosis in soybean genotypes to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: *Aleyrodidae*) biotype B. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 4, p. 1869-1876, 2017.

Barreto, D.S.F.; Raposo, R.D.S.; De Campos, S.F.; Uzan, J.; Marubayashi, J.M.; Ribeiro-Junior, M.R.; Krause-Sakate, R. Exploring *Bemisia tabaci* Middle East–Asia Minor I and Mediterranean Cryptic Species Relationship with Cowpea Mild Mottle Virus and Their Dynamics in Soybean Fields**. Insects**, v. 15, n. 8, p. 624, 2024.

Bello, V.; Watanabe, L.; Fusco, L.; De Marchi, B.; Da Silva, F.; Gorayeb, E.; Moura, M.; De Souza, I.; Muller, C.; Salas, F.; Yuki, V.; Bueno, R.; Pavan, M.; Krause-Sakate, R. Outbreaks of *Bemisia tabaci* Mediterranean species in vegetable crops in São Paulo and Paraná States, Brazil. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, n. 4, p. 487-496, 2020.

Bellows, J.T.S.; Perring, T.M.; Gill, R.J.; Headrick, D.H.Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: *Aleyrodidae*). **Annals of the Entomological Society of America,** v. 87, n. 2, p. 195-206, 1994.

Bôas, G.L.V.; Nagata, A.K.I.; Lima, R.S.; Pereira, W.; Giordano, L.D.B. Avaliação de plantas daninhas como possíveis hospedeiras da mosca-branca. **Hortic Bras**, v. 21, p. 344-347, 2003.

Butler-Ellis, M.C.; Tuck, C.R.; Miller, P.C.H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection,** v. 16, n. 1, p. 41-50, 1997.

Cardoso, F.C. **Do confronto à governança ambiental: uma perspectiva institucional para a Moratória da Soja na Amazônia.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

Catelan, D.; Carvalho, T.; Vale, V.D.A. Eventos climáticos extremos no Brasil e impactos econômicos provenientes de mudanças na produtividade agrícola. **TD NEDUR-UFPR**, Curitiba, n.1, p.1-19, 2022.

Chaim, A.; Wadt, L.G. Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos. **Notícias: Produção Vegetal**, v.1, 2015

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2024a). **Acompanhamento da safra brasileira 2023/2024: Safra de Grãos, 5º Levantamento.** Disponível em: https://wwwconabgobr/info-agro/safras/graos Acesso em: 10 fe 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2024b). **Acompanhamento da safra brasileira 2023/2024: Progresso de Safra.** Disponível em: https://wwwconabgobr/info-agro/safras/progresso-de-safra Acesso em: 25 fe 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2025). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2024/2025.** Disponível em: https://wwwconabgobr/info-agro/safras/graos Acesso em: 25 fe 2025.

Conceschi, M.R.; Borges, Á.V.; Almeida, M.F. (2024) Como os adjuvantes podem melhorar a eficiência dos fungos no controle microbiológico a campo? INSTITUTO AGRÍCOLA **NPCT-IA-P-05**, v. 5, p. 26-30, 2024.

Cunha, J.P.A.R.D. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, p. 1616-1621, 2008.

Dall'Agnol, A.; Kaster, L.C.; Hirakuri, M.H. A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições. **Embrapa Soja**, Londrina, 2016.

Decaro Junior, S.T. **Avaliação de um pulverizador e volume ultrabaixo e de adjuvantes em caldas fitossanitárias na cultura dos citros.** 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Della Vechia, J.F. **Interação entre produtos fitossanitários no manejo de *Brevipalpus yothersi* e *Diaphorina citri* na cultura dos citros.** 2017. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

EMBRAPA SOJA (2006) **Maximização da eficiência da fixação simbiótica do N_2 (FBN) em soja.** Disponível em: https://wwwembrapabr/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470119/ Acesso em: 25 fe 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization (2025) **FAOSTAT: commodities by country** Disponível em: https://wwwfaoorg/faostat/en/#rankings/commodities_by_country Acesso em: 25 fe 2025.

Ferreira, D.; Kreter, A.C.; Garcia, P.M. **Impacto das chuvas no setor agropecuário do Rio Grande do Sul: revisão e nova estimativa para o PIB agropecuário.** Relatório Técnico do MAPA, v.1, p. 1-25, 2024.

Ferreira, M.C.; Alvarenga, C.B.; Cunha, J.P.A.R. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L) com e sem adjuvantes sob chuva simulada. **Bioscience Journal,** v. 29, p. 1431-1440, 2013.

Fritz, B.K.; Hoffmann, W.C.; Kruger, G.R.; Henry, R.S.; Hewitt, A.; Czaczyk, Z. Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing laboratories. **Atomization and Sprays,** v. 24, p.181-192, 2014.

Gandini, E.; Costa, E.; Santos, J.; Soares, M.; Barroso, G.; Corrêa, J.; Carvalho, A.; Zanuncio, J. Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 122152, 2020.

Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R.; Baptista, G.; Berti Filho, E.; Omoto, C. Entomologia agrícola Piracicaba: FEALQ, 2002 920. **Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz**, v. 10, p.48-54, 2018.

Gazziero, D.L.P.; De Souza, I.F. Manejo integrado de plantas daninhas. **Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: POTAFOS**, p. 183-208, 1993.

Gazziero, D.L.P.; Brighenti, A.M.; Lollato, R.P.; Pitelli, R.A.; Voll, E.; Oliveira, E.; Moriyama, R.T. **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja.** 2006.

Gazziero, D.L.P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha,** v. 33, p. 83-92, 2015.

Griesang, F.; Decaro, R.A.; Dos Santos, C.A.M.; Santos, E.S.; De Lima Roque, N. H.; Da Costa Ferreira, M. How much do adjuvants and nozzle models reduce the spraying drift? **American Journal of Plant Sciences,** v.8, n. 11, p.2785-2795, 2017.

Henning, A.A.; Almeida, Á.M.R.; Godoy, C.V.; Seixas, C.D.S.; Yorinori, J.T.; Costamilan, L.M.; Dias, W.P. **Manual de identificação de doenças da soja.** Londrina: Embrapa Soja, p. 76, 2005.

Hungria, M.; Campo, R.J.; Mendes, I.D.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Embrapa Soja; Brasília, DF: Embrapa Cerrados, v. 35, p. 48, 2001.

Khanh, N.D.; Giang, H.T.T. Effect of Temperature on Life History of *Bemisia Tabaci* (Gennadius) (Homoptera: *Aleyrodidae*) on Cassava Manihot Esculenta Crantz **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n. 1, p. 912-920, 2021.

Kissmann, K.G. **Adjuvantes para caldas de produtos fitossanitários** In: Guedes JVC e Dornelles SB (Org) Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos: novas tecnologias Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, p. 39-51, 1998.

Li, Y.; Li. Q.; Hu, J.; Liu, C.; Zhao, S.; Zhang, W.; Wang, Y. An Experimental Study on the Charging Effects and Atomization Characteristics of a Two-Stage Induction-Type Electrostatic Spraying System for Aerial Plant Protection. **Agronomy,** v. 15, p. 1641, 2025.

Lima, A.C.S.; Lara, F.M.; Santos, J.M. Morfologia da mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) encontrada em Jaboticabal, SP, com base em eletromicrografias de varredura. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, v. 27, p. 315-322, 2001.

Lima, L.; Campos, L.; Moretzsohn, M.; Navia, D.; Oliveira, M. Genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Genn.) Populations in Brazil revealed by RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, p. 217-223, 2002.

Martin, D.E.; Latheef, M.A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy penetration in cotto. **Journal of Electrostatics,** v. 90, p.38-44, 2017.

Matuo, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas** Jaboticabal: FUNEP, v.1, p.139,1990.

McMullan, P.M.Emulsifier surfactant-oil combinations with tralkoxydim. **Canadian Journal of Plant Science,** v. 73, p.1275-1281, 1993.

Monnerat, R.; Montalvão, S.C.; Martins, E.S.; Queiroz, P.R.; Da Silva, E.Y.Y.; Garcia, A.R.; Gomes, A.C.M.M. **Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura.** 2020.

Nash, R.G. Phytotoxic pesticide interactions in soil. **Agronomy Journal**, v. 59, n. 3, p. 227-230, 1967

Neto, S.; Da Silva Nunes, J.; Souza, M.; Calonego, J. Soybean Crop: A Review on the Biotechnological Advances and Expectation for Modern Cultivars. **Journal of Animal Science**, v.8, p.194-207, 2020.

Oliveira, R.P.; Rodrigues, A.; Souza, M.L.; Queiroz, R.C. Compatibilidade de inseticidas utilizados no controle da mosca-branca em soja com *Beauveria bassiana.* **Revista de Agricultura Neotropical,** v.5, p.88-93, 2018.

Oliveira, R.B. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Parra, J.R.P. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores** 1ª edição São Paulo: Editora Manole, p. 635, 2002.

Petter, F.A.; Segate, D.; Almeida, F.A.; Alcântara Neto, F.; Pacheco, L.P. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. **Comunicata Scientiae,** v. 4, p. 129-138, 2013.

Santos, C.A.M.; Do Nascimento, J.; Gonçalves, K.C.; Smaniotto, G.; De Freitas, Z.L.; Da Costa Ferreira, M.; Polanczyk, R.A. Compatibility of Bt biopesticides and adjuvants for *Spodoptera frugiperda* control. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5271, 2021.

Sasaki, R.S.; Teixeira, M.M.; Santiago, H.; Madureira, R.P.; Maciel, C.F.S.; Fernandes H.C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v. 45, p. 274-279, 2015.

Serra, M.E.; Chaim, A.; Raetano, C.G. (2008) Pontas de pulverização e eletrificação das gotas na deposição da calda em plantas de Crisântemo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 479-485, 2018.

Spadoni, A.B.D. **Propriedades físico-químicas e primórdios da perda de estabilidade de calda inseticida em misturas com fungicidas e adjuvantes.** 2019. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Entomologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista (Unesp) - FCAV, câmpus de Jaboticabal – SP.

Suekane, R.; Takematsu, M.; Yuki, V.A.; Lourenção, A.L. Danos da mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gen) e distribuição vertical das ninfas em cultivares de soja em casa de vegetação. **Arquivos do Instituto Biológico,** v. 80, p. 151-158, 2013.

Tavares, R.M.; Cunha, J.P.; Alves, T.C.; Bueno, M.R.; Silva, S.; Zandonadi, C.H. Electrostatic spraying in the chemical control of Triozoida limbata (Enderlein) (Hemiptera: *Triozidae*) in guava trees (*Psidium guajava* L). **Pest Management Science**, v.73, p.1207–1214, 2017.

Trezzi, M.M.; Filippi, C.L.; Nunes, A.L.; Carnieleto, C.E.; Ferreira, A.R.J. Eficácia de controle de plantas daninhas e toxicidade ao milho da mistura de Foramsulfuron e Iodosulfuron isoladamente ou em associação com Atrazine e/ou Clorpirifós. **Planta Daninha**. v. 23, p. 653-659, 2005.

Van, Z.J.G.J.; Fouriea, P.H.; Schutteb, G.C. Spray deposition assessment and benchmarks for control of *Alternaria brown* spot-on mandarin leaves with copper oxychloride. **Crop Protection,** v.46, p.80-87, 2013.

Vos, R.; Glauber, J.; Hebebrand, C.; Rice, B. Global shocks to fertilizer markets: Impacts on prices, demand and farm profitability. **Food Policy**, v.133, p. 102790, 2025.

Wang, B.; Geng, Z.; Pan, B.; Jiang, L.; Lin, Y. Effect of Vegetable Oil Adjuvant on Wetting, Drift, and Deposition of Pesticide Droplets from UAV Sprayers on Litchi Leaves. **Agronomy**, v.15, p.1-15, 2025.

Zhao, P.; Zheng, L.; Li, Y.; Wang, C.; Cao, L.; Cao, C.; Huang, Q. Tank-mix adjuvants regulate the deposition, absorption, and permeation behavior of pesticide solutions on rice plant. **Agriculture**, v. 12, n. 8, p. 1119, 2022.

CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA COMPATIBILIDADE DE CALDAS COMBINANDO PRODUTO BIOLÓGICO E DIFERENTES ADJUVANTES AGRÍCOLAS

RESUMO – *Bemisia tabaci* é uma praga polífaga de difícil controle na cultura da soja, por atuar como vetor de diversos vírus fitopatogênicos, como carlavírus, geminivírus e potyvírus. Nesse contexto, a mistura de produtos biológicos em tanque com adjuvantes, prática comum no campo, pode interferir na qualidade e eficácia das aplicações fitossanitárias, especialmente quando se utiliza inseticidas biológicos em associação com produtos químicos. Este estudo avaliou os efeitos da adição de diferentes adjuvantes às caldas contendo *Beauveria bassiana* (cepa PL 63), com foco em avaliar parâmetros físico-químicos referentes a pulverização como pH, condutividade elétrica (CE), diâmetro mediano volumétrico (DMV), uniformidade de gotas (SPAN), ângulo de contato, tensão superficial e viscosidade, a fim de orientar para uma melhor escolha de produtos para mistura. Observou-se que, sob agitação, as caldas se mantiveram estáveis logo após o preparo, alguns adjuvantes se apresentaram como inibidor da formação de espuma, outros como redutores de pH, aumentando a CE da calda e diminuíram o ângulo de contato e a tensão superficial das gotas, favorecendo maior espalhamento e distribuição uniforme sobre a superfície foliar. Os resultados apresentados demonstram que os adjuvantes interferem significativamente nas propriedades das caldas, podendo potencializar a eficácia das aplicações, quando feita boa escolha para mistura com *Beauveria bassiana*. Essa escolha criteriosa é, portanto, fundamental para melhorar a eficiência do produto biológico na cultura da soja, em qualidade de aplicação.

Palavras-chave: Compatibilidade de calda, fitossanidade, mosca-branca, produtos fitossanitários, soja

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPATIBILITY OF MIXTURES COMBINING BIOLOGICAL PRODUCT AND AGRICULTURAL DIFERENT ADJUVANTS IN SPRAYING

ABSTRACT – *Bemisia tabaci* is a polyphagous pest that is difficult to control in soybean cultivation, its role as a vector of several phytopathogenic viruses, such as carlaviruses, geminiviruses, and potyviruses. In this context, the tank-mixing of biological products with adjuvants, a common practice in the field, can interfere with the quality and efficacy of phytosanitary applications, especially when biological insecticides are used in combination with chemical products. This study evaluated the effects of adding different adjuvants to spray solutions containing *Beauveria bassiana* (strain PL 63), focusing on assessing physicochemical parameters related to spraying, such as pH, electrical conductivity (EC), volume median diameter (VMD), droplet uniformity (SPAN), contact angle, surface tension, and viscosity, in order to guide towards a better choice of products for mixing. It was observed that, under agitation, the spray mixtures remained stable immediately after preparation. Some adjuvants acted as foam formation inhibitors, others reduced pH while increasing the EC of the mixture, and also decreased the contact angle and surface tension of the droplets, promoting greater spreading and uniform distribution over the leaf surface.The results demonstrate that adjuvants significantly influence the physicochemical properties of spray mixtures and can enhance the efficacy of applications when appropriately selected for combination with *Beauveria bassiana.* Therefore, careful selection of adjuvants is essential to optimize the efficiency and application quality of the biological product in soybean cultivation.

Keywords: Whitefly, soybean, spray compatibility, plant health, phytosanitary products

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de caldas fitossanitárias contendo misturas em tanque de bioinseticidas com adjuvantes é uma prática comum nas lavouras de soja. Nesse contexto, Gazziero (2015) aborda a prática de misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil, destaca sobre sua ampla adoção e os desafios associados a ela.

Essa prática, embora amplamente utilizada, tem objetivos claros: reduzir custos operacionais, aumentar a eficiência do controle de pragas e otimizar os recursos aplicados. Entretanto, pode comprometer a estabilidade físico-química e bioquímica de produtos biológicos quando em associações com diferentes adjuvantes, afetando a eficácia do produto biológico, como é o caso do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*. É importante ressaltar que diversos profissionais do setor agrícola e produtores, enfrentam problemas relacionados aos tipos de produtos e suas diferentes formulações, frequência de uso desses produtos em misturas, doses utilizadas e à falta de informação técnica confiável (Gazziero, 2015; Pelegrini, 2021; Siqueira, 2023).

No presente trabalho foram escolhidos adjuvantes com maior uso prático e comercial, para torná-lo mais próximo da realidade de misturas realizadas no campo. Esses adjuvantes possuem diferentes fabricantes, classe química e funções sendo siliconados, óleo mineral e vegetal, organosiliconados e sintéticos, iônicos e não iônicos, para avaliar se diferentes produtos e suas respectivas composições surtem efeitos na associação com *Beauveria bassiana*.

A compatibilidade entre *Beauveria bassiana* e adjuvantes constitui um aspecto determinante para a eficiência do controle da mosca-branca, uma vez que a interação entre eles pode afetar diretamente a germinação, o crescimento micelial e a infectividade dos conídios, fatores como o pH das caldas podem diminuir a viabilidade fúngica, consequentemente, a eficiência no controle biológico (Mwamburi et al., 2015). Estudos recentes demonstram que adjuvantes não iônicos, tendem a ser compatíveis quando utilizados em baixas concentrações, promovendo melhor adesão e cobertura

das superfícies foliares e, consequentemente, maior contato do fungo com o hospedeiro. Em contrapartida, alguns adjuvantes com solventes ou extratos vegetais, podem provocar inibição significativa da germinação dos conídios e redução da viabilidade com o tempo de armazenamento, em decorrência de alterações de pH e presença de compostos fungitóxicos (Mwamburi et al., 2015; Zeina e Laing, 2025).

De modo geral, a compatibilidade pode ser avaliada sob o ponto de vista das interações físico-químicas e bioquímicas. A compatibilidade física está associada à melhoria da deposição e adesão das gotas; a química, à manutenção da integridade dos conídios frente aos componentes da calda; e a biológica, à preservação da virulência e capacidade de infecção do fungo. Quando as misturas são compatíveis, observa-se sinergismo no controle de pragas, como aumento da mortalidade de *Bemisia tabaci* e de outros insetos de corpo ceroso, devido à maior fixação e penetração dos conídios (Loeblein et al., 2022).

Adicionalmente, o uso intensivo e exclusivo de inseticida químico, embora eficaz e prático, tem levado ao surgimento de populações resistentes, além de impactar inimigos naturais, produtos biológicos podem auxiliar na quebra de resistência com a rotação de diferentes mecanismos de ação (Kalvnadi et al., 2018). Isso ocorre com o uso de boas práticas agrícolas ligadas ao Manejo Integrado de Pragas (MIP) que aborda o manejo das grandes culturas de forma racional (Bortolotto et al., 2015; Miranda et al., 2021).

Nesse cenário, a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) representa um dos principais desafios fitossanitários da soja, devido à sua capacidade de transmitir diferentes tipos de vírus (carlavírus, closterovírus, geminivírus, luteovírus e potyvírus, entre outros) e à sua característica polífaga, que permite seu desenvolvimento em diferentes hospedeiros e condições ambientais. Ninfas e adultos alimentam-se no floema da planta em busca da seiva rica em açúcares. Além disso, suas excreções (melada), que se acumulam nas superfícies superiores da planta, servem como substrato para fungos, como o *Capnodium* (Bortolotto et al., 2015; Oliveira et al., 2018; EMBRAPA, 2021).

Nesse sentido, o controle microbiológico tem sido utilizado como uma estratégia crescente no manejo da mosca-branca, com destaque para microrganismos

entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana*, cuja ação ocorre por contato e infecção cuticular, levando à morte do inseto hospedeiro (Lacey et al., 2015; Kalvnadi et al., 2018; Pelegrini, 2021).

Para que o fungo se mantenha viável e eficaz os parâmetros da calda como pH, viscosidade, condutividade elétrica, espectro de gotas e outros, que podem ser influenciados pela associação de adjuvantes e o formulado biológico, são de grande importância na escolha dos produtos antes do preparo da calda (Inglis et al., 2001; Mascarin et al., 2015). A compatibilidade entre os componentes da calda influencia não apenas na viabilidade do microrganismo, mas também na cobertura foliar e na deposição das gotas e conídios, impactando diretamente a eficiência de controle (Ferreira et al., 2013; Petter et al., 2013).

Nesse aspecto, o uso de adjuvantes pode alterar algumas propriedades físico-química da calda, promovendo maior eficiência e eficácia no controle da praga , como por exemplo, melhor espalhamento e recobrimento da gota na superfície foliar, promovendo maior chance dos conídios atingirem as ninfas de mosca-branca, redução ou não na formação de espuma, redução da viscosidade da calda promovendo também menor tamanho de gotas, o que favorece a aplicação (Griesang et al., 2017; Ramos et al., 2019; Li et al., 2025).

Dessa forma, este trabalho objetiva caracterizar os efeitos físico-químicos de misturas entre *Beauveria bassiana* e diferentes adjuvantes agrícolas, avaliando parâmetros como pH, condutividade elétrica, tensão superficial, ângulo de contato, viscosidade e espectro de gotas, com o intuito de fornecer parâmetros técnicos que subsidiem a escolha de adjuvantes compatíveis com *Beauveria bassiana*, favorecendo a adoção de uma prática eficaz de controle fitossanitário da praga.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as avaliações deste capítulo foram conduzidas em laboratório.

2.1 Caracterização dos tratamentos

O experimento foi conduzido em ambiente laboratorial no segundo semestre de 2024, com o objetivo de avaliar as características físico-químicas de caldas fitossanitárias contendo o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* combinado com diferentes adjuvantes agrícolas, que possuem diferentes classes químicas, diferentes concentrações e funções, são utilizados com maior frequência em misturas no campo, justamente para avaliar estas diferenças e retratar com maior precisão as associações realizadas no campo. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com 16 tratamentos e quatro repetições.

Os tratamentos consistiram em *Beauveria bassiana* isoladamente (T1) e em mistura com 15 adjuvantes comerciais (T2 a T16). Os produtos foram preparados com base nas doses recomendadas pelos fabricantes para 100 L de calda, conforme descrito na Tabela 1. A formulação de *Beauveria bassiana* utilizada foi do tipo pó molhável (WP), aplicada na dose de 0,5 a 1,0 kg/ha (Tabela 1). A ordem de adição dos componentes respeitou a sequência recomendada pela ABNT NBR 13875 (2014), iniciando-se com o bioinseticida seguido do adjuvante.

Tabela 1. Descrição dos produtos, segundo a bula, utilizados para a composição dos tratamentos, sendo que, o primeiro tratamento (T1) será sempre composto apenas por *Beauveria bassiana*, os demais seguem com *Beauveria* mais adição de um adjuvante, seguindo a ordem da tabela, respectivamente.

Sigla	Produto/Classe	Classificação	Dose (100 L/ha)
BV	1.*Beauveria bassiana (Inseticida biológico)*	*Beauveria bassiana* (pó molhável - WP)	0,5 a1,0 Kg
LI	2.Adjuvante	Ácido propiônico-não iônico-lecitina	0,5% v/v
Fix	3.Adjuvante	Óleo vegetal	200 ml
As	4.Adjuvante	Óleo mineral (não iônico)	0,25 a 1,0% v/v
Sil	5.Adjuvante	Organosiliconado (trisiloxano etoxilado)	25 a 50 ml
Au	6.Adjuvante	Ester metílico de óleo de soja	0,25% v/v
Fig	7.Adjuvante	Éter laurílico de polioxietileno (Sintético não iônico)	100 a 125 ml
TA	8.Adjuvante	Adjuvante sintético	0,15 L/ ha
AgS	9.Adjuvante	Óleo vegetal	50 ml
IG	10.Adjuvante	Óleo mineral	0,5 a 1 L
BTr	11.Adjuvante	Polimetilsiloxano (siliconado)	0,1% v/v
AcAg	12.Adjuvante	Proteína fúngica de levedura	200 a 300 ml
SPr	13.Adjuvante	Siliconado	200ml
KPu	14.Adjuvante	siliconado	20 a 40 ml
WS	15.Adjuvante	Siliconado	20 a 40 ml
LM	16.Adjuvante	Óleo vegetal de laranja	20 a 40 ml

2.2 Aspectos gerais das caldas

Para determinação dos aspectos gerais foram realizadas avaliações físicas e químicas das caldas fitossanitárias.

2.2.1 Estabilidade físico-química, pH e condutividade elétrica

As misturas foram preparadas em provetas graduadas de 250 mL com tampa rosqueável, utilizando água deionizada com dureza ajustada a 20 $mg \cdot kg^{-1}$ em equivalente de $CaCO_3$, conforme a norma NBR 13074 (ABNT, 1997). As provetas foram completadas com água até 150 ml e adicionados os produtos formulados *Beauveria bassiana* + adjuvantes, nesta ordem, depois completou o volume para 250 ml. As caldas foram agitadas manualmente (10 inversões) após o preparo e após o tempo de repouso da calda para avaliação da redisperção. Foram realizadas análises de pH, por peagâmetro de bancada (Quimis® Q400RS) e condutividade elétrica (CE), com condutivímetro digital (MSTECNOPON® INSTRUMENTAÇÃO, mCA-150). Devidamente calibrados com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 (para o peagâmetro) e solução padrão de KCL 1413 µS/cm (para o condutivímetro), conforme as recomendações do fabricante. Os eletrodos foram introduzidos nas caldas até alcançarem a metade da proveta.

As leituras ocorreram nos intervalos de 0; 2; 6 e 24 horas após o preparo (HAP), a fim de simular o repouso da calda no tanque do pulverizador. Adicionalmente, foram observadas características visuais como sedimentação, formação de espuma, separação de fases, floculação, presença de cristais e grumos. A compatibilidade foi determinada conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 13875 (2014), que classifica misturas como compatíveis, parcialmente compatíveis ou incompatíveis.

Para avaliação do volume de espuma formado, foi realizado um cálculo comparativo entre o volume de calda da proveta (figura 1) e o volume de espuma formado entre os tratamentos logo após agitação. Algumas caldas formaram bolhas de espuma que sob agitação ocuparam volume de calda, esse valor de sobreposição

das bolhas sobre a calda também foi quantificado como espuma, para as demais caldas sem este efeito, as medições de espuma foi realizada a partir de 250 ml da proveta.

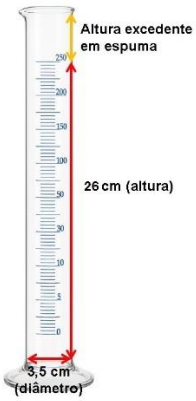


Figura 1. Demonstração das medições realizadas na proveta da avaliação para cálculo do volume de calda em relação ao volume excedente de espuma formada nas misturas (Fonte: Roque, 2025).

2.2.2 Avaliação de viscosidade dos tratamentos

Para a avaliação da viscosidade das caldas, foi utilizado um viscosímetro rotacional (USS – DVT4 Digital Rotary Viscometer). A viscosidade foi medida com base no torque necessário para rotacionar um cilindro submerso em 15 mL da calda em análise. Os cilindros foram selecionados de acordo com as características do líquido (Contiero et al., 2018). Para esta avaliação, foi utilizado um cilindro com diâmetro de 100 mm (referência S 28), conforme recomendação do fabricante, por se tratar de líquidos Newtonianos, com viscosidade constante para diferentes taxas de cisalhamento e valores próximos aos da água. A rotação utilizada foi de 60 rpm.

2.2.3 Avaliação de tensão superficial e ângulo de contato dos tratamentos

As propriedades interfaciais das caldas foram analisadas utilizando um tensiômetro óptico OCA-15 Plus (Dataphysics®). A tensão superficial foi determinada pelo método da gota pendente, analisada pelo software ADSA (Axisymmetric Drop Shape Analysis), com registros a cada segundo por 60 segundos.

O ângulo de contato foi medido com base na deposição de gotas sobre superfície padrão de Parafilm® (1 x 10 cm), e os dados foram obtidos aos 10 segundos após o depósito, padronizado, tempo em que os valores se estabilizaram (Ramos et al., 2019). Ambas as variáveis são críticas para avaliar o potencial de espalhamento e adesão da calda nas superfícies foliares.

2.2.4 Avaliação do tamanho de gota dos tratamentos

O diâmetro das gotas produzidas pelas caldas fitossanitárias foi determinado com um analisador de tamanho de partículas por difração a laser (Helos KR - Paqxos 5.2.1, Sympatec), onde um feixe de laser é emitido por uma fonte colimadora, emissor, e recebido na região oposta à emissão, receptor. As duas regiões contêm lentes, entre as quais as partículas a serem analisadas são expostas. A incidência da luz nas partículas provoca um desvio em sua trajetória, cujo ângulo é utilizado para calcular o diâmetro equivalente da partícula (Calore et al., 2015).

No caso das gotas medidas no ar, o formato assumido é semelhante ao de uma esfera. Quanto menor a partícula, maior é o grau de difração que o raio de luz sofre (Etheridge et al., 1999). A ponta de pulverização utilizada foi a TXA8002VK (TeeJet ®) em cerâmica, cone vazio, com 80° de abertura de ângulo, foi instalada a 40 cm do feixe de laser. A pulverização foi acionada com a pressão de 4 bar, mantida constante por um regulador de pressão de precisão, na condição de 28°C a 70% UR.

Um oscilador longitudinal foi utilizado para que o jato de calda atravessasse transversalmente o laser durante a leitura pelo aparelho, visando uma amostragem representativa dos tamanhos de gota produzidos por toda a extensão do jato da ponta (Calore et al., 2015).

Na caracterização do espectro das gotas, foi determinado os valores quantitativos para o diâmetro das gotas (µm).Os valores de Dv0,1 correspondem ao diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas

de tamanho menor que esse valor; Dv0,5 corresponde ao diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro da mediana volumétrica (DMV); Dv0,9 ao diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor. As gotas propensas à deriva foram analisadas considerando a porcentagem do volume de gotas menores que 100 µm (%Vol<100 µm). O coeficiente de uniformidade (SPAN) representa a distribuição do espectro de gotas e é calculado pela fórmula:

$$SPAN = (DV0{,}9 - DV0{,}1) / DV0{,}5$$

2.2.5 Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade dos erros (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade (O' Neill-Mathews), ambos a um nível de significância de 5%. Os resultados de pH, condutividade elétrica, tensão superficial, ângulo de contato, tamanho de gotas e viscosidade foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$). O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC). Para a análise estatística, foi utilizado o software Rscript (R Core Team, 2025).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da compatibilidade físico-química das misturas

A avaliação visual das caldas permitiu identificar diferentes formas de incompatibilidade físico-química entre os tratamentos ao longo do tempo (0;2;6 e 24 horas após o preparo - HAP). Foram avaliados: floculação (pequenos agregados

suspensos na calda), sedimentação (formação de corpo de fundo nas provetas), separação de fase (os líquidos ou produtos não ficam homogêneos), formação de grumos (formação de aglomerados entre as substâncias dos produtos, “ espécie de massa”), separação de óleo (formação de óleo na superfície da calda), formação de cristal (pequenos agregados com coloração de cristal), creme (formação mais cremosa e densa das substâncias dos produtos), redispersão (novo agito, ao qual a calda volta , ou não, ao seu aspecto inicial de homogeneidade) e formação de espuma (presença de espuma na superfície da calda, geralmente após agitação) (Tabela 2 e Figura 2).

Associações entre produtos nas caldas de pulverização podem gerar instabilidade na calda, a interação entre os produtos pode resultar em uma concentração heterogênea da calda. As incompatibilidades podem ser de ordem química dos ingredientes da formulação, que podem reagir entre si (Ferreira, 2007; Costa e Polanczyk, 2019).

Tabela 2. Apresentação das formas de instabilidades observadas nas caldas em seus horários após o preparo.

	CALDAS	HORÁRIO DE PREPARO DAS CALDAS															
		Sedimentação				**Grumo**				**Redispersão**				**Espuma**			
		0	**2**	**6**	**24**	**0**	**2**	**6**	**24**	**0**	**2**	**6**	**24**	**0**	**2**	**6**	**24**
T1)	[1]Bv	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H
T2)	Bv + lecitina (Ll)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	-
T3)	Bv + óleo vegetal (Fi)	-	H	H	H	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H
T4)	Bv + óleo mineral (As)	-	-	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H
T5)	Bv + organosiliconado (Sil)	-	-	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H
T6)	Bv + ester metilico de óleo de soja (Au)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	-	-	H
T7)	Bv + sintético não iônico (Fig)	-	H	H	H	-	-	-	H	H	H	H	H	H	-	-	H
T8)	Bv + sintético (TA)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	-	-	H
T9)	Bv + óleo vegetal (AgS)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	-	-	-
T10)	Bv + óleo mineral (IG)	-	-	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	-	-	-	-
T11)	Bv + siliconado (BTr)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H
T12)	Bv + proteína fúngica de levedura (AcAg)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	-	H	H
T13)	Bv + siliconado (SPr)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	-	-	-	-
T14)	Bv + siliconado (Kpu)	-	H	H	H	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H
T15)	Bv + siliconado (WS)	-	H	H	H	-	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H
T16)	Bv + óleo vegetal (LM)	-	H	H	H	-	-	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H

T1 ao T16 = número dos tratamentos. [1]Bv = *Beauveria bassiana*; H= Houve instabilidade; - = Não houve instabilidade.

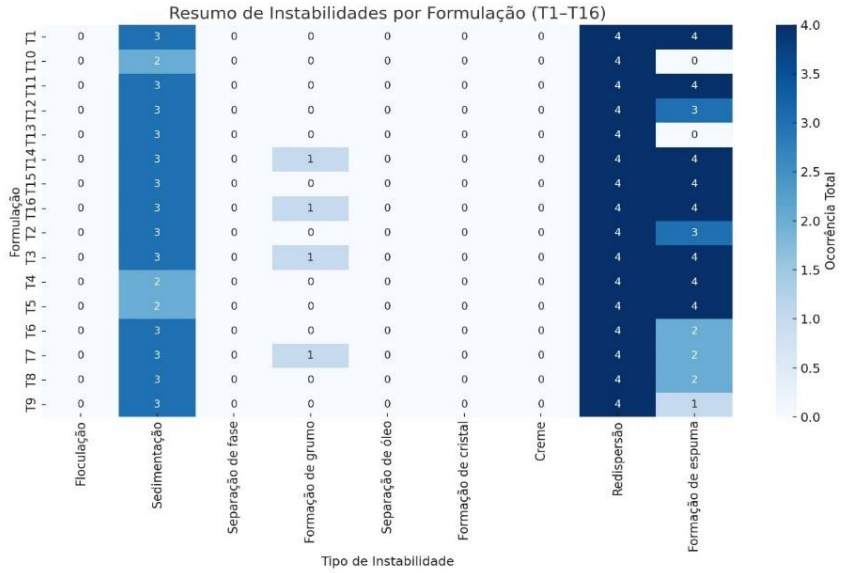


Figura 2. Frequência de ocorrência das instabilidades físico-químico dos tratamentos com *Beauveria bassiana* e em associação com adjuvantes nos diferentes horários após o preparo (HAP) da calda. Os números de 0 a 4 representam a quantidade de ocorrência das instabilidades nos diferentes horários após o preparo da calda (0, 2, 6 e 24 HAP).

A redispersão foi possível na maioria das caldas, porém houve a formação de espuma sob agitação, indicando que algumas incompatibilidades apresentadas são predominantemente físicas e reversíveis, desde que a calda não permaneça em repouso prolongado. Esse comportamento evidencia a importância da manutenção de agitação contínua ou intermitente durante o preparo da calda, prática já recomendada por autores como Almeida et al. (2017), para garantir a eficácia e estabilidade de caldas contendo agentes biológicos.

A formação de espuma foi a forma de incompatibilidade mais crítica, uma vez que na calda do tratamento controle houve a formação de espuma nos diferentes horários, inclusive na redispersão, o que demonstra uma possível complicação na formulação do produto biológico. Porém, nas caldas com presença de adjuvantes a base de óleo mineral (IG) e silicone (SPr), a espuma foi mínima ou ausente, possivelmente ao efeito antiespumante dos adjuvantes.

Estudos confirmam que alguns produtos biológicos utilizados na agricultura podem incluir detergentes ou surfactantes em suas formulações, atuando como coadjuvantes para melhorar a eficiência da aplicação e a dispersão dos ingredientes ativos. A literatura destaca que a presença de surfactantes (detergentes) em produtos biológicos pode ser intencional, visando otimizar a formulação e a performance do

produto, mas é fundamental avaliar a compatibilidade e a concentração adequada para evitar efeitos negativos sobre os agentes biológicos (Curkovic et al., 2019).

Segundo Decaro Junior (2015), a espuma pode comprometer a eficiência da pulverização, aumentar os riscos de transbordamento da calda e a exposição ocupacional do operador, alguns tratamentos formaram 30,9% de volume a mais da calda da proveta em espuma (Tabela 3) sob agitação, que pode ser correlacionado com o volume no tanque de um pulverizador ou no tanque pré-misturador. Vale ressaltar que a formação de bolhas de ar da espuma, sob agitação, pode ocupar maior espaço no volume de calda, assim essas bolhas descem sobre o volume de calda, misturando-se, e ocupando maior espaço nas provetas. Além disso, a espuma excessiva está associada à contaminação do ambiente e à perda de produto, especialmente em operações sem o uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) no momento do preparo da calda, como também reforçado por Marques et al. (2021), que destacam a importância da segurança operacional no uso de insumos biológicos.

Tabela 3. Resultado da avalição de compatibilidade físico-química realizada em laboratório sobre a formação de espuma, a porcentagem de espuma excedente gerada nas provetas graduadas (250 ml com 26 cm de altura com volume de 250 cm^3), foi medida com base nos volumes da proveta e de espuma gerada.

CALDAS		ESPUMA (%)			
		0 HAP[2]	2 HAP	6 HAP	24 HAP
T1)	Bv[1]	11,6	24,9	3,9	1,6
T2)	Bv + lecitina (LI)	7,7	6	0	0
T3)	Bv + óleo vegetal (Fi)	30,8	18,7	6	0
T4)	Bv + óleo mineral (As)	17	6	1	1,6
T5)	Bv + organosiliconado (Sil)	13,5	12,5	10	9,7
T6)	Bv + ester metilico de óleo de soja (Au)	15	0	0	1,6
T7)	Bv + sintético não iônico (Fig)	3,9	0	0	0
T8)	Bv + sintético (TA)	9,7	0	0	0
T9)	Bv + óleo vegetal (AgS)	1,9	0	0	0
T10)	Bv + óleo mineral (IG)	0	0	0	0
T11)	Bv + siliconado (BTr)	15	5,8	5,8	5,8
T12)	Bv + proteína fúngica de levedura (AcAg)	21,6	1	1	7.7
T13)	Bv + siliconado (SPr)	0	0	0	0
T14)	Bv + siliconado (Kpu)	5	1	1	1
T15)	Bv + siliconado (WS)	30,9	14,8	15	5,8

T16) Bv + óleo vegetal (LM)	9,7	1	1	1,6

T1 ao T16 = número dos tratamentos. [1]Bv = *Beauveria bassiana*; HAP = horas após o preparado da calda.

A sedimentação foi o segundo fenômeno físico mais recorrente entre as caldas nos intervalos de 2; 6 e 24 horas após a preparação (HAP), inclusive no controle contendo apenas *Beauveria bassiana* (T1), tipo de formulação pó molhável (WP). Tal recorrência sugere uma instabilidade física da calda, possivelmente associada à densidade e à natureza dos componentes da formulação dos produtos. De acordo com Sprankle, Meggitt e Penner (1975), a formação persistente de sedimentos pode indicar a precipitação de ingredientes das formulações dos produtos, comprometendo a homogeneidade da aplicação, além de aumentar o risco de entupimentos e desgaste prematuro dos equipamentos de pulverização. Resultados semelhantes foram observados por Costa e Polanczyk (2019), que relataram precipitação em formulações com bioinseticidas microbianos, especialmente quando combinados com adjuvantes de alta densidade. No caso da presença de sedimentação muita das vezes é ocasionada pela baixa solubilidade dos produtos na água, ou pelas reações com elementos presentes nas formulações dos produtos.

A formação de grumos nas misturas envolvendo Beauveria bassiana (pó molhável) e adjuvantes hidrofóbicos, como óleos vegetais (Fix, LM) e surfactantes não iônicos (Fig, KPu), tornou-se mais evidente após 24 horas de repouso da calda. Essa incompatibilidade está associada às interações desfavoráveis entre os componentes biológicos e os adjuvantes, especialmente quando há diferenças marcantes em suas propriedades químicas, conforme apontado por Petter et al. (2013). Ressalta-se que, segundo a bula do produto, o tempo de repouso não deve exceder 4 horas, justamente para minimizar tais instabilidades físico-químicas e preservar a eficiência da formulação biológica.

A baixa miscibilidade em água de componentes oleosos e a potencial agregação de partículas em suspensão, quando as forças de atração superam as de dispersão, são mecanismos prováveis para a formação desses aglomerados, comprometendo a homogeneidade da calda conforme observado por Silva et al. (2018), que identificou instabilidade em misturas de tanque envolvendo agentes biológicos e adjuvantes com características químicas contrastantes. Neste caso, a presença de grumos e aglomerados tem implicações práticas importantes, pois compromete a uniformidade de deposição da calda no alvo e aumenta o risco de

obstrução dos bicos de pulverização, aumentando o número de paradas do pulverizador no momento da aplicação devido ao entupimento de filtro e bico no circuito hidráulico do pulverizador.

A compatibilidade entre diferentes produtos biológicos e adjuvantes é altamente dependente de fatores como pH, condutividade elétrica, concentração dos ingredientes e tempo de repouso da calda. A formação de grumos foi observada, por exemplo, em misturas com elevadas concentrações ou em situações de incompatibilidade molecular, sendo fundamental a constante agitação da calda antes e durante a aplicação para minimizar esse efeito, com uso de um adjuvante antiespumante para mitigar o efeito (Assunção et al., 2019; Pessoa et al., 2024).

Os resultados relacionados à incompatibilidade de caldas evidenciam não apenas dificuldades operacionais no manejo fitossanitário de grandes culturas, mas também implicações econômicas significativas. Incompatibilidades físico-químicas, como formação excessiva de espuma, sedimentação de partículas e aglomerados (grumos), indicam que parte dos ingredientes ativos está sendo desviada do alvo biológico, comprometendo a eficiência da aplicação e a eficácia no controle das pragas (Cunha et al.,2017; Ribeiro et al., 2021; Spadoni, 2025). Portanto, torna-se imprescindível a realização prévia de testes de compatibilidade, bem como a escolha criteriosa dos produtos, considerando as propriedades físico-químicas dos produtos biológicos envolvidos, a fim de garantir estabilidade da calda e maximizar os resultados agronômicos no controle.

3.2 O pH e condutividade das caldas

Os valores de pH das caldas apresentaram variações entre as caldas no decorrer do tempo ($p < 0,0001$), evidenciando o efeito das associações na reatividade de mistura (Figura 3a).

Dentre os tratamentos testados, a combinação de *Beauveria bassiana* com adjuvante à base de lecitina (LI), um redutor de pH, resultou nos valores mais baixos (≈ 3), independentemente do tempo de repouso. Tal comportamento é esperado, dado que adjuvantes acidificantes são amplamente utilizados para ajustar o pH de caldas

herbicidas, por exemplo, e deve-se ter cautela com algumas formulações microbianas sensíveis à acidez quando o adjuvante possuir tais características. Porque, para *Beauveria bassiana,* esta associação implica em baixa viabilidade fúngica em meio ácido, sua faixa de pH aceitável varia de 8 a 6 conforme relatado por Inglis et al. (2001), Mascarin e Jaronski (2016).

Segundo De Oliveira et al. (2025) o adjuvante a base de lecitina e ácido propiônico diminui a viabilidade do fungo *Cordyceps fumosorosea,* provavelmente pela redução do pH, porém os resultados deram não significativos estatisticamente a viabilidade fúngica ao longo do tempo, o que reflete que pode não interferir do controle. Em resultados obtidos por Dos Santos (2021), adjuvante a base de lecitina é compatível quando usado com *Baccilus thuringiensis* (*Bt*), favorecendo o crescimento e esporulação bacteriana. São resultados que colaboram com o potencial uso desses adjuvantes.

Observou-se ainda uma tendência de queda no pH ao longo do tempo de repouso na maioria das caldas com 24 HAP (Figura 3a), indicando que a interação entre os componentes da mistura se intensifica com o tempo. Esse fenômeno também foi descrito por Cunha e Ruas. (2017), que destacaram a importância do monitoramento contínuo do pH em misturas contendo microrganismos, especialmente sob condições de repouso ou armazenamento temporário. O ideal seria realizar a aplicação logo após o preparo da calda, para o produto biológico formulado testado a bula indica que até 4h é possível mantê-lo em repouso na calda.

A maioria das caldas com adjuvantes e apenas *Beauveria bassiana* manteve os valores de pH entre 6 e 8 evidenciando um caráter de neutro a levemente alcalino e levemente ácido, no período de até 6 HAP. O que mostra que a maioria dos adjuvantes mantém a faixa de pH ideal ou tolerável para *Beauveria bassiana*, sem perder sua viabilidade fúngica.

Os cuidados devem ser tomados com valores acima de pH 8, que podem comprometer a viabilidade dos conídios, conforme relatado por Inglis et al. (2001), Mascarin e Jaronski (2016) também confirmam que pH elevados provocam alterações na parede celular e reduzem a germinação de conídios, o que pode impactar negativamente a eficácia biológica do bioinsumo.

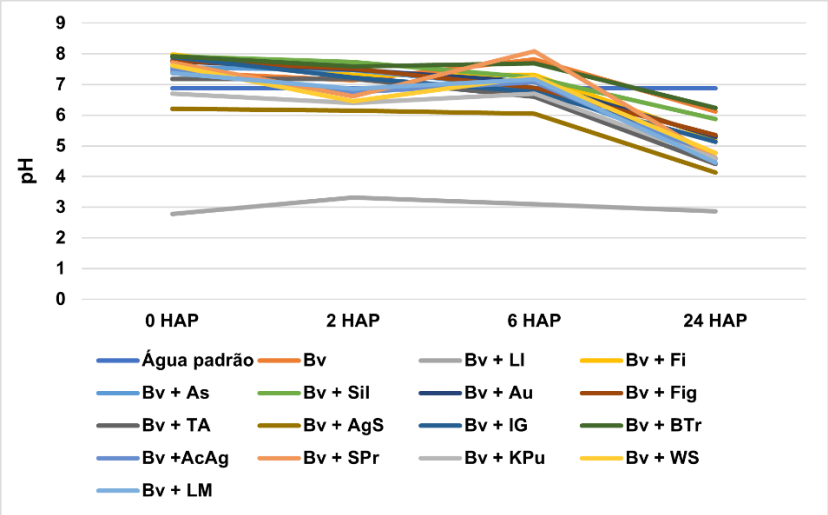


Figura 3a. Resultado apresentado do pH de todos os tratamentos em seus diferentes horários após o preparo (HAP) da calda. Valores obtidos pelo uso de peagâmetro de bancada (Quimis® Q400RS). Bv = Beauveria bassiana; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BPTur = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

Ainda sobre a importância do pH, temos o sistema de sinalização Pal/Rim em *Beauveria bassiana* que desempenha um papel fundamental na adaptação do fungo às variações de pH ambiental, regulando a expressão gênica e influenciando diretamente processos como virulência, morfogênese, produção de enzimas extracelulares e metabolismo. Essa via é composta por sensores de pH (PalH, PalI, PalF) e componentes de transdução de sinal (PalA, PalB, PalC), que culminam na ativação do fator de transcrição PacC. Em condições de pH neutro a alcalino, PacC sofre clivagem proteolítica, tornando-se ativo e transloucando-se para o núcleo, onde ativa genes expressos em pH alcalino e reprime aqueles expressos em pH ácido. Estudos como Li et al. (2015) e Zhang et al. (2023) demonstram que a deleção do gene pacC em *Beauveria bassiana* resulta em crescimento reduzido, alterações na produção de metabólitos secundários e diminuição da virulência, evidenciando a importância dessa via na patogenicidade do fungo.

A membrana plasmática de *Beauveria bassiana* é composta predominantemente por ergosterol, um esterol funcionalmente análogo ao colesterol em células animais, sendo essencial para a fluidez, integridade e funcionalidade da membrana. Além disso, o ergosterol constitui alvo específico de antifúngicos devido à sua exclusividade em fungos (Suchodolski et al., 2019; Litwin et al., 2021). Externamente, a parede celular apresenta uma matriz complexa de polissacarídeos,

destacando-se quitina, β-1,3-glucano, β-1,6-glucano e glicoproteínas, que conferem rigidez estrutural, proteção contra estresses ambientais e desempenham papel central no reconhecimento imunológico pelos hospedeiros (Wawra et al., 2019).

A solubilização dos β-glucanos é fortemente influenciada pelo pH do meio. Em condições alcalinas (pH > 8), ocorre a ruptura das ligações de hidrogênio entre as cadeias, favorecendo sua desorganização e solubilização, especialmente na presença de NaOH e calor. Em contraste, em ambientes ácidos (pH < 5), a hidrólise é menos eficiente, exigindo temperaturas elevadas para ser significativa. Dependendo das condições de pH, temperatura e tempo, o processo pode liberar oligossacarídeos solúveis ou monossacarídeos como a glicose (Wawra et al., 2019).

Durante a infecção de insetos, *Beauveria bassiana* enfrenta variações no pH da hemolinfa do hospedeiro, o que pode alterar a estrutura da parede celular e a exposição de β-glucanos. Essas alterações influenciam a detecção pelo sistema imunológico do hospedeiro, uma vez que fragmentos de β-glucanos atuam como padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs), ativando respostas imunes (Wawra et al., 2019). A compreensão da influência do pH na dinâmica da membrana e parede celular de *Beauveria bassiana* é fundamental para otimizar sua utilização em diferentes contextos.

Considerando essas evidências, é recomendável adotar estratégias de preparo da calda que preservem a estabilidade fúngica. Entre elas, destaca-se a medição prévia do pH da água utilizada na diluição, o ajuste com agentes acidificantes ou tamponantes (como ácido cítrico ou fosfatos), e a adição do bioinsumo como último componente da mistura.

Apesar do pH não ser o principal fator para o crescimento e esporulação das colônias do bioinseticida, potencializa seu modo de ação em condições específicas (Kominek e Halvorson, 1995) por isso, deve-se respeitar as orientações do fabricante quanto ao tempo máximo entre o preparo e a aplicação (geralmente até 4 horas), evitando a exposição prolongada a condições desfavoráveis. Contudo, alguns tratamentos apresentaram resultados de que é possível prolongar o tempo de repouso (até 6 horas para a maioria dos adjuvantes testados, pensando apenas no pH) (Figura 3a).

A grande maioria dos valores de condutividade elétrica (CE) apresentados estão abaixo de 500 µS/cm (Figura 3b), o que mantem a viabilidade fúngica da cepa do produto biológico formulado. A única observação fica para a associação com o

adjuvante a base de óleo vegetal (AgS) com CE de 800 a 1000 µS/cm, sendo este o maior valor apresentado.

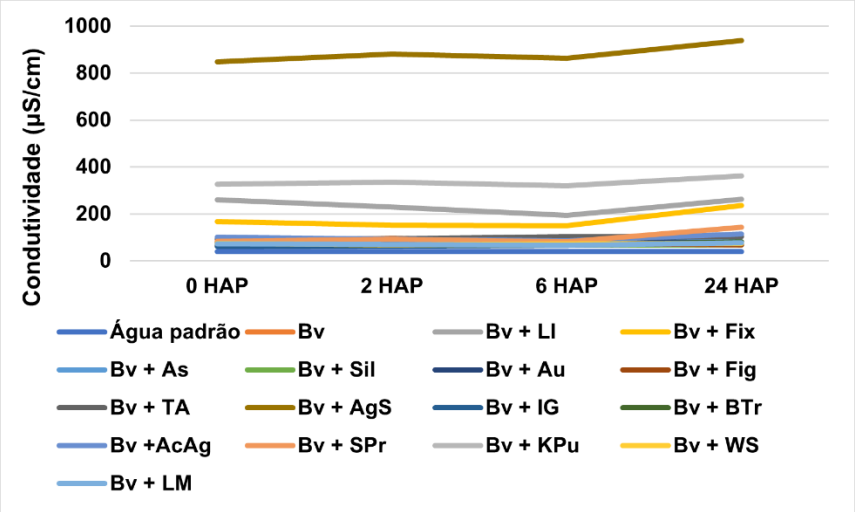


Figura 3b. Valores de condutividade elétrica (CE - µS/cm) para todos os tratamentos em seus diferentes horários de preparo (HAP) da calda. Valores obtidos com uso do condutivímetro digital (MSTECNOPON® INSTRUMENTAÇÃO, mCA-150). Bv = *Beauveria bassiana*; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

A condutividade elétrica (CE) em caldas contendo produtos formulados de *Beauveria bassiana* é importante porque reflete a quantidade de íons dissolvidos na solução, influenciando diretamente a estabilidade da calda, a viabilidade dos conídios e a eficácia biológica do produto. A formação de sedimentação foi observada para grande parte das misturas, o que pode ter interferido nos resultados de condutividade elétrica pela redução da concentração de íons livres na calda de pulverização. A condutividade elétrica da calda influencia diretamente a estabilidade de suspensões contendo *Beauveria bassiana*, uma vez que valores elevados indicam maior concentração de íons dissolvidos capazes de neutralizar as cargas superficiais dos conídios ou blastósporos. Essa neutralização reduz a repulsão eletrostática entre partículas, favorecendo a floculação, a agregação e o aumento da taxa de sedimentação, conforme descrito pela teoria DLVO (Derjaguin e Landau, 1941; Verwey e Overbeek, 1948). A presença de íons, como Ca^{2+} e Mg^{2+}, intensifica esse processo ao formar pontes iônicas entre partículas, comprometendo a

homogeneidade da calda e a eficiência de deposição do fungo (Cunningham e Gilbert, 1987; Xavier et al., 2015).

Várias pesquisas em aplicação de entomopatogênicos indicam que características físico-químicas (incluindo condutividade elétrica/ionicidade) influenciam a estabilidade da suspensão e potencialmente a viabilidade dos conídios em uso prático, assim, alta condutividade elétrica pode estar associada a baixo valor de pH (Mascarin et al., 2015; Fergani e Yehia, 2020). Embora não haja um valor universalmente padronizado para todos os contextos, estudos recomendam que a CE da água utilizada no preparo da calda seja inferior a 500 µS/cm para garantir a estabilidade e a performance do bioinsumo (Fergani e Yehia, 2020).

Em resumo, manter a condutividade elétrica em níveis adequados é essencial para preservar a viabilidade e a eficácia de *Beauveria bassiana* em aplicações agrícolas, garantindo o sucesso do controle biológico.

Sendo que para a estabilidade da calda, altos valores de CE podem indicar excesso de sais ou adjuvantes iônicos, o que pode afetar a dispersão e a suspensão dos conídios, favorecendo a formação de sedimentos e reduzindo a uniformidade da aplicação. Para a viabilidade dos conídios, estudos mostram que a germinação e a viabilidade dos conídios de *Beauveria bassiana* podem ser prejudicadas em ambientes com alta salinidade (alta CE), especialmente quando associada a pH extremos. Isso pode comprometer o controle biológico, pois conídios inviáveis não infectam os insetos-alvo. Para a compatibilidade com adjuvantes: A escolha de adjuvantes e a qualidade da água (baixa salinidade) são essenciais para manter a CE em níveis adequados, evitando efeitos negativos sobre o fungo e garantindo a eficácia do produto. Para o monitoramento e manejo da CE é recomendado como parte do protocolo de preparo da calda, permitindo ajustes preventivos para garantir a estabilidade e a performance do bioinsumo durante a aplicação (Fergani e Yehia, 2020).

3.3 Viscosidade das caldas

A análise da viscosidade das caldas revelou que a maioria dos adjuvantes promoveu redução significativa nos valores, com destaque para LI (lecitina e ácido

propiônico) e Fix (óleo vegetal). Os resultados mostraram diferenças estatisticamente relevantes ($p < 0,0001$), evidenciando que as caldas contendo *Beauveria bassiana* isolado apresentaram viscosidade de 2,22 mPa·s, enquanto a água padrão registrou 0,7 mPa·s. Já as misturas com adjuvantes situaram-se em valores intermediários, mas consistentemente inferiores ao controle biológico, variando entre 1 e 1,5 mPa·s (Figura 4).

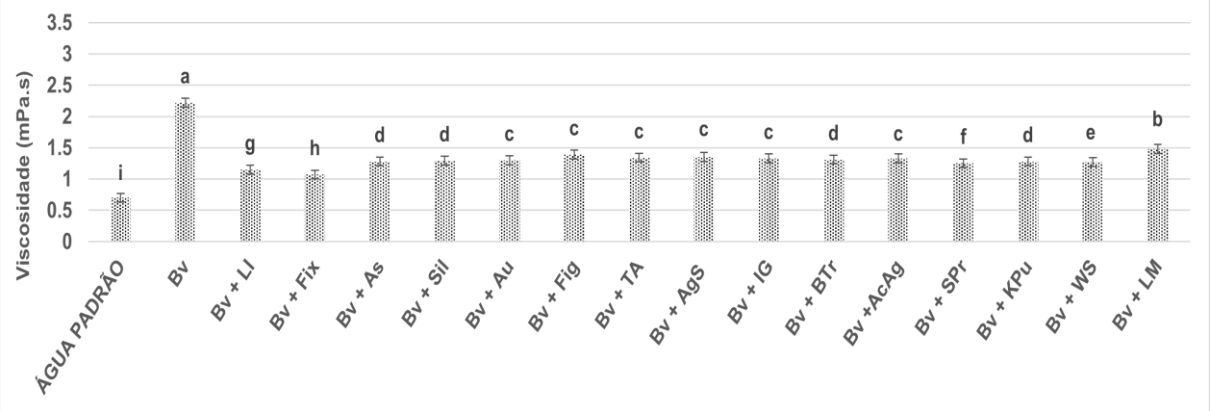


Figura 4. Resultado da viscosidade de calda dos tratamentos. Para a avaliação das caldas, foi utilizado um viscosímetro rotacional (USS – DVT4 Digital Rotary Viscometer). Bv = Beauveria bassiana; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado. Médias acompanhadas de letras minúsculas iguais não representam diferença estatística entre si, segundo teste de Tukey (5%).

Essa redução da viscosidade é um aspecto crucial para a pulverização eletrostática, pois caldas menos viscosas requerem menor energia para serem fragmentadas, favorecendo a formação de gotas finas e uniformes. Esse comportamento é desejável, uma vez que gotas menores apresentam maior capacidade de carregamento elétrico e deposição na face abaxial das folhas, região crítica para o controle da mosca-branca, que oviposita nesse local (Chaim e Wadt, 2015; Pelegrini, 2021). Outros fatores como a escolha da ponta de pulverização e pressão podem interferirem no tamanho de gota, a ponta de pulverização escolhida TXA8002 VK proporciona gotas finas a muito finas, segundo o catálogo do fabricante, variando a pressão de 5 a 20 bar.

Do ponto de vista físico-químico, a diminuição da viscosidade implica em menor resistência ao cisalhamento durante a atomização, o que facilita a quebra do líquido em gotas menores. Essa característica é especialmente relevante em sistemas de pulverização eletrostática, nos quais a eficiência depende da

capacidade das gotas em absorver carga elétrica e serem atraídas ao alvo. Assim, a redução da viscosidade promovida por adjuvantes como LI e Fix e a ponta de pulverização contribui diretamente para a eficácia da aplicação biológica.

Por outro lado, é importante reconhecer que o aumento da viscosidade em determinadas situações pode ser desejável, sobretudo para reduzir a deriva. Caldas mais viscosas requerem maior energia para fragmentação, resultando em gotas maiores e menos voláteis, que apresentam menor suscetibilidade ao transporte pelo vento (Contiero et al., 2018). Essa característica pode ser vantajosa em pulverizações convencionais, mas no contexto da eletrostática, a prioridade é a formação de gotas finas para otimizar a atração ao alvo.

Li et al. (2025) destacam que gotas carregadas de até 170 µm mantêm eficácia sem comprometer a deposição, reduzindo o risco de perdas por deriva. Em contrapartida, gotas de aproximadamente 100 µm são classificadas como altamente suscetíveis à deriva, o que reforça a necessidade de equilíbrio entre viscosidade e espectro de gotas. No presente estudo, as gotas formadas foram classificadas como finas 124 e 151 µm, segundo o diâmetro médio volumétrico (DMV) pela classificação da ASABE (2013) (Figura 8), o que sugere que não houve comprometimento severo da eficiência da aplicação.

Além disso, formulações contendo polímeros ou agentes espessantes podem influenciar diretamente o espectro de gotas formado, modulando o tamanho e a distribuição em função das condições de aplicação. Estudos anteriores (Christofoletti, 1999; Spanoghe et al., 2007; Carvalho et al., 2017; Xu et al., 2021) demonstram que o uso de aditivos pode contribuir para maior uniformidade na deposição e retenção das gotas no alvo, reduzindo perdas por escorrimento ou deriva.

Nesse sentido, a redução da viscosidade observada neste trabalho não deve ser interpretada apenas como um benefício isolado, mas como parte de um equilíbrio dinâmico entre transporte, deposição e retenção da calda. A escolha adequada de adjuvantes e formulações deve considerar tanto a necessidade de formação de gotas finas para pulverização eletrostática quanto a mitigação de riscos associados à deriva e à instabilidade da calda.

Portanto, o equilíbrio da viscosidade é fundamental para garantir a eficácia da pulverização com *Beauveria bassiana* em associação com adjuvantes. A redução promovida por LI e Fix favorece a formação de gotas finas e a deposição na face

abaxial das folhas, otimizando o controle da mosca-branca. Contudo, a manutenção de valores que evitem perdas por deriva e assegurem uniformidade na aplicação é igualmente necessária, reforçando a importância de estratégias de manejo que integrem aspectos físico-químicos e operacionais da pulverização.

3.4 Tensão superficial e ângulo de contato

Os adjuvantes AcAg (proteína fúngica de levedura), os siliconados (WS, KPu e SPr) e o óleo de laranja (LM) demonstraram os melhores resultados em termos de SPAN, tensão superficial e ângulo de contato. A proteína fúngica de levedura, por sua natureza proteica, pode atuar como um surfactante natural e agente de suspensão, promovendo a estabilização das partículas de *Beauveria bassiana* e melhorando a uniformidade das gotas. Os siliconados, conhecidos por sua capacidade superespalhante, e o óleo de laranja, por suas propriedades tensoativas e penetrantes, explicam a redução na tensão superficial e no ângulo de contato, maximizando o molhamento e a cobertura foliar. Essa combinação de propriedades é crucial para a deposição eficaz dos conídios em alvos como a mosca-branca, que se aloja em superfícies de difícil acesso.

Diferenças significativas foram observadas para os resultados apresentados do ângulo de contato e tensão superficial ($p < 0,0001$) em função da adição do adjuvante à mistura (Figura 5).

O tratamento controle (água padrão) apresentou o maior valor para tensão e ângulo de contato. Após o controle, os tratamentos contendo o produto biológico formulado em associação com os adjuvantes a base de óleo vegetal (AgS) e óleo mineral (IG) apresentaram os maiores valores para o ângulo de contato. Para os demais tratamentos houve a redução da tensão e ângulo, principalmente com o adjuvante siliconado (KPu), que apresentou o melhor potencial de espalhamento e interação com a superfície da folha ou o alvo.

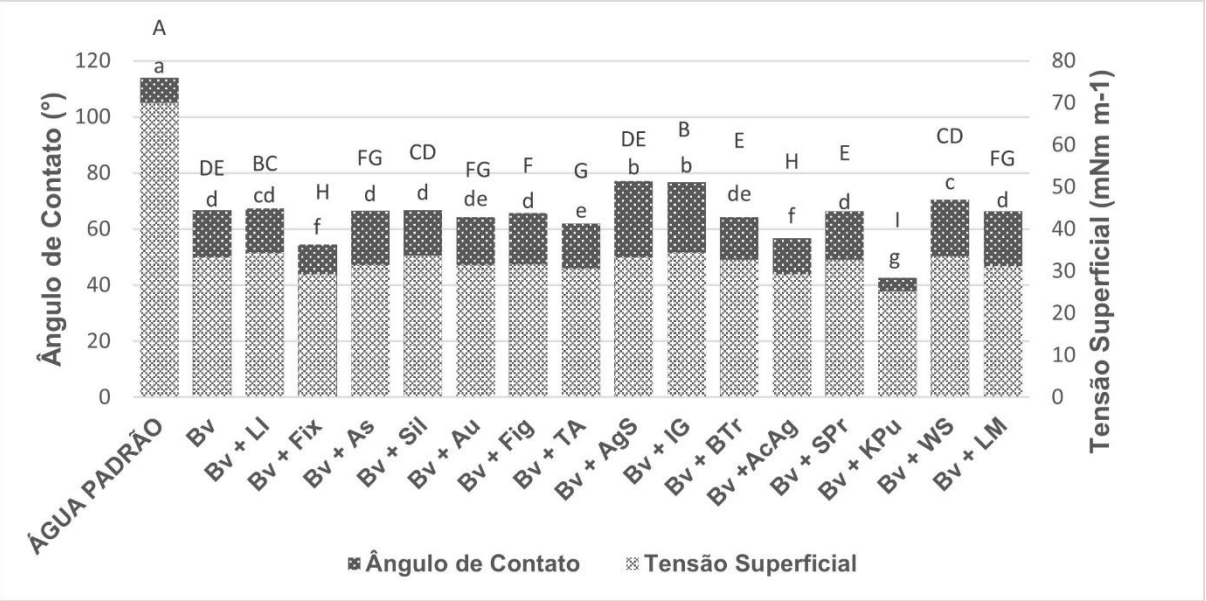


Figura 5. Comparação de médias dos tratamentos com grau de significância de 5%, letras maiúsculas representam tensão superficial e minúsculas o ângulo de contato (valor de $p < 0,0001$). Valores obtidos pelo uso do tensiômetro óptico OCA-15 Plus (Dataphysics®), analisada pelo software ADSA (Axisymmetric Drop Shape Analysis).Bv = *Beauveria bassiana*; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

A tensão superficial e ângulo de contato desempenham um papel importante na eficácia das pulverizações agrícolas, influenciando diretamente o comportamento das caldas fitossanitárias ao entrarem em contato com a superfície foliar. Sabemos que a água é o principal veículo das pulverizações, soluções aquosas puras, apresentam naturalmente alta tensão superficial, como visto no controle, devido às pontes de hidrogênio entre suas moléculas. Essa característica limita a capacidade de molhamento e adesão das gotas, especialmente em folhas com superfícies hidrofóbicas ou recobertas por ceras, dificultando a deposição uniforme dos produtos. Por isso, deve-se quebrar essas pontes de hidrogênio para melhor efeito do recobrimento foliar pelas gotas formadas (Sijs e Bonn, 2020; Meng et al. 2025; Wang et al., 2025).

Para superar essa limitação, é comum a adição de adjuvantes às caldas, que atuam reduzindo a tensão superficial. Essa modificação promove maior espalhamento das gotas, diminui o ângulo de contato e favorece a retenção do biológico na folha, o que potencializa sua ação. (Iost e Raetano, 2010; Decaro Junior e Sergio, 2015), como também apresentado, os adjuvantes reduziram os valores de tensão superficial e ângulo de contato (Yu et al., 2009; Decaro Junior et al., 2014), sendo que os

tratamentos que contém os adjuvantes a base de óleo vegetal (Fix) e siliconado (KPu) apresentam menor valor de tensão superficial e ângulo de contato (Figura 4).

Além disso, a escolha do adjuvante deve ser criteriosa, levando em conta as particularidades da superfície foliar e o tipo de aplicação, já que diferentes formulações podem alterar de forma distinta as propriedades físico-químicas da calda, afetando tanto a deposição quanto o risco de deriva.

Notamos que o uso dos adjuvantes em questão pode favorecer ao maior recobrimento da gota na superfície foliar (Figura 6 e 7), o que pode aumentar as chances de os conídios atingirem ninfas de mosca-branca, podendo promover um controle de maior eficiência por ser um produto de contato, onde os conídios precisam encontrar o tegumento do inseto para iniciar a colonização.

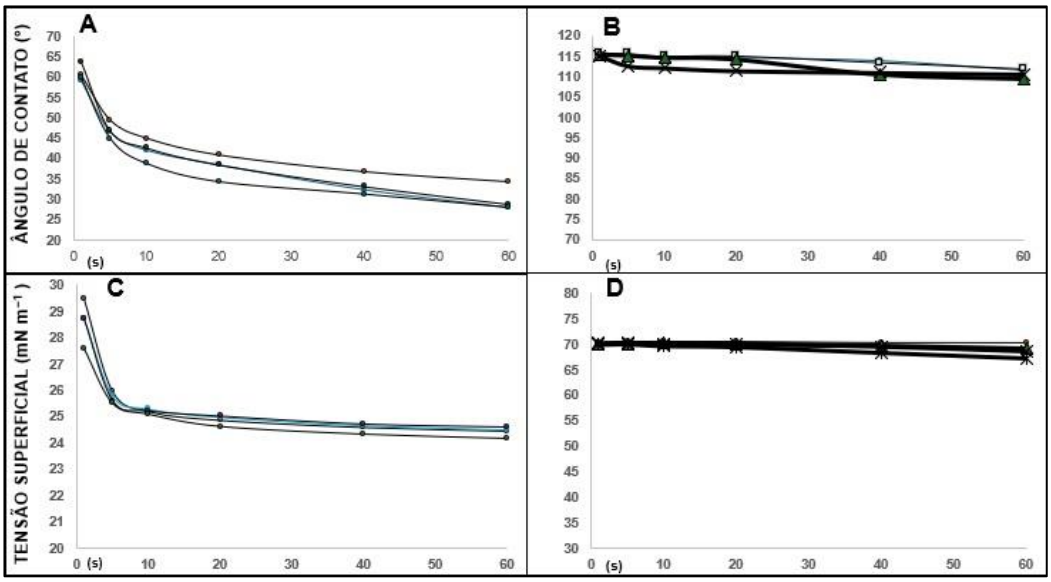


Figura 6. Valores de tensão superficial e ângulo de contato medidos aos 1,5,10,20,40 e 60 segundos, sendo: A e C tratamento contendo *Beauveria bassiana* em associação com adjuvante siliconado (KPu), em comparação com água B e D, sem produtos.

Embora todas as caldas com adjuvantes tenham afetado a tensão superficial e ângulo de contato, essas diferenças foram relativamente pequenas e seguiram um padrão desuniforme de redução dentro dos tratamentos, ou seja, a escolha dos adjuvantes é muito importante para se obter um resultado satisfatório em relação a tensão e ângulo de contato, para isso o ideal seria ter um conhecimento prévio do efeito do adjuvante a ser utilizado (Fessler et al.,2020; Xun et al., 2022; Román et al., 2023).

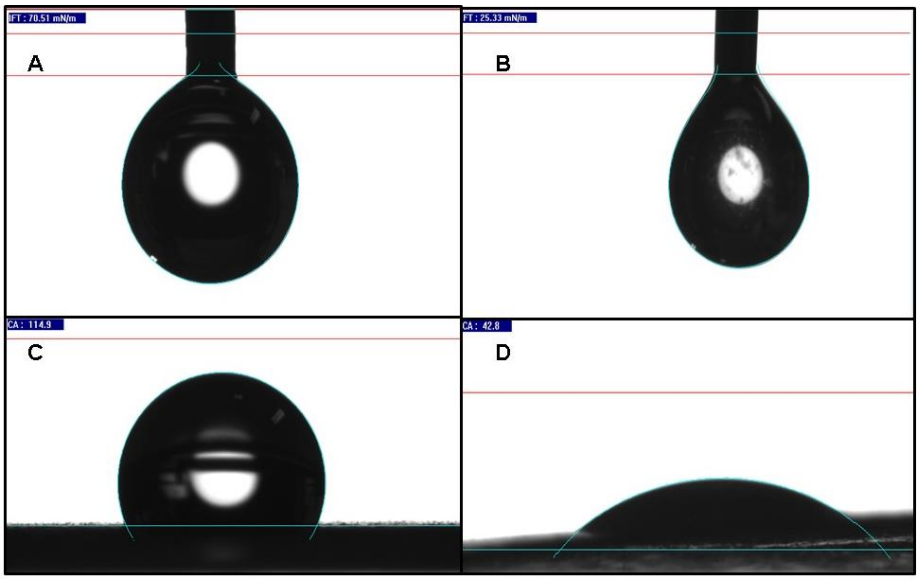


Figura 7. Formato da gota para tensão superficial e ângulo de contato, respectivamente, medidos aos 10 segundos, sendo: B e D tratamento contendo *Beauveria bassiana* em associação com adjuvante siliconado (KPu), em comparação com água A e C, sem produtos. Bordas em negrito representam os valores fornecidos pelo software de 42,8◦ ângulo e 25,22 mN m^{-1} tensão do tratamento, 114,4 ◦ ângulo e 70,51 mN m^{-1} tensão da água.

Portanto, as informações de tensão superficial e ângulo de contato em misturas devem ser consideradas na aplicação, pois dão indícios de que se pode melhorar o depósito e a cobertura das gotas com uso de adjuvantes. Outros fatores como o tamanho das gotas, sua evaporação (especialmente sob altas temperaturas) e a taxa de absorção, no caso de defensivos sistêmicos, são diretamente influenciados por essas propriedades. Assim, a manipulação da tensão superficial e ângulo por meio de adjuvantes representa uma estratégia essencial para melhorar a cobertura, a uniformidade e a eficiência das pulverizações.

3.5 Tamanho de gotas e coeficiente de uniformidade (SPAN).

Para determinação do tamanho de gotas, as avaliações foram conduzidas em laboratório, ambiente controlado em relação a temperatura (28°C), umidade relativa (70%), vento e luminosidade, sem ausência de luz (figura 8).

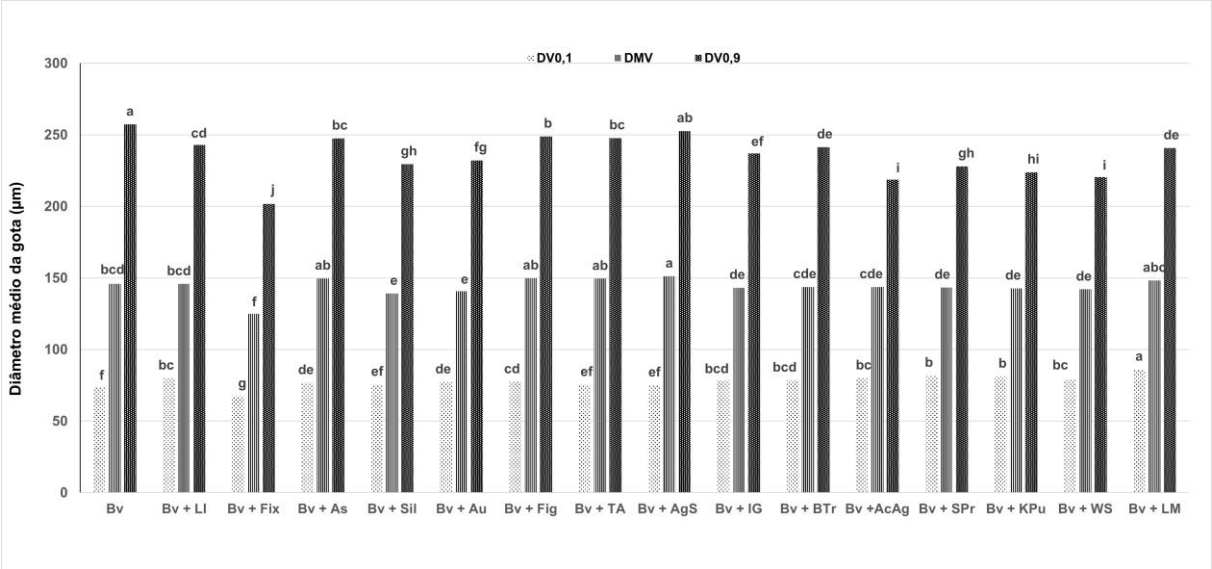


Figura 8. Resultados do tamanho de gotas, diâmetro médio volumétrico (DMV), dos tratamentos o (valor de p < 0,0001) de cada mistura em tanque. Bv = *Beauveria bassiana*; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosilicon ado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado. Médias acompanhadas por letras minúsculas iguais dentro de cada parâmetro de tamanho de gotas (DV 0,9, DMV e DV 0,1) não apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Para DV0,1, os resultados apresentaram em uma faixa de 67 a 86 µm, porém o adjuvante a base de óleo vegetal (Fix) apresentou menor valor para o DV 0,1, o que significa maior redução de gotas finas no espectro de gotas formado. Para o diâmetro mediano volumétrico (DMV ou DV0,5) os valores ficaram entre 124 e 151 µm. Para o DV0,9, os valores ficaram entre 201 e 257 µm. A ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), por meio da norma ASABE S572.1, classifica o tamanho das gotas de pulverização em diferentes categorias com base no Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV ou Dv0,5), que é o diâmetro no qual metade do volume pulverizado por gotas menores e a outra metade por gotas maiores. Analisando os resultados de tamanho de gotas apresentados na avaliação e usados para a classificação, de acordo com a metodologia é possível observar que a aplicação utilizada com a ponta TXA8002VK apresentaram classificação de gota fina para o DMV (ou DV0,5).

Os menores valores de porcentagem de gotas menores que 100 µm (P%<100 µm) foram dos tratamentos contendo os siliconados (WS, SPr e KPu), proteína fúngica de levedura (AcAg) e óleo de laranja (LM) associados ao produto biológico, o que significa menor quantidade de gotas suscetíveis à deriva, uma vez que, gotas menores que 100 µm tem maior facilidade de serem levadas pelo vento, ou evaporadas em altas temperaturas no momento da pulverização, principalmente em aplicação aérea.

O tamanho das gotas geradas na pulverização sofre interferência pela característica físico-química das caldas fitossanitárias (Baio et al., 2015). O tratamento contendo o Bv + óleo vegetal (LM) demonstrou menor porcentagem de gotas sujeitas à deriva (16,63%), se comparado a calda Bv + óleo vegetal (Fix) com maior volume de gotas deriváveis (30,51%). Na comparação houve uma redução do volume de gotas sujeitas à deriva de 13,88 %, o que demonstra o efeito benéfico no uso de alguns adjuvantes (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado da porcentagem de média de gotas menores que 100 µm (P%<100 µm), gotas mais suscetíveis à deriva.

P%<100 µm	
Tratamentos	**Médias (%)**
Bv + Fix	30.51
Bv + Sil	23.83
Bv	23.40
Bv + Au	23.02
Bv + BTr	22.75
Bv + IG	22.17
Bv + AgS	21.43
Bv + TA	21.33
Bv + As	20.81
Bv + Fig	20.80
Bv + LI	20.62
Bv + WS	19.67
Bv + SPr	19.29
Bv + KPu	19.19
Bv +AcAg	18.26
Bv + LM	16.63

Bv = *Beauveria bassiana*; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

É sabido que existe importante interação entre composição da calda e características dos modelos de pontas de pulverização, ora favorecendo o aumento, ora a diminuição no tamanho das gotas, em relação a composição da calda, estudos confirmam que adjuvantes à base de óleo mineral ou vegetal reduzem a porcentagem de gotas muito finas, diminuindo perdas por deriva. O uso de adjuvantes também contribuiu para maior uniformidade do espectro de gotas, o que é desejável para aplicações mais eficientes (Liu et al., 2023; Basílio et al., 2024; Kannan et al., 2024; Silva et al., 2025).

O tamanho de gotas constitui um dos principais fatores que influenciam a eficácia no controle de problemas fitossanitários. Para se alcançar uma aplicação eficiente, recomenda-se que as gotas geradas durante a pulverização apresentem dimensões que possam minimizar perdas por evaporação e deriva, mas também pequenas o bastante para garantir boa cobertura sobre o alvo (Nascimento et al., 2012).

Ainda neste contexto, sabe-se que *Beauveria bassiana* produz conídios elipsoidais medindo aproximadamente 2 a 3 µm de comprimento por 1,5 a 2 µm de largura, dimensões ideais para penetração através da cutícula de insetos, especialmente em regiões entre os segmentos e poros respiratórios (Fargues e Luz, 1997; Rehner e Buckley,2005). Na prática, as gotas de pulverização são compostas principalmente por água, e os esporos estão suspensos (não empacotados). Assim, apenas uma fração pequena do volume da gota contém conídios, normalmente algo entre 5 e 50 esporos por gota de 30 µm de diâmetro, dependendo da concentração da calda (geralmente 10^8 conídios/mL). Isso é suficiente para promover infecção eficaz, pois cada gota depositada no inseto ou ninfa pode liberar múltiplos conídios viáveis (Faria et al., 2012; Mascarin, 2013; Sasaki et al., 2014).

Bicos que produzem exclusivamente gotas homogêneas de 200 µm não são adequados para pulverizações por gotas carregadas, uma vez que, nesse caso, a força gravitacional supera o efeito do carregamento elétrico (Chaim e Wadt, 2015).Para se otimizar o aproveitamento do carregamento elétrico e melhorar a eficiência de deposição, é recomendado que as gotas apresentem diâmetros entre 90 e 170 µm, faixa em que há equilíbrio entre redução de perdas por evaporação e aumento do potencial de deposição (Chaim e Wadt, 2015; Li et al., 2025). Neste estudo, verificou-se que a ponta de pulverização empregada produziu um DMV de gotas com tamanho de 124 e 151 µm, dentro da faixa ideal de tamanho, que apresentam elevado potencial de deposição sob influência de carga elétrica.

Diante disso, recomenda-se que pesquisas futuras explorem configurações que gerem maior proporção de gotas, com o objetivo de analisar de forma mais abrangente tanto a eficiência de cobertura do alvo quanto os riscos de deriva relacionados à aplicação por gotas carregadas, fatores como a tensão superficial e o ângulo de contato da calda exercem influência secundária, visto que a deposição é fortemente direcionada pela carga elétrica presente nas gotas (Cunha et al., 2010 ;Li et al., 2015; Pelegrini, 2021).

As gotas formadas por pontas de pulverização de energia hidráulica apresentam tamanhos diversos, desuniformes e uma porção delas sujeitas à deriva. Assim, quanto mais uniforme forem as gotas, e o tamanho próximo ao preconizado, melhor é o resultado alcançado. Essa amplitude no tamanho de gotas é dada pelo coeficiente de uniformidade (SPAN), valor que representa a distribuição do tamanho das gotas em torno da mediana, sendo que, quando mais próximo de zero (0) mais uniforme é o espectro (Pelegrini, 2021; Siqueira, 2023).

Os valores verificados da avaliação dos tratamentos ficaram entre 1,31 e 0,96. Para este parâmetro, a calda Bv + proteína fúngica de levedura (AcAg) demonstrou maior uniformidade no espectro de gotas formadas. Mas, vale ressaltar que outros adjuvantes também obtiveram bons resultados com associação ao biológico em relação a melhoria da uniformidade das gotas (Figura 9).

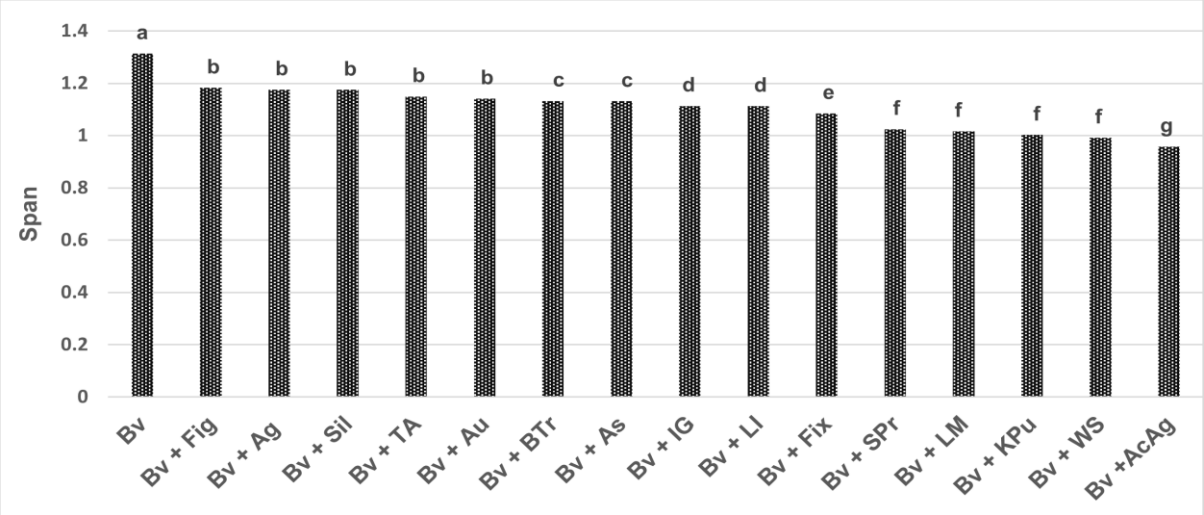


Figura 9. Caracterização das gotas por Span (Coeficiente de Uniformidade) de acordo com o inseticida biológico associado ou não com adjuvantes. Médias acompanhadas por letras minúsculas iguais apresentam diferenças significativas entre si, pelo teste de Tukey (5%). Bv = *Beauveria bassiana*; AcAg = Proteína fúngica de levedura; AgS = óleo vegetal; As = óleo mineral; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fix = óleo vegetal; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LI = lecitina; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

A utilização de adjuvantes, especialmente os de base oleosa, em misturas com *Beauveria bassiana*, promoveram melhorias do diâmetro médio das gotas, redução da fração de gotas finas e maior uniformidade do espectro, contribuindo para menor risco de deriva e maior eficiência de deposição.

4. CONCLUSÃO

O espectro de gotas obtido com as diferentes formulações evidencia que a escolha do adjuvante influencia diretamente os parâmetros de pulverização. Para associações de diferentes adjuvantes com *Beauveria bassiana* a proteína fúngica de levedura (AcAg), siliconados (WS, KPu e SPr) e óleo de laranja (LM) apresentaram a maior padronização do coeficiente de uniformidade (SPAN), aos resultados de menor tensão superficial e ângulo de contato favorecendo ao espalhamento da gota nas folhas, redução na porcentagem de gotas sujeitas à deriva (P%<100 µm), menor viscosidade das caldas proporcionando melhor formação de gotas e faixa de pH e condutividade favorável para manter a viabilidade do fungo entomopatogênico.

5. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) NBR 13074: **Agrotóxicos – preparação de água-padrão para ensaios** Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) NBR 13875: **Agrotóxicos e afins – Avaliação de compatibilidade físico-química** Rio de Janeiro, 12.

Almeida, F.A., Silva, R.F., Costa, L.L., Oliveira, R.P. Compatibilidade física de caldas contendo agentes biológicos e adjuvantes agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** , v.12, p.521-526, 2017.

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers.**Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra.** 2013**.** Standard 5721, St Joseph, MI.

Assunção, H. D., Campos, S. F. B., Sousa, L. A., Lemes, E. M., Zandonadi, C. H. S., Cunha, J. D. **Adjuvants plus phytosanitary products and the effects on the physical-chemical properties of the spray liquids.** p. 1878-1885, 2019

Basílio, S., Furtado Júnior, M.R., De Alvarenga, C.B., Vitória, E.L.D., Vargas, B.C., Privitera, S., Manetto, G. Effect of Adjuvants on Physical–Chemical Properties, Droplet Size, and Drift Reduction Potential. **Agriculture,** v.14, n. 12, p.2271, 2024.

Bortolotto, O.C., Pomari-Fernandes, A., De Freitas Bueno, R.C.O., De Freitas Bueno A., Da Cruz, Y.K., Sanzovo, A., Ferreira, R.B.The use of soybean integrated pest management in Brazil: a review. **Agronomy Science and Biotechnology**, v.1, n.1, p. 25-25, 2015.

Calore, R.A., Ferreira, M.D.C., Rodrigues, N.E., Otuka, A. K. Distribution pattern, surface tension and contact angle of herbicides associated to adjuvants on spraying and control of *Ipomea hederifolia* under rainfall incidence. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 756-768, 2015.

Carvalho, F.K., Antuniassi, U.R., Chechetto, R.G., Mota, A.A.B., de Jesus, M.G., de Carvalho, L. R. Viscosity, surface tension and droplet size of sprays of different formulations of insecticides and fungicides. **Crop Protection**, v. 101, p.19-23, 2017.

Chaim, A.; Wadt, L.G. Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos. **Notícias: produção vegetal**, v. 1, 2015.

Contiero, R.L., Biffe, D.F., Catapan, E.A. Efeito da viscosidade da calda na redução de deriva. **Revista Cultivando o Saber**, v.11, p.95-104, 2018.

Costa, L.L., Polanczyk, R.A. **Tecnologia de aplicação de caldas fitossanitárias.** Jaboticabal: FUNEP, p. 168, 2019.

Cunha, J.P.A.R.D., Alves, G.S., Marques, R.S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.

Cunha, J.P.A.R., Ruas, R.A.A. Tensão superficial dinâmica e espectro de gotas de soluções aquosas com adjuvantes utilizados na agricultura **Engenharia Agrícola,** v. 37, p. 899-907, 2017.

Cunningham, J.E., Gilbert, C.J. The influence of water quality on pesticide performance. *Pesticide Science*, London, v. 19, n. 2, p. 87–95, 1987.

Curkovic, T., Chiffelle, Í., Villar, J., Araya, J.E., Silva G. An agricultural detergent as co-adjuvant for entomopathogenic fungi and chlorpyrifos to control *Pseudococcus viburni* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Florida Entomologist**, v.102, n.1, p.101-106, 2019.

De Oliveira, S.C., Vigna, F.B., da Roza Pacheco, D. Physicochemical interactions and viability of *Cordyceps fumosorosea* associated with adjuvants. **Bioscience Journal,** v.41, n. e41018, p. 1981-3163, 2025.

Decaro Junior, S.T., Lasmar, O., Ferreira, M.C., Campos, H.B.N. Relationship among variables of sprays applied at reduced volumes in a coffee plantatio. **Aspects of Applied Biology**, v.122, p. 415-422, 2014.

Decaro Junior, S.T. **Avaliação de um pulverizador de volume ultrabaixo e de adjuvantes em caldas fitossanitárias na cultura dos citros.** 2015**.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – UNESP, Jaboticabal.

Decaro Junior, S.T., Ferreira, M.C., Lasmar, O. Características físicas de caldas oleosas e de gotas formadas em superfície de folhas de café e de vidro. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 588-600, 2015.

Derjaguin, B. V., Landau, L. D. Theory of the stability of strongly charged lyophobic sols and of the adhesion of strongly charged particles in solutions of electrolytes. **Acta Physicochimica URSS**, Moscou, v. 14, p. 633–662, 1941.

Dos Santos, C.A.M., do Nascimento, J., Gonçalves, K.C., Smaniotto, G., de Freitas Zechin, L., da Costa Ferreira, M., Polanczyk, R.A. Compatibility of Bt biopesticides and adjuvants for *Spodoptera frugiperda* control. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5271, 2021.

EMBRAPA. **Mosca-branca em culturas agrícolas** Brasília, DF, 2021. Embrapa Disponível em: https://wwwembrapabr Acesso em: 31 maio 2025.

Etheridge, R.E., Womac, A.R., Mueller, T. C. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venturi-type drift reduction nozzles. **Weed Technology**, v. 13, n. 4, p. 765-770, 1999.

Fargues, J., Luz, C. Effects of temperature and moisture on germination of *Beauveria bassiana* conidia. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 69, p. 178–184, 1997.

Faria, M., Souza, D.A., Sanches, M.M., Schmidt, F.G.V., Oliveira, C.M., Benito, N.P., Lopes, R.B. Evaluation of key parameters for developing a *Metarhizium rileyi*-based biopesticide against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize:

laboratory, greenhouse, and field trials. **Pest Management Science**, v. 78, n. 3, p. 1146-1154, 2022.

Fergani, Y.A., Yehia, R.S. Isolation, molecular characterization of indigenous *Beauveria bassiana* isolate, using ITS-58 s rDNA region and its efficacy against the greatest wax moth, *Galleria mellonella* L (Lepidoptera: Pyralidae) as a model insect. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, n. 1, p. 96, 2020.

Ferreira, M.D.C., Lasmar, O., Decaro Junior, S.T., Neves, S.S., Azevedo, L.H.D. Qualidade da aplicação de inseticida com e sem adjuvantes em diferentes condições. **Bioscience Journal**, v29, p. 1431-1440, 2013.

Fessler, L., Fulcher, A., Lockwood, D., Wright, W., Zhu, H. Advancing sustainability in tree crop pest management: Refining spray application rate with a laser-guided variable-rate sprayer in apple orchards. **HortScience**, v. 55, n. 9, p. 1522-1530, 2020.

Gazziero, D.L.P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v.33, p. 83-92, 2015.

Griesang, F.; Decaro, R.A.; Dos Santos, C.A.M.; Santos, E.S.; De Lima Roque, N. H.; Da Costa Ferreira, M. How much do adjuvants and nozzle models reduce the spraying drift? **American Journal of Plant Sciences,** v.8, n. 11, p.2785-2795, 2017.

Inglis, G.D., Goettel, M.S., Butt, T.M., Strasser, H. Use of *hyphomycetous fungi* for managing insect pests In: Butt TM, Jackson C, Magan N (Eds). **Fungi as Biocontrol Agents,** Wallingford: CAB International, p.23–69, 2001.

Iost, C.A.R., Raetano, C.G. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactante em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 670-680, 2010.

Kalvnadi, E., Mirmoayedi, A., Alizadeh, M., Pourian, H.R. Sub-lethal concentrations of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* increase fitness costs of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Offspring. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 158, p. 32-42, 2018.

Kalvnadi, M., Alizadeh, M., Pourian, H.R., Mirmoayedi, A. Efficacy of *Beauveria bassiana* against whitefly (*Bemisia tabaci*) on soybea. **Journal of Plant Protection Research**, v. 58, p. 243–250, 2018.

Kannan, N., Martin, D., Srinivasan, R., Zhang, W. Adjuvants for Drone-Based Aerial Chemical Applications to Mitigate Off-Target Drift. **Drones**, v. 8, n. 11, p. 667, 2024.

Kominek, L.A., Halvorson, H.O. Metabolism of poly-β-hydroxybutyrate and acetoin in *Bacillus cereus*. **Journal of Bacteriology**, v. 90, n. 5, p. 1251-1259, 1965.
Lacey, L.A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D.I., Frutos, R., Brownbridge, M., Goettel, M.S. Insect pathogens as biological control agents: back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology,** v. 132, p. 1-41, 2015.

Li, F., Zhang, S., Gao, L., Chen, Y., Liu, Z. Roles of the PacC transcription factor in the insect-pathogenic fungus *Beauveria bassiana.* **Environmental Microbiology Reports** v. 7, p.233–241, 2015.

Li, Y., Li, Q., Hu, J., Liu, C., Zhao, S., Zhang, W., Wang, Y. An Experimental Study on the Charging Effects and Atomization Characteristics of a Two-Stage Induction-Type Electrostatic Spraying System for Aerial Plant Protection. **Agronomy**, v. 15, n. 7, p. 1641, 2025.

Litwin, A., Bernat, P., Nowak, M., Słaba, M., Różalska, S. Lipidomic response of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* to pyrethroids. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 21319, 2021.

Liu, Q., Shan, C., Zhang, H., Song, C., Lan, Y. Evaluation of liquid atomization and spray drift reduction of hydraulic nozzles with four spray adjuvant solutions. **Agriculture,** v. 13, n. 2, p. 236, 2023.

Loeblein, J.S., Alves, L.F.A., Nascimento, C.B., Rode, P.D.A., Almeida, J.E.M.D. Association of adjuvants and *Beauveria bassiana* fungus to control of Paraguay tea ampul. **Ciência Rural**, v. 52, n. 12, p. e20210455, 2022.

Marques, R.P., Almeida, F.A., Silva, R.P. Riscos ocupacionais e ambientais na aplicação de biopesticidas: importância dos EPIs. **Revista de Saúde e Meio Ambiente**, v.16, p. 83-91, 2021.

Mascarin, G.M. Micropulverizador de precisão para aplicação de entomopatógenos. **BioAssay**, v.8, 2013.

Mascarin, G.M., Lopes, R.B., Delalibera, I. Jr. Interactions of entomopathogenic fungi with insecticides and adjuvants: Compatibility and field performance. **Biocontrol Science and Technology**, v.25, p. 533–547, 2015.

Mascarin, G.M., Jaronski, S.T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 11, p. 177, 2016.

Meng, Y., Liu, X., Wu, Q., Chen, W., Chen, W., Zhang, Y., Han, Y. Comprehensive Study on the Effects of Peanut Leaf Characteristics and Tank-Mix Adjuvant on Droplet-Spreading Behavior. **ACS omega**, v. 10, n. 12, p. 11994-12001, 2025.

Miranda, M.P., Scapin, M.D.S., Vizoni, M.C., Zanardi, O.Z., Eduardo, W.I., Volpe, H.X.L. Volumes de pulverização e frequências de aplicações de inseticidas para suprimir populações de *Diaphorina citri* em pomares. **Crop Protection**, v.140, p.105-406, 2021.

Mota, A.S., Alvarenga, C.B., Vieira, B.S., Prado, J.R., Rinaldi, P.C.N., Horácio Júnior, L.F. Effect of phytosanitary spray solution storage time on the viability of *Beauveria bassiana* conidia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. e55513, 2019.

Mwamburi, L.A., Laing, M.D., Miller, R.M. Effect of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana* **Brazilian journal of Microbiology,** v. 46, p.67-74, 2015.

Nascimento, A.B., Oliveira, G.M., Balan, M.G., Higashibara, L.R., Abi Saab, O.J.G. Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de aplicação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 105-116, 2012.

Oliveira, R.P., Rodrigues, A., Souza, M.L., Queiroz, R.C. Compatibilidade de inseticidas utilizados no controle da mosca-branca em soja com *Beauveria bassiana.* **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 88-93, 2018.

Pelegrini, G. **Controle de mosca-branca na cultura da soja com pulverização assistida de ar e gotas carregadas eletricamente.** 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal.

Pessoa, P.H., Silva, H.A., Da Silva, L.L., De Assis, R.B., Neres, N.A., De Almeida, J.C., De Andrade, C.L.L. Chemical characteristics and compatibility of mixtures at different agricultural application rates. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 7, p. 89-114, 2024.

Petter, F.A., Segate, D., Almeida, F.A., Pacheco, L.P. Compatibilidade física de misturas de defensivos agrícolas em tanque com adjuvantes utilizados na cultura da soja. **Revista Ceres**, v.60, p. 758–764, 2013.

Ramos, A.P.M., Costa, J.M., Oliveira, R.P. Avaliação físico-química de caldas com adjuvantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, p.e55247, 2019.

Rehner, S.A., Buckley, E. *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1-α sequences: evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps teleomorphs*. **Mycologia**, v. 97, n. 8, p. 84–98, 2005.

Ribeiro RPM, Costa LL, Leão-Araújo, Érica F, Oliveira A. Compatibilidade físico-química de caldas fungicidas e adjuvantes. **Scientific Electronic Archives**, v.14, p.35–41, 2020.

Román C., Jeon, H., Zhu, H., Ozkan, E., Campos, J. Stereo vision controlled variable rate sprayer for specialty crops: Part III Effect of travel speeds on spray deposition and ground loss. **Journal of the ASABE**, v. 66, p.1469-1479, 2023.

Sasaki, R.S., Teixeir, M.M., Santiago, H., Madureira, R.P., Maciel, C.F.S., Fernandes, H.C. Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v.45, p. 274-279, 2014.

Sijs, R., Bonn, D. The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. **Pest Management Science**, v. 76, n. 10, p. 3487-3494, 2020

Silva, J.G., Oliveira, R.P., Costa, J.M. Interações entre adjuvantes e agentes biológicos em caldas de pulverização agrícola. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.26, p.353–362, 2018.

Silva, C.L.D., Cunha, J.P.A.R.D., Alvarenga, C.B.D., Zampiroli, R. Interface Properties and Droplet Spectra as a Function of Adjuvants and Spray Nozzles. **AgriEngineering,** v. 7, n. 4, p. 116, 2025.

Siqueira, M.T.L. **Associação de adjuvantes a inseticida biológico ou químico e parâmetros da tecnologia de aplicação para controle de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae).**2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal – SP.

Spadoni, A.B.D. **Impacto de adjuvantes na estabilidade físico-química de caldas bioinseticida com fungicida e sua eficácia no controle de Chrysodeixis includens na cultura da soja**. 2025. Tese de doutorado (Entomologia agrícola) - UNESP FCAV, Jaboticabal - SP.

Spanoghe, P., De Schampheleire, M., Van der Meeren, P., Steurbaut, W. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 1, p. 4-16, 2007.

Sprankle, P., Meggitt, W.F., Penner, D. Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. **Weed Science**, v. 23, n.3, p. 229–234, 1975.

Suchodolski, J., Muraszko, J., Bernat, P., Krasowska, A. A crucial role for ergosterol in plasma membrane composition, localisation, and activity of Cdr1p and H^+-ATPase in *Candida albicans*. **Microorganisms**, v.7, n. 10, p. 378, 2019.

Verwey, E.J.W., Overbeek, J.T.G. Theory of the stability of lyophobic colloids. **The Journal of Physical Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 631-636, 1947.

Wang, B., Geng, Z., Pan, B., Jiang, L., Lin, Y. Effect of Vegetable Oil Adjuvant on Wetting, Drift, and Deposition of Pesticide Droplets from UAV Sprayers on Litchi Leaves. **Agronomy,** v. 15, n. 2, p.293, 2025.

Wawra, S., Fesel, P., Widmer, H., Neumann, U., Lahrmann, U., Becker, S., Zuccaro, A. FGB1 and WSC3 are *in planta*-induced β-glucan-binding fungal lectins. **New Phytologist**, v. 222, n. 3, p. 1493-1506, 2019.

Xavier, V. M. et al. Qualidade da água e estabilidade de caldas contendo agentes de controle biológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 760–766, 2015.

Xu, M., Li, X., Riseman, A., Frostad, J. M. Quantifying the effect of extensional rheology on the retention of agricultural sprays. **Physics of Fluids**, v. 33, n. 3, 2021.

Xun L, Garcia-Ruiz F, Fabregas FX, Gil E. Pesticide dose based on canopy characteristics in apple trees: Reducing environmental risk by reducing the amount of

pesticide while maintaining pest and disease control efficacy. **Science of the Total Environment**, v. 826, p.154204, 2022.

Yu, Y., Zhu, H., Ozkan, H. Evaporation of pesticide droplets on surfaces under various relative humidity conditions In: **Pesticide Formulations and Delivery Systems**, 28th Volume: Global Trends and Regulatory Drivers in the Crop Protection Industry ASTM International. v. STP1507-EB, p. 177, 2009.

Zeina, G., Laing, M. Evaluation of fifteen adjuvants for compatibility with *Beauveria bassiana* and their synergistic efficacy against *Rhipicephalus microplus* Ticks. **Acta Tropica**, v. 269, p. 107760, 2025.

Zhang Y, Li S, Liu J, Chen D, Wang C. Functional characterization of the pH-response transcription factor PacC in *Beauveria bassiana* reveals its essential role in virulence and environmental adaptativo. **Journal of Fungi**, v. 9, p.1125, 2023.

CAPÍTULO 3 – PULVERIZAÇÃO COM GOTAS ELETRICAMENTO CARREGADAS E COMPATIBILIDADE BIOQUÍMICA DE CALDAS COMPOSTAS POR *Beauveria bassiana* E ADJUVANTES NO CONTROLE DE *Bemisia tabaci* NA CULTURA DA SOJA

RESUMO – Adjuvantes são de grande relevância em misturas com biológicos, pois promovem a dispersão e homogeneização dos conídios e reduzir perda por deriva. Aumentam a adesão às superfícies vegetais, elevam a umectação e ajudam a proteger o fungo contra estresses ambientais durante e após a aplicação por gotas eletricamente carregadas, que podem aumentar o depósito de gotas na face abaxial das folhas, região de difícil acesso. Assim, o objetivo foi avaliar como a associação do bioinseticida com adjuvantes afeta a eficiência do controle biológico, com equipamento capaz de fazer o carregamento elétrico das gotas com assistência de ar, podendo contribuir para maior penetração das gotas pelo dossel da cultura e proporcionar maior depósito. Pensando na compatibilidade biológica e controle foram avaliados compatibilidade in vitro, cobertura de gotas eletricamente carregadas, depósito de calda do produto biológico e taxa de parasitismo de ninfas de mosca-branca. Portanto, os adjuvantes a base de silicone e óleo vegetal foram os mais indicados para uso com a *Beauveria bassiana* por não comprometerem o crescimento das colônias do fungo, comparado à testemunha sem adjuvantes, e por melhorem a cobertura da face abaxial das folhas, aumentando a probabilidade de atingir as ninfas de *Bemisia tabaci*, para um controle mais eficiente. Para as condições deste experimento o carregamento das gotas e a assistência de ar também colaborou atingir os alvos, podendo ser favorecida com a adequação do tamanho de gotas associada ao ajuste da quantidade de ar visando a proteção em relação à deriva durante as aplicações a campo.

Palavras-chave: Controle biológico; Aplicação por pulverização; Mosca-branca

SPRAYING WITH ELECTRICALLY CHARGED DROPLETS AND BIOCHEMICAL COMPATIBILITY OF SPRAY MIXTURES COMPOSED OF *Beauveria bassiana* AND ADJUVANTS IN THE CONTROL OF *Bemisia tabaci* IN SOYBEAN CULTIVATION.

ABSTRACT – Adjuvants are of considerable importance in mixtures with biologicals, as they promote the dispersion and homogenization of conidia and reduce losses due to drift. They enhance adhesion to plant surfaces, increase wetting, and help protect the fungus against environmental stresses during and after application with electrically charged droplets, which can improve droplet deposition on the abaxial surface of leaves, a region that is typically difficult to reach. Therefore, the objective was to evaluate how the association of the bioinsecticide with adjuvants influences the efficiency of biological control, using equipment capable of electrically charging droplets with air assistance, potentially contributing to greater droplet penetration through the crop canopy and resulting in increased deposition. Considering biological compatibility and control performance, in vitro compatibility, coverage of electrically charged droplets, spray deposit of the biological product, and parasitism rate of whitefly nymphs were assessed. Therefore, silicone-based and vegetable oil-based adjuvants were the most suitable for use with *Beauveria bassiana*, as they did not compromise fungal colony growth compared with the control without adjuvants and improved coverage of the abaxial leaf surface, increasing the likelihood of reaching *Bemisia tabaci* nymphs for more effective control. Under the conditions of this experiment, droplet charging and air assistance also contributed to target coverage, and performance may be further improved by adjusting droplet size and air volume to enhance drift protection during field applications.

Keywords: Biological control; Spray application; Whitefly

1. INTRODUÇÃO

O emprego de bioinseticidas à base de microrganismos faz parte no controle biológico no manejo integrado de pragas (MIP), ao qual destacam-se diversos produtos de origem microbiana que são utilizados no controle de pragas agrícolas. Entre os agentes registrados, os formulados com fungos representam a maioria, totalizando mais de 800 produtos classificados como fungicidas, segundo dados recentes do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2025). As espécies fúngicas mais empregadas no controle de insetos-praga no Brasil, incluem *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea* (antes *Isaria fumosorosea*), *Metarhizium anisopliae*, *Trichoderma harzianum* e *Purpureocillium lilacinum.* Os fungos oferecem vantagens como: possibilidade de formulação para aplicações posteriores; especificidade de alvos; multiplicação no ambiente; facilidade de aplicação; e baixo potencial poluente (Faria e Magalhães, 2021).

Os fungos entomopatogênicos, em especial, têm despertado grande interesse por sua capacidade de infectar e causar mortalidade em diferentes períodos do ciclo de desenvolvimento dos insetos (ovos, larvas, ninfas e adultos) atuando de maneira natural e seletiva (Toju et al., 2016; Fang et al., 2023). Essa eficiência, aliada ao baixo impacto ambiental e à ausência de resíduos químico-sintéticos, torna seu uso compatível com a agricultura integrada. Eles invadem o corpo dos artrópodes predominantemente através do tegumento, composto pela epiderme e cutícula, estruturas que servem de barreira à perda de água e à predação (Chapman, 1998; Gullan e Cranston, 2012). Nesse processo, ocorre a germinação dos conídios sobre o tegumento do inseto, seguida pela penetração mecânica e enzimática e subsequente colonização interna, levando à morte do hospedeiro. Assim, espécies como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria fumosorosea* vêm sendo amplamente estudadas e utilizadas no controle de pragas agrícolas (Mascarin et al., 2019; Dias et al., 2020; Mingotti Dias et al., 2020).

Diferentemente de outros agentes de controle biológico, sua ação não depende só da ingestão pelo hospedeiro. A eficácia desse processo está diretamente relacionada à deposição dos propágulos sobre o corpo do inseto, quanto maior o depósito, mais eficiente o controle. No caso de fungos entomopatogênicos, a produção em substratos sólidos visa à obtenção de conídios aéreos, clamidósporos e

micélio, enquanto cultivos líquidos produzem conídios submersos, blastósporos e microescleródios (Parra et al., 2002).

Os conídios aéreos de *Beauveria bassiana*, caracterizados por sua morfologia ovalada e superfície hidrofóbica, são ricos em hidrofobinas (proteínas associadas à adesão, virulência e impermeabilidade da parede celular) o que confere baixa molhabilidade em água (Zhang et al., 2011). Já os propágulos gerados em meio líquido apresentam natureza mais hidrofílica e, embora adequados à formulação de bioinseticidas líquidos, possuem maior sensibilidade à desidratação, à variação térmica e à radiação ultravioleta, o que reduz sua longevidade quando comparados aos conídios aéreos (Zhang et al., 2011; Conceschi et al., 2024).

Apesar do elevado potencial biológico desses fungos, sua eficiência depende de fatores como as condições físico-químicas da calda de pulverização. Trabalhos de Faria e Wraight (2007) evidenciam elevada eficácia de *Beauveria bassiana* no controle de pragas agrícolas, incluindo mosca-branca (*Bemisia tabaci*), tripes (*Enneothrips enigmaticus*), lagartas do gênero *Spodoptera* e percevejos da soja. Contudo, sob condições de campo, fatores como radiação UV, ventos, baixa umidade e misturas de produtos podem limitar a persistência e a eficiência fúngica. Para mitigar essas limitações, tecnologias recentes têm explorado microencapsulamento, formulações oleosas e uso de adjuvantes, com o objetivo de aumentar a aderência e proteção dos conídios (Smaniotto, 2019; Celestino e Santos, 2022).

A avaliação do crescimento micelial *in vitro* é uma etapa essencial para compreender o comportamento fisiológico de *Beauveria bassiana* frente a adjuvantes, permitindo selecionar isolados mais tolerantes e adaptados a diferentes condições de formulação em misturas. Pesquisas clássicas já destacavam a influência das fontes de carbono e nitrogênio no aumento da biomassa fúngica, para melhor entender as respostas fisiológica do fungo (Zhang et al., 2016; Huarte-Bonnet et al.,2018; Filippou et al.,2021).

A fisiologia de *Beauveria bassiana* pode ser afetada por compostos químicos e condições de estresse, alterando seu metabolismo e capacidade de crescimento. Isso reforça a importância de ensaios laboratoriais controlados para avaliar a tolerância dos isolados e selecionar cepas resistentes ao estresse químico (Hou et al., 2013; Litwin et al., 2023). Além disso, a compatibilidade com adjuvantes e inseticidas deve ser criteriosamente avaliada, uma vez que muitos compostos podem exercer

efeito fungitóxico sobre os conídios, comprometendo sua viabilidade e eficiência (Khun et al., 2021; Spadoni, 2025; Thomas et al., 2025).

Adjuvantes compatíveis desempenham papel estratégico na tecnologia de aplicação de biopesticidas, especialmente ao potencializar a dispersão e a homogeneidade dos propágulos de *Beauveria bassiana* nas caldas, favorecer a aderência às superfícies vegetais e biológicas, ampliar a umectação e conferir proteção adicional aos conídios frente a fatores ambientais adversos durante e após a aplicação (Conceschi et al., 2024).

Além disso, a escolha adequada de adjuvantes contribui para a redução de perdas por deriva, otimizando a deposição e a eficácia do controle biológico. Compreender as interações entre *Beauveria bassiana* e diferentes adjuvantes é fundamental para o desenvolvimento de formulações mais eficientes, assegurando maior persistência e desempenho agronômico no manejo de pragas como a mosca-branca (Loeblein et al., 2022; Holka e Kowalska, 2023; Lin et al., 2023).

Assim, este capítulo objetiva avaliar como a associação do bioinseticida *Beauveria bassiana* com adjuvantes afeta a eficiência do controle biológico, com equipamento capaz de fazer o carregamento elétrico das gotas e com assistência de ar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Após o isolamento da cepa de *Beauveria bassiana* do produto comercial, foram conduzidas as demais avaliações de compatibilidade in vitro em laboratório para selecionar e retirar os tratamentos com efeito de inibição de crescimento do fungo, para obter maior número de propágulos (conídios), discutido nos resultados. Posteriormente, foi realizada pulverização dos tratamentos em mudas de soja em vasos, a fim de avaliar os efeitos dos adjuvantes nas caldas com o biológico na cobertura, depósito e controle de *Bemisia tabaci.*

Tratamentos contendo os adjuvantes LI (Lecitina e ácido propiônico - não iônico); Fix (Óleo vegetal), As (Óleo mineral - não iônico), AcAg (Proteína fúngica de levedura), foram identificados como inibidores completos do crescimento micelial de

Beauveria bassiana e, portanto, foram desconsiderados para as avaliações subsequentes de campo, devido à sua provável fungitoxicidade.

2.1 Isolamento da cepa de *Beauveria bassiana*

Foi realizado o isolamento da *Beauveria bassiana* do produto comercial, processo fundamental para avaliação de crescimento micelial *in vitro*, pois viabiliza culturas puras, geneticamente estáveis e livres de contaminações, permitindo análises de esporulação e tolerância ao estresse químico dos adjuvantes no meio de cultura. A espécie apresenta alta variabilidade genética e fenotípica, o que torna o isolamento essencial para selecionar linhagens com maior potencial de uso com adjuvantes. Assim, a avaliação de isolados bem caracterizados é essencial para o avanço no entendimento do fungo e no desenvolvimento de insumos agrícolas (Ferreira, 2004).

O isolamento da cepa de *Beauveria bassiana* foi realizado a partir do produto comercial Boveril (Koppert). Para isso, foi preparada uma suspensão contendo 0,25 g do produto em 1 mL de água ultrapura estéril, a partir da qual foram realizadas diluições seriadas até 10^{-7}. Todas as diluições foram plaqueadas em meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar), com o auxílio de uma alça de Drigalski. Um isolado com características morfológicas compatíveis com *Beauveria bassiana*, proveniente da diluição 10^{-7}, foi repicado. O isolado purificado foi armazenado em tubo de ensaio contendo BDA recoberto com óleo mineral estéril para posterior utilização nos experimentos. Concomitantemente, o isolado foi submetido à identificação molecular pelo Laboratório de Biologia Molecular Aplicado a Fitossanidade (LBMAF), do Departamento de Fitossanidade, FCAV/UNESP.

A identificação do isolado foi realizada por meio do sequenciamento da região ribossomal ITS1-58S-ITS2, utilizando os oligonucleotídeos iniciadores ITS1/ITS4 (White, 1990). A sequência obtida foi analisada e comparada com aquelas disponíveis no banco de dados GenBank por meio do algoritmo BLASTn, o que permitiu a identificação do isolado, nomeado como LBMAF-B3, como pertencente a *Beauveria bassiana*, com 100% de identidade. A sequência foi depositada no bando de dados do NCBI (https://wwwncbinlmnihgov/nuccore) sob o número de acesso PV657072.

2.2 Teste de compatibilidade *in vitro* em laboratório

Foi utilizado meio de cultura ágar nutriente (Kasvi®) como substrato, preparado com 23,0 gramas do Nutrient Agar® dissolvidos em 1 litro de água destilada, e autoclavado por 40 minutos. Após atingir temperatura de 45°C, ponto em que o meio ainda não solidifica, os meios foram postos em banho maria. Os adjuvantes, descritos na Tabela 1, foram adicionados por pipeta e homogeneizados ao meio de cultura, sendo cada adjuvante um tratamento individual. A seguir, esse meio foi vertido em placas de Petri, totalizando 5 repetições/placas para cada tratamento. O experimento foi composto de 15 combinações de *Beauveria bassiana* (isolado) e adjuvantes e testemunha apenas com *Beauveria bassiana.* Para a testemunha foi utilizado somente Nutrient Agar®.

Tabela 1. Descrição dos produtos utilizados para a composição dos tratamentos, com *Beauveria bassiana* e o fungo com adição de um adjuvante, respectivamente (Fonte: texto de bula, fornecido pelos fabricantes).

Sigla	Produto/Classe	Classificação	Dose (100 L/ha)
Bv	1*Beauveria bassiana (Inseticida biológico)*	*Beauveria bassiana* (pó molhável - WP)	0,5 a1,0 KG
LI	2Adjuvante	Ácido propiônico (não iônico) lecitina	0,5% v/v
Fix	3Adjuvante	Óleo vegetal	200 ml
As	4Adjuvante	Óleo mineral (não iônico)	0,25 a 1,0% v/v
Sil	5Adjuvante	Organosiliconado (trisiloxano etoxilado)	25 a 50 ml
Au	6Adjuvante	Ester metílico de óleo de soja	0,25% v/v
Fig	7Adjuvante	Éter laurílico de polioxietileno (Sintético não iônico)	100 a 125 ml
TA	8Adjuvante	Adjuvante sintético	0,15 L/ ha
AgS	9Adjuvante	Óleo vegetal	50 ml
IG	10Adjuvante	Óleo mineral	0,5 a 1 L
BTr	11Adjuvante	Polimetilsiloxano (siliconado)	0,1% v/v
AcAg	12Adjuvante	Proteína fúngica de levedura	200 a 300 ml
SPr	13Adjuvante	Siliconado	200ml
KPu	14Adjuvante	siliconado	20 a 40 ml
WS	15Adjuvante	Siliconado	20 a 40 ml
LM	16Adjuvante	Óleo vegetal de laranja	20 a 40 ml

Após solidificação do meio contendo os adjuvantes, foi inoculada *Beauveria bassiana* (isolado) repicada anteriormente, com auxílio de um cortador. Para cada placa de Petri adicionou-se um cilindro de 1 cm de diâmetro por 0,5 cm de altura, no centro da placa. Esse cilindro foi posicionado de forma que a superfície contendo *Beauveria bassiana* ficasse diretamente em contado com o meio de cultura. A seguir, as placas inoculadas foram vedadas lateralmente com plástico filme para evitar contaminação, e mantidas em câmaras de germinação (BOD) por um período de 10 dias, nas condições favoráveis ao desenvolvimento do fungo. O fundo de cada placa de Petri foi marcado por dois eixos perpendiculares, de início e fim na bordadura da placa, o ponto de intersecção dos eixos foram centralizados à placa e ao cilindro contendo a *Beauveria bassiana* (ponto inicial de crescimento). Diariamente, após a inoculação, o diâmetro de cada colônia foi medido por um paquímetro digital (IT-BLUE), até que, em pelo menos um isolado, a colônia alcançasse a borda da placa (Figura 1). Com base nesses dados, é calculado o índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), utilizando-se a fórmula descrita por Oliveira (1991).

$$\textbf{IVCM=}\ \sum(\boldsymbol{D}-\boldsymbol{Da})/\ \boldsymbol{N}$$

Onde:

IVCM: Índice de velocidade de crescimento micelial (mm dia^{-1});

D: Diâmetro médio da colônia (mm);

Da: Diâmetro médio da colônia do dia anterior (mm);

N: Número de dias após a repicagem.

A percentagem de inibição do crescimento micelial é calculada pela fórmula de Menten et al. (1976):

$$\textbf{\%Inibição=}\ (\sum(\boldsymbol{Dc}-\boldsymbol{Dtrat})/\ \boldsymbol{Dc})*\mathbf{100}$$

Onde:

%Inibição: Porcentagem de inibição (PI);

Dc: Diâmetro médio do controle (mm);

Dtrat: Diâmetro médio do tratamento (mm);

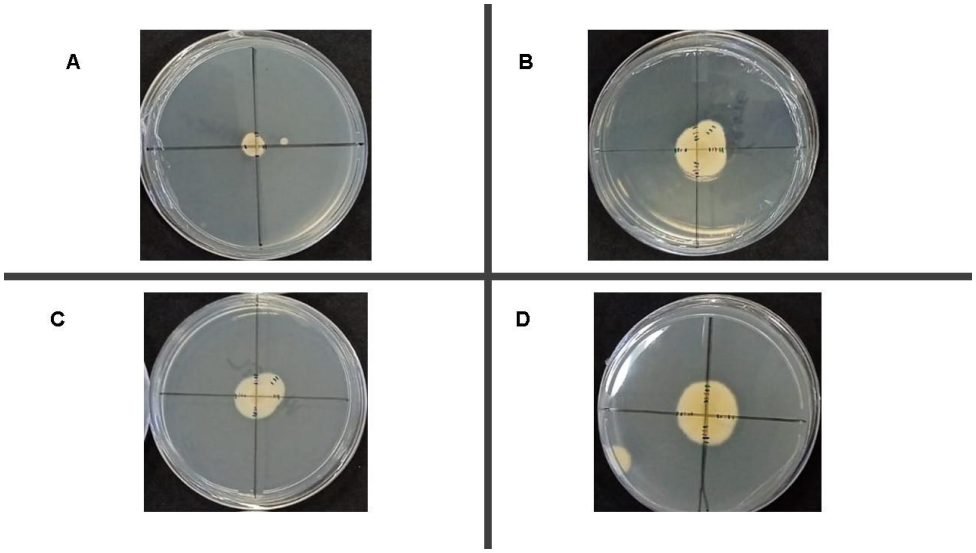


Figura 1. Parâmetros para medição do crescimento colonial do fungo em placa de Petri com uso de paquímetro digital (IT-BLUE), placas com demarcação dos eixos perpendiculares. *Beauveria bassiana* + sintético não iônico Fig (A); *Beauveria bassiana* + siliconado KPu (B); *Beauveria bassiana* + siliconado WS (C); *Beauveria bassiana* + siliconado SPr (D).

2.3 Plantio e manejo das plantas

Os vasos foram alocados primeiramente em casa de vegetação, em 21°14’238” de latitude Sul e 48°17’219” de longitude Oeste, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP.

A semeadura foi realizada no dia 01 de abril de 2025. Foram utilizados vasos de polietileno de 10 L, 12 tratamentos sendo 4 vasos para cada tratamento, total de 96 vasos, preenchidos com substrato utilizado na proporção de 2:1:1, sendo solo, esterco e areia, respectivamente, homogeneizado com uso de betoneira. Profundidade de semeadura 3 cm, sendo três semente por vaso, posteriormente foi feito desbaste para uma plântula por vaso. A semente utilizada foi com tratamento industrial, da cultivar de soja superprecoce TMG 7093 IPRO RR com Bt. Durante o manejo das plantas foi realizada adubação conforme a necessidade da cultura e uma aplicação do fungicida Difere® (Oxíquimica) de acordo com o rótulo do produto. A aplicação de fungicida foi realizada com intuído de proteger a sanidade das plantas de soja, uma vez que dentro da casa de vegetação havia outros cultivos, o período

residual do produto foi respeitado, para que não interferisse nas aplicações e avaliações do agente biológico em estudo.

2.4 Pulverização de gotas carregadas eletricamente

A aplicação foi realizada dia 2 de junho de 2025, simultaneamente, para cada tratamento nos dois experimentos, feita com auxílio do pulverizador costal motorizado equipado com barra com circuito de carregamento elétrico das gotas desenvolvido por Aldemir Chaim da Embrapa Meio Ambiente em Jaguariúna/SP, montado em quadriciclo (Honda® 4x4 Fourtrax Fuel Injection) (Figura 2). A barra contendo uma ponta de pulverização do modelo TXA8002VK (TeeJet ®) em cerâmica, cone vazio, com 80° de abertura de ângulo produzindo gotas finas, foi acoplada ao pulverizador. A barra contém um transformador para alta tensão e um ventilador, alimentados pela bateria de 12 V do quadriciclo. As cargas elétricas geradas pelo transformador para alta tensão carregam um anel indutor de corrente elétrica, acoplado ao redor da ponta de pulverização (eletrodo de indução). As gotas ao atravessarem o campo elétrico na região envolvida pelo anel são eletricamente carregadas pelo efeito chamado de “Efeito Corona” ou “Bombardeio de Elétrons”, enquanto o ar deslocado pelo ventilador visa direcionar as gotas para o dossel da cultura. A calda foi preparada com adição do produto biológico seguido dos adjuvantes em garrafas plásticas de 2L, na dose recomendada pelos fabricantes dos fabricantes dos produtos. O tanque do pulverizador foi higienizado antes das aplicações. As caldas foram preparadas previamente considerando um volume de 100 L/há, velocidade de 10 km/h e pressão de trabalho em 3 bar ou 43,5 psi. As condições meteorológicas foram monitoradas por termo-higrômetro e anemômetro digital (Tabela2).

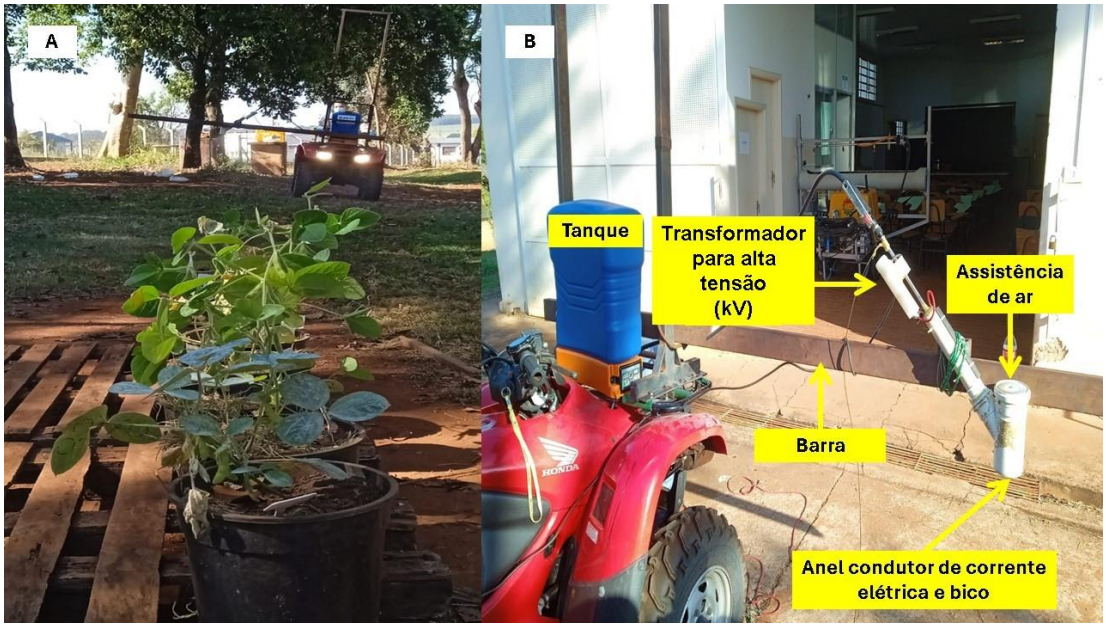


Figura 2. Aplicação realizada com pulverizador costal motorizado com assistência de ar e gotas carregadas eletricamente (A), componentes do pulverizador (B).

Tabela 2. Condições meteorológicas no momento da aplicação realizada com gotas eletricamente carregadas sobre assistência de ar. [1]DAE = dias após emergência da cultura; [2]Tem = temperatura; [3]UR = umidade relativa; [4]Vento =velocidade do vento [5]Bv = *Beauveria bassiana*; [7]AgS = óleo vegetal; [12]BTr = siliconado; [11]IG = óleo mineral; [8]Kpu= siliconado; [6]LM = óleo de laranja; [9]Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; [10]TA= sintético;[13]WS=siliconado.

[1]DAE	TRATAMENTOS	[2]TEM (ºC)	[3]UR (%)	[4]VENTO (KM/h)
60	Água	26,4	51	3,2
	[5]Bv	23,8	61	3,7
	Bv + [6]LM	23,8	63	2,3
	Bv + [7]AgS	23,9	63	2,3
	Bv + [8]KPu	24,4	63	2,6
	Bv + [9]Sil	24,3	64	2,6
	Bv + [10]TA	24,5	64	1,2
	Bv + [11]IG	24,8	64	5,4
	Bv + [12]BTr	25,1	64	2,5
	Bv + [13]WS	25,3	64	1,9
	Bv + [14]SPr	25,1	64	7,6

2.5 Avaliação de cobertura

Foram utilizados papeis hidrossensíveis (3cm x 3cm) para determinação da cobertura de caldas sobre as plantas de soja, sendo duas plantas por tratamento, esses papéis foram distribuídos no terço médio das plantas, nas faces adaxial e abaxial das folhas. Tais regiões foram selecionadas pelo fato de a mosca-branca ter maior incidência nessas áreas das plantas. Após as pulverizações, os cartões de papel hidrossensível foram recolhidos sendo retirados imediatamente após a secagem da calda pulverizada e colocados em sacos de papel para não entrar em contato com umidade externa. Logo após as aplicações, os papéis hidrossensíveis foram levados ao laboratório para serem digitalizados por escâner de mesa, para a quantificação do percentual de área coberta pelas gotas em relação a área total do papel hidrossensível, em software Gotas (Chaim et al., 2006).

2.6 Avaliação de depósito do produto biológico

Para a contagem dos conídios foram coletadas duas folhas por planta de cada tratamento, após a pulverização, e retirada uma amostra circular de 1 cm de diâmetro, de cada folha. A pulverização foi realizada com o ponto de coleta sempre alinhado ao centro da faixa aplicada pelo bico de pulverização. É sabido que a quantidade de produto que atinge a superfície das folhas é muito dependente da posição em que a folha está inserida na planta, considerando a arquitetura da planta, inclinação da folha, por isso as folhas escolhidas seguiam o mesmo padrão com a face adaxial volta para cima.

O material coletado foi transferido para tubos Falcon® com 10 mL de água estéril. Essa suspensão foi homogeneizada com auxílio de um agitador (Phoenix® Modelo AP56) por 60 segundos e foram retirados para contagem dos esporos em câmara de Neubauer em microscópio ótico Zeiss® (Alves e Moraes, 1998).

2.7 Avaliação da taxa de parasitismo em ninfas de mosca-branca (*Bemisia tabaci)*

No início do mês de maio de 2025 os vasos foram remanejados para a área externa da casa de vegetação, preenchidos com substrato e cobertos com palhada (cobertura vegetal) em todos os vasos e alocados sobre pallets. No dia 14 de maio de 2025 foi coletado mosca branca no setor de Horticultura do campus da Unesp-FCAV em 21°14'37" de latitude Sul e 48°17'09,7" de longitude Oeste, na cultura da batata produzida em casa de vegetação, foram coletadas folhas infestadas com ovos, ninfas e adultos em ramos infestados, então iniciou-se a infestação das plantas de soja. Para cada planta foi demarcado um círculo da folha de 2,5 cm de diâmetro, em quatro folhas diferentes para cada repetição, o número de ninfas, de cada círculo foi contabilizado com uso de uma lupa de bolso.

Para controle de mosca branca foi realizada uma aplicação nos dois experimentos, nos mesmos estádios fenológicos da cultura da soja. A primeira aplicação foi realizada no estádio R1, 60 e 53 dias após a emergência para ambos, respectivamente, devido ao nível de ação sugerido para o manejo de mosca branca ser de 10 ninfas por folíolo (Bortolotto et al., 2015).

Para análise estatística desta avaliação utilizou-se a fórmula de Henderson e Tilton (1955) para calcular a eficácia corrigida (%) dos tratamentos, levando em conta as variações médias naturais nas populações de ninfas (n) do controle (Co) e do tratamento (T), antes e depois da aplicação:

$$\textbf{Eficácia corrigida (\%)} = \left(1 - \frac{\textbf{n Co antes x n T depois}}{\textbf{n Co depois x n T antes}}\right) \textbf{x 100}$$

2.8 Análise estatística dos resultados

Os dados não apresentaram normalidade e foram submetidos ao teste de Kruskal–Wallis para comparação das medianas entre grupos (Kruskal e Wallis, 1952), seguido do teste de Dunn (1964) para comparações múltiplas a um nível de significância de 5%. Os valores de significância foram ajustados para controle do erro tipo I em comparações múltiplas (Hérve, 2007). O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC). Para a análise estatística, foi utilizado o software Rscript (R Core Team, 2025).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Isolamento e compatibilidade *in vitro* em laboratório

Após a inoculação da cepa já isolada e repicada nas placas de petri contendo o meio de cultura BDA, o diâmetro de cada colônia foi medido, diariamente, com base nesses dados foi calculado o índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) (Figura 3a), utilizando-se a fórmula descrita por Oliveira (1991).

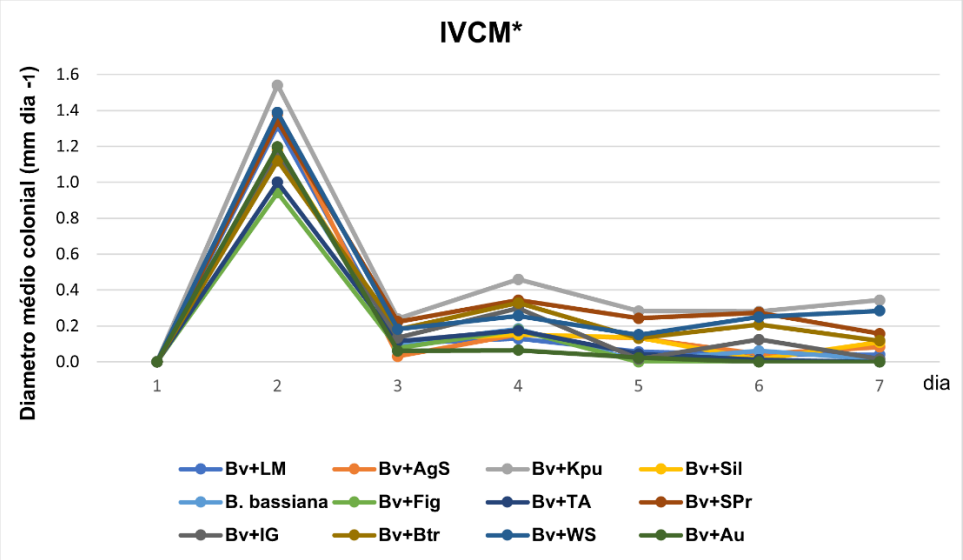


Figura 3a. Resultados apresentados da comparação de média do Indice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) por tratamento pelo teste de Kruskal–Wallis, medido por 7 (sete) dias consecutivos com uso de um paquímetro digital.*=Índice de velocidade de crescimento micelial; Bv = *Beauveria bassiana*; AgS = óleo vegetal; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fig = sintético

não iônico; IG = óleo mineral; Kpu = siliconado; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

Houve alguns tratamentos que inibiram completamente o crescimento do fungo, contendo os adjuvantes LI (Lecitina e ácido propiônico - não iônico); Fix (Óleo vegetal), As (Óleo mineral - não iônico), AcAg (Proteína fúngica de levedura) por isso, foram desconsiderados para esta avaliação e para a sequência da pesquisa como tratamentos para a aplicação em conjunto com o fungo. Demonstraram 100% de inibição do crescimento micelial (PI muito alta, conforme Tabela 4), são considerados incompatíveis com a cepa de Beauveria bassiana testada, indicando sua não recomendação para mistura em tanque. Por outro lado, a maioria dos adjuvantes testados exibiu PI muito baixa (<20%), com destaque para os siliconados (KPu, Spr, WS), que inclusive apresentaram IVCM superior ao controle.

O IVCM mede o crescimento relativo do fungo, valores altos indicam pouco efeito na inibição do tratamento no crescimento do fungo. Neste caso, nos resultados apresentados a maioria dos adjuvantes resultaram num crescimento próximo ao controle, demonstrando um efeito praticamente nulo dos adjuvantes sobre o crescimento micelial da cepa de *Beauveria bassiana*, ou seja, com inibição muito baixa sobre o crescimento da cepa no meio de cultura BDA, alguns promoveram maior IVCM em relação ao controle.

Destaca-se o segundo dia de avaliação, quando a cepa (isolado) apresentou um pico de crescimento em todos os tratamentos, com maiores resultados para as caldas contendo os adjuvantes siliconados (KPu, SPr e WS), superiores ao controle *Beauveria bassiana* (isolada), respectivamente, sugerindo um efeito aditivo ou protetor. O pico para os tratamentos sugere que a germinação e a extensão apical ocorreram rapidamente nas primeiras 48 h, fase de crescimento. Essa resposta inicial rápida é positiva, pensando em uma calda que será aplicada logo após o preparo, uma vez que indica alta taxa de germinação e colonização micelial, características desejáveis para formulações de bioinseticidas, nas quais a velocidade de infecção do hospedeiro é um fator determinante para o sucesso do controle biológico (Mascarin et al., 2019).

Os adjuvantes de base oleosa. Contudo, os óleos compatíveis e em doses adequadas podem proteger os conídios contra estresses ambientais e melhorar a adesão ao alvo biológico, contribuindo para uma maior eficiência do controle

microbiano. Segundo Lima et al. (2020) e Lopes et al. (2020) pode melhorar a molhabilidade e a dispersão de conídios, favorecendo a adesão às superfícies vegetais e cuticulares dos insetos, sem comprometer a viabilidade fúngica quando usado em concentração adequada, lembrando que, o fator concentração é importante para não perder a viabilidade fúngica quando utilizado de forma correta, a exemplo dos adjuvantes de base oleosa .Contudo, os óleos compatíveis e em doses adequadas podem proteger os conídios contra estresses ambientais e melhorar a adesão ao alvo biológico, contribuindo para uma maior eficiência do controle microbiano.

Segundo estudos de Liu et al. (2015); Swathi et al. (2018), Holka e Kowalska (2023), a redução/estabilização nos dias subsequentes provavelmente resulta da combinação de limitação local de nutrientes na placa, mudança de prioridades metabólicas e efeitos retardados (possivelmente tóxicos) de alguns adjuvantes que se manifestam após contato prolongado. Porém, a *Beauveria bassiana* apresenta maior IVCM no sétimo dia quando associada aos adjuvantes, os demais tratamentos apresentaram IVCM final próximo ao controle. Isso demonstra que esse comportamento do IVCM é consistente com a capacidade adaptativa de *Beauveria bassiana*, que responde a variações químicas do meio por meio da ativação de vias de sinalização celular associadas ao estresse osmótico e de pH, como a via Pal/Rim (Ortiz-Urquiza e Keyhani, 2016). Assim, a redução da taxa de crescimento micelial após o segundo dia pode ser interpretada não como inibição letal, mas como uma resposta metabólica de adaptação frente à presença de adjuvantes na calda.

Resultados semelhantes foram relatados por Mwamburi et al. (2015), que observaram a manutenção da viabilidade e do crescimento micelial de *Beauveria bassiana* em misturas contendo surfactantes não iônicos, destacando que a resposta pode variar conforme o isolado e a concentração do adjuvante. Os autores também ressaltaram que o equilíbrio entre molhabilidade e toxicidade química é fundamental para garantir que os adjuvantes potencializem a eficiência de controle sem comprometer o desempenho microbiológico, já que concentrações elevadas de certos surfactantes podem inibir o crescimento micelial e a germinação dos conídios.

De modo semelhante, Melo et al. (2020) demonstraram que a escolha adequada de surfactantes pode promover melhor dispersão e viabilidade dos propágulos fúngicos, sem afetar negativamente o índice de velocidade de crescimento microbiano (IVCM) de *Beauveria bassiana* em formulações (Melo et al., 2020). Assim,

os dados de IVCM reforçam que *Beauveria bassiana* mantém compatibilidade fisiológica e estabilidade de crescimento quando exposta a adjuvantes compatíveis, sendo essencial avaliar cada combinação para garantir a eficiência do controle biológico (Melo et al., 2020; Mwamburi et al.,2015).

A avaliação do crescimento micelial de *Beauveria bassiana* em meio sólido, realizada em placas de Petri com eixos perpendiculares (Figura 3b), permitiu mensurar com precisão o avanço radial do fungo ao longo de sete dias. Essa metodologia, além de prática, oferece uma abordagem quantitativa eficaz para comparar o desempenho micelial sob diferentes condições de cultivo (Mwamburi et al., 2015; Swathi et al., 2018).

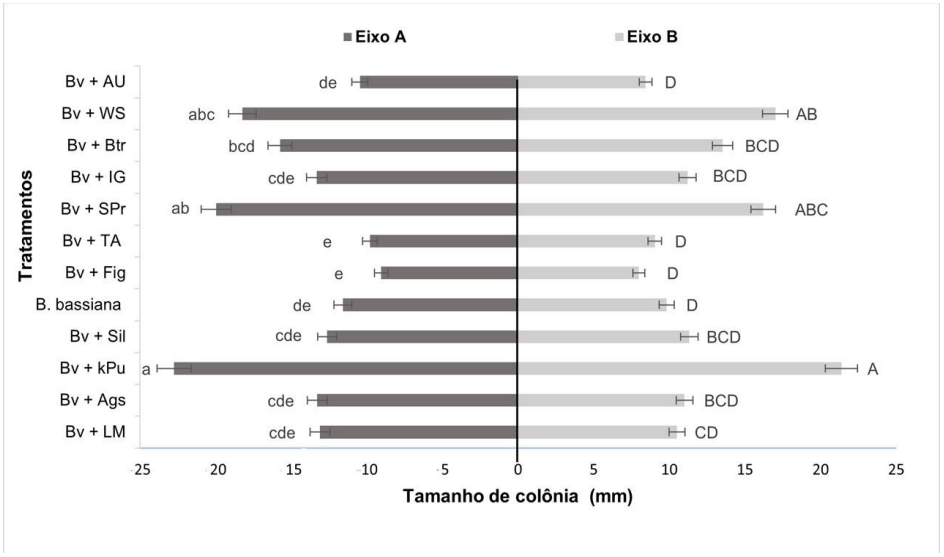


Figura 3b. Resultados da comparação de médias do crescimento micelial (mm/dia) nos diferentes eixos de medição, referente ao sétimo (7º) dia de avaliação conduzida em laboratório com uso de placas de Petri e medições realizadas por paquímetro digital. Nível de significância de 5%. Letras minúsculas: comparação do crescimento por tratamento no eixo A (vertical) das placas de Petri; Letras maiúsculas: comparação do crescimento por tratamento no eixo B (horizontal) das placas de Petri Bv = *Beauveria bassiana*; AgS = óleo vegetal; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; Kpu = siliconado; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

O tratamento controle (*Beauveria bassiana* sem adjuvantes) apresentou crescimento intermediário, servindo como referência para avaliar o impacto dos adjuvantes. A comparação direta com os demais tratamentos evidencia que alguns adjuvantes realmente modificam o comportamento fisiológico do fungo. Os resultados demonstram que a adição de adjuvantes ao meio de cultivo influenciou o crescimento da cepa. Os tratamentos com Bv em associação com os siliconados (KPu, WS e SPr) apresentaram os maiores índices de crescimento nos dois eixos perpendiculares de

crescimento, indicando que esses adjuvantes podem atuar como estimuladores do metabolismo fúngico, pois apresentaram efeito aditivo no IVCM da cepa.

Além disso, os adjuvantes siliconados que promoveram maior crescimento podem estar contribuindo com nutrientes adicionais, modulando o pH ou favorecendo a expressão de genes relacionados à expansão micelial (Jadhav e Patil, 2016; Huarte-Bonnet et al., 2018; Melo et al., 2020).

Tratamentos como Bv + sintético (TA) e Bv + sintético não iônico (Fig) apresentaram crescimento reduzido, com valores menores que o controle em um dos eixos, sugerindo possível efeito inibitório. Isso pode estar relacionado à presença de compostos antagônicos ou à interferência na absorção de nutrientes essenciais (Mwamburi et al., 2015; Swathi et al., 2018; Oliveira et al., 2024).

A variação observada entre os eixos A e B indica assimetria no crescimento micelial, possivelmente influenciada por fatores como difusão desigual dos adjuvantes no meio, alterações na morfologia das hifas, Interações físico-químicas entre o meio e os compostos adicionados (Huarte-Bonnet et al., 2018).

Contudo, estudos complementares são recomendados para avaliar a esporulação e viabilidade dos conídios sob os mesmos tratamentos, investigar os mecanismos moleculares envolvidos na resposta fúngica aos adjuvantes e testar os efeitos em condições de campo, simulando ambientes agrícolas reais (Jadhav e Patil, 2016; Huarte-Bonnet et al., 2018; Melo et al., 2020).

A porcentagem de inibição (PI) expressa a redução no crescimento micelial do fungo (Figura 4 e Tabela 4), no caso dos adjuvantes testados o que teve maior inibição foi o sintético não iônico (Fig) entre 20% e 40%, sendo classificado com baixa eficácia isolada com pouca redução no crescimento. Os demais tratamentos apresentaram crescimento próximo ao controle, praticamente sem inibição.

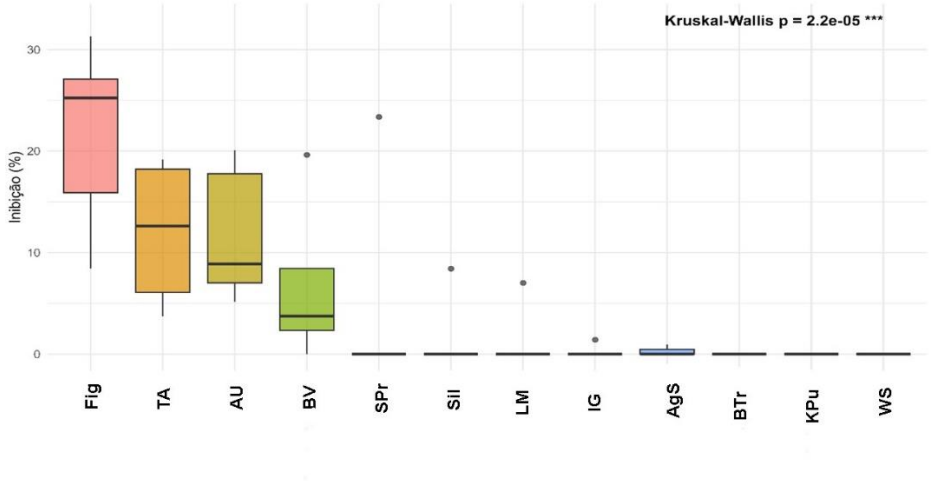


Figura 4. Resultados obtidos da porcentagem de inibição (PI) por tratamento contendo *Beauveria bassiana* em associação com diferentes adjuvantes Avaliação realizada em laboratório com uso de placa de petri para medição do crescimento colonial. BV = *Beauveria bassiana*; AgS = óleo vegetal; Au = óleo de soja; BTr = siliconado; Fig = sintético não iônico; IG = óleo mineral; Kpu = siliconado; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

Tabela 4. Interpretação da percentagem de inibição (PI) e do índice de crescimento micelial (IVCM) em ensaios com fungos fitopatogênicos

Faixa de PI (%)	Interpretação da Inibição	Relação com IVCM	Significado Biológico
> 80%	Inibição muito alta	IVCM muito baixo	Crescimento fúngico quase suprimido
60–80%	Inibição alta	IVCM baixo	Crescimento fúngico bastante reduzido
40–60%	Inibição moderada	IVCM intermediário	Efeito fungitóxico moderado; pode ser útil em associação com outros métodos de controle
20–40%	Inibição baixa	IVCM alto	Pouca redução no crescimento; produto com baixa eficácia isolada
< 20%	Inibição muito baixa	IVCM muito alto	Crescimento próximo ao controle; tratamento praticamente sem inibição

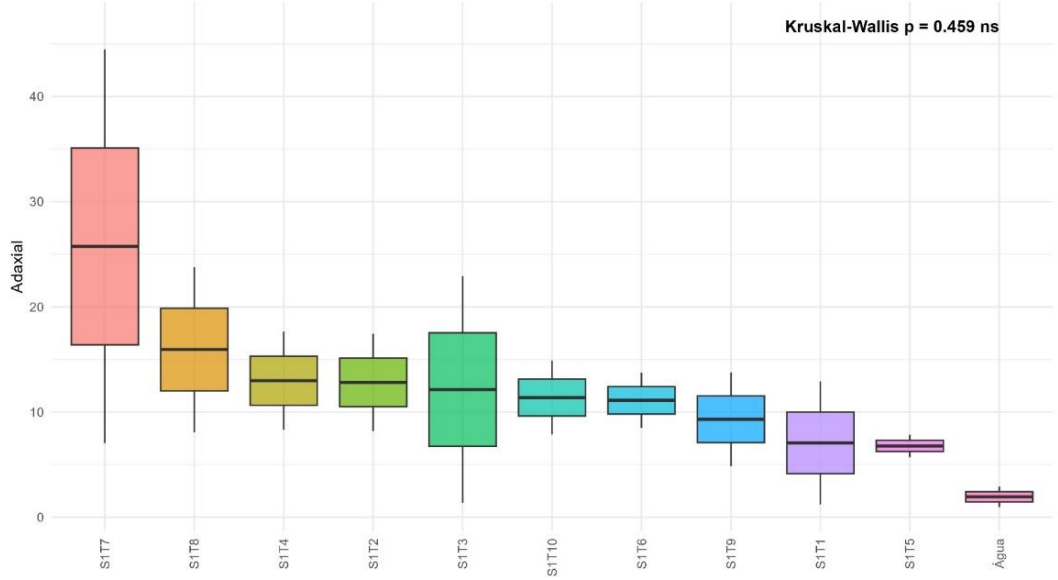
Fonte: Adaptado de Menten et al (1976).

Algumas análises moleculares revelaram alta variabilidade genética entre isolados provenientes de regiões como América, Ásia e Europa. Essa diversidade é fundamental no contexto agrícola, porque permite a seleção de cepas mais eficazes

contra pragas específicas, maior resistência ao uso em misturas (compatibilidade), além de garantir maior adaptabilidade a condições ambientais distintas (Sibao et al., 2005; Fernandes et al., 2009). Contudo, também indica a necessidade de monitoramento das cepas liberadas no campo, dada à necessidade de conhecer melhor as potencialidades que o fungo oferece para o controle biológico.

3.2 Cobertura da pulverização de gotas carregadas eletricamente

A avaliação da deposição de calda em papéis hidrossensíveis, dispostos no terço médio das plantas, local onde as ninfas tendem a se concentrar, possibilitou verificar o padrão de cobertura nas faces adaxial (superior) e abaxial (inferior) das folhas, sob aplicação com pulverizador eletrostático com assistência de ar. Houve variação entre os tratamentos com adjuvantes. Porém pelo teste de Kruskal-Wallis sem diferenças significativas na cobertura, tanto na face superior (p = 0,459) quanto na face inferior (p = 0,459) (Figuras 5a e 5b).



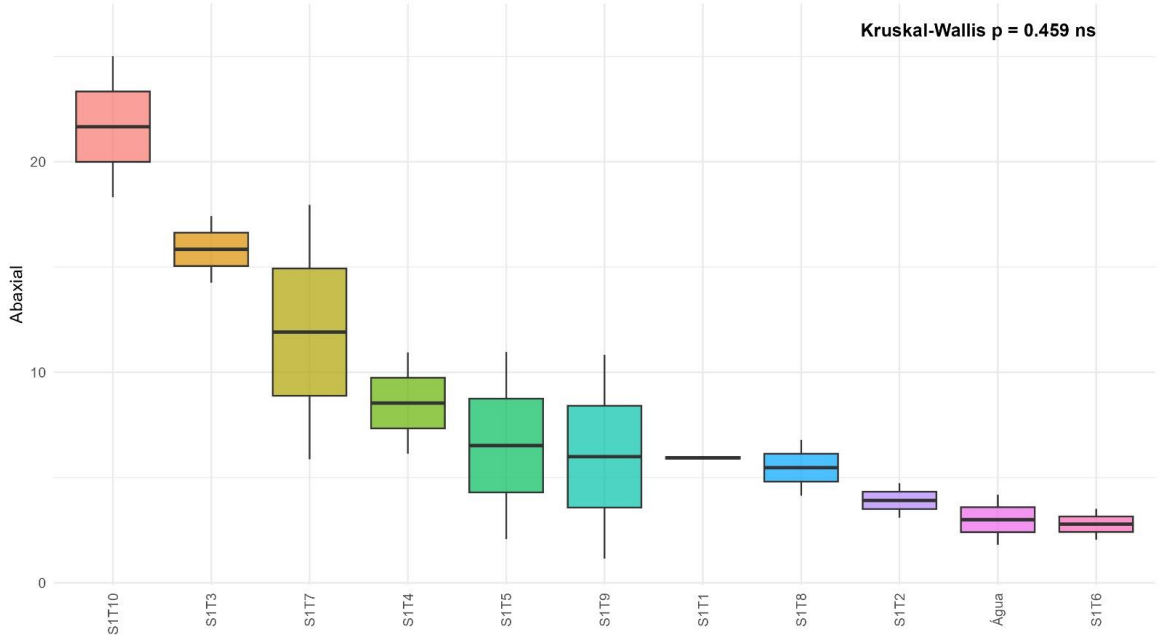


Figura 5a. Valores de cobertura superficial em papel hidrossensível, diferença não significativa (ns) pelo teste de Kruskal-Wallis. S1T1 = *Beauveria bassiana*; S1T2= óleo de laranja (LM); S1T3 =óleo vegetal (AgS); S1T4= siliconado (KPu); S1T5= organosiliconado (Sil); S1T6= sintético (TA); S1T7= óleo mineral (IG); S1T8= siliconado (BTr); S1T9= siliconado (WS); S1T10= siliconado (SPr).

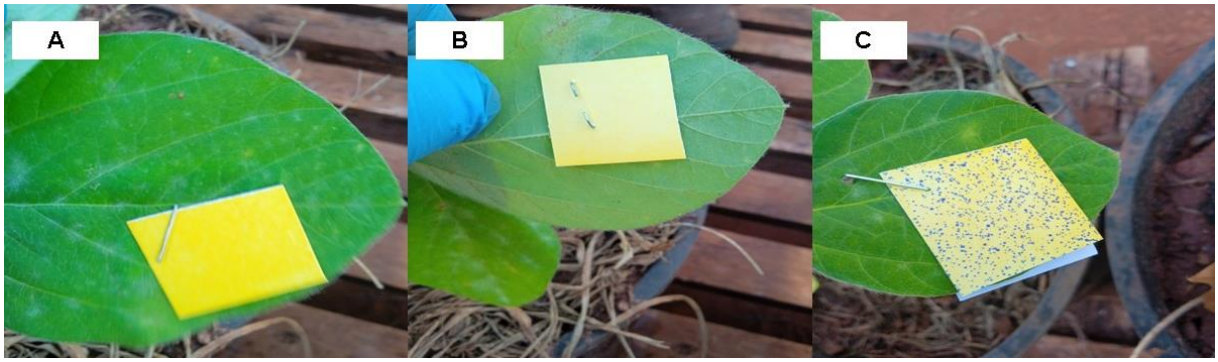


Figura 5b. Papel sensível na face adaxial antes da pulverização (A), papel sensível na parte abaxial antes da pulverização (B), cobertura com papel sensível na parte adaxial após aplicação (C).

A cobertura na face abaxial das folhas foi melhor na maioria dos tratamentos, com observação para a calda contento *Beauveria bassiana* em associação adjuvante siliconado (SPr) que chegaram a 25 % de cobertura, outros adjuvantes também tiveram boa performance de cobertura abaxial superando o tratamento controle, como os siliconados (WS e KPu), organosiliconado (Sil), óleo mineral (IG) e óleo vegetal (AgS), demonstrando que os adjuvantes podem promover maior distribuição dos conídios do fungo favorecendo a deposição de conídios na região abaxial da folha,

quando em conformidade com os ajustes necessários para favorecer o desempenho da pulverização (Salcedo et al, 2023; Zhang et al., 2023; Dario et al., 2025).

A definição de uma boa cobertura para controle da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) em soja não é muito precisa, pois depende de fatores como: biologia da praga, posicionamento no dossel (arquitetura da planta), tecnologia de aplicação, produto utilizado (sistêmico, translaminar ou de contato) e condições ambientais. Os resultados mostram que na face superior os valores médios de cobertura são mais elevados na maioria das caldas. Esse padrão reflete a maior interceptação das gotas pela superfície adaxial, a qual recebe o impacto direto da pulverização, mostrando a dificuldade relatada por diversos autores em se alcançar a superfície abaxial das folhas (Cunha e Ruas, 2017; Xiang et al., 2021; Dario et al., 2025).

No entanto, algumas das avaliações em questão, foram desenvolvidos em condições diferentes. Quando se faz aplicação de microrganismo em vaso ou campo, dentro da tecnologia de aplicação, existem requisitos para uma melhor cobertura da calda, uma questão muito importante são as condições climáticas para se obter sucesso no controle biológico. Existe uma dificuldade em se trabalhar com gotas finas, porque elas são mais sujeitas à deriva pela ação do vento, dificultando o controle de ninfas pelo menor atingimento do alvo por parte das gotas carregadas. Os adjuvantes demonstraram diferentes valores para a porcentagem de gotas menor que 100 micras (P%<100 µm), alguns até reduziram este volume de gotas deriváveis, o que aumenta a importância da escolha do adjuvante antes de realizar as misturas.

Aubert (1987) relata que fatores ambientais afetaram fortemente a esporulação dos fungos, eles apresentaram boa esporulação em umidades altas, sendo que no momento da aplicação a umidade relativa variou de 83% a 63%. Neste trabalho a umidade relativa variou de 51% a 64% no momento da aplicação, sendo que este valor tende a diminuir a germinação e, portanto, a eficiência da colonização do fungo.

Contudo, mesmo que em menor quantidade a presença de cobertura e deposição na face abaxial das folhas evidencia o efeito da pulverização eletrostática com assistência de ar, tecnologia que favorece a atração das gotas carregadas eletricamente para superfícies de contato da folha (Guo Z. et al., 2024; Zhou et al., 2024; Guo J.,2025). Estudos utilizando papéis hidrossensíveis e diferentes metodologias de avaliação de cobertura demonstram que a pulverização com gotas eletricamente carregadas aumenta significativamente a deposição, especialmente em superfícies de difícil acesso (Pelegrini, 2021; Guo J. 2014; Guo Z. et a.l, 2024). Além

disso, há o consenso de que coberturas com cerca de 30% de recobrimento é suficiente para um bom controle de ninfas de mosca-branca, especialmente quando associados a tecnologias com o uso de adjuvantes e pulverização com gotas carregadas eletricamente, que promovem maior eficiência na distribuição das gotas (Fink et al., 2020; Meng et al., 2022).

Segundo Pelegrini (2021) quando utilizamos de tecnologias como assistência de ar e gotas carregadas eletricamente, conseguimos alcançar em maior volume de gotas os terços inferior e médio, evidenciando a importância de se utilizar essas tecnologias para controle de mosca-branca na soja. Os resultados obtidos confirmam a eficiência da pulverização com gotas carregadas em promover cobertura tanto na face superior quanto na inferior das folhas, ainda que em magnitudes distintas. Algumas literaturas apontam esta tecnologia como promissora para incrementar a deposição em alvos de difícil acesso (Law, 2001).

A cobertura é muito importante no tratamento fitossanitária em culturas de interesse agrícola, uma vez que sua eficiência implica em maior assertividade dos conídios do produto no alvo de controle. O tamanho de gota auxilia neste processo, uma vez que gotas finas promovem melhor cobertura, quando aliadas à tecnologia eletrostática, têm a característica de se conectarem com maior facilidade as folhas por diferença de carga e, assim, diminuem a contaminação do ambiente causada pelas perdas por deriva, sendo indicadas para inseticidas de contato (Matthews et al., 2014; Chaim e Wadt, 2015).

Sendo assim, o tratamento fitossanitário de ninfas da mosca-branca depende da eficiência da pulverização eletrostática, devido ao seu hábito de se concentrar predominantemente na face abaxial das folhas (Horowitz e Gerling, 1992; Nascimento et al., 2020). Nesse contexto, a aplicação com gotas carregadas eletricamente, especialmente quando associada ao adjuvante siliconado (SPr), mostrou-se eficiente em promover cobertura tanto na face inferior das folhas de soja, superando limitações observadas em métodos convencionais. A ausência de diferença estatística significativa entre os tratamentos sugere que o efeito da carga predominou sobre as variações induzidas pelas propriedades físico-químicas dos adjuvantes. Esses achados reforçam o potencial da pulverização eletrostática como tecnologia para o manejo de pragas como a mosca-branca e indicam a necessidade de estudos adicionais para avaliar a interação entre diferentes adjuvantes e condições operacionais.

3.3 Depósito de calda de produto biológico

Com base nos resultados observou-se diferença na deposição de conídios entre os tratamentos testados (Figura 6a).

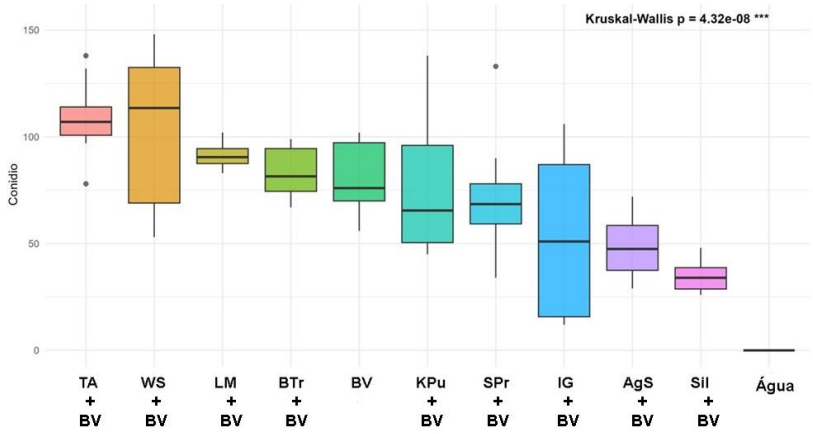


Figura 6a. Número de conídios de *Beauveria bassiana* depositados nos discos de folhas de soja, em função do uso de diferentes adjuvantes na calda Jaboticabal, 2025. BV = *Beauveria bassiana*; AgS = óleo vegetal; BTr = siliconado; IG = óleo mineral; KPu = siliconado; LM = óleo de laranja; Sil = organosiliconado; SPr = siliconado; TA = sintético; WS = siliconado.

A superioridade do adjuvante AgS no controle de ninfas (21,18%) em comparação com sua deposição aparentemente inferior (Figura 6a) em relação a outros tratamentos é um achado notável. Isso sugere que, para além da quantidade de conídios depositados, o AgS pode ter proporcionado uma melhor sobrevivência dos conídios pós-deposição ou uma maior eficácia de infecção devido a propriedades bioquímicas ou de interação com a cutícula da ninfa. Talvez o óleo vegetal do AgS tenha oferecido uma proteção mais eficaz contra a desidratação ou a radiação UV, ou tenha facilitado a adesão e germinação dos conídios na cutícula das ninfas de Bemisia tabaci, mesmo com um número ligeiramente menor de propágulos. Essa observação destaca a complexidade das interações fungo-adjuvante-alvo e a importância de considerar fatores além da mera deposição.

Os maiores valores médios de deposição foram obtidos com a *Beauveria bassiana* em associação com os adjuvantes sintético (TA), siliconado (WS e BTr) e óleo vegetal (LM) superando a deposição do controle, apenas *Beauveria bassiana*. Esses resultados indicam que a adição dos adjuvantes na calda melhorou a deposição

dos conídios sobre as ninfas, usando gotas finas em aplicação com gotas eletricamente carregadas, o que favorece o controle biológico (Cunha et al., 2021).

O tratamento contendo siliconado (WS) em associação com o biológico destaca-se também por ter promovido maior crescimento micelial do fungo até o sétimo dia de avalição de crescimento (Figura 3b) e no IVCM - Índice de Velocidade de Crescimento Microbiano (Figura 3a), além da deposição, o que aumenta as chances de o fungo colonizar as ninfas de mosca branca, pensando na pulverização por gotas eletricamente carregadas para deposição na parte inferior das folhas das plantas de soja.

A calda contendo o siliconado (BTr) em associação com o biológico demonstra menor controle de ninfas (pouco superior a 5%), mesmo com uma cobertura próxima do tratamento controle (figura 6a), pressupondo que mesmo com uma boa cobertura o adjuvante pode não ter oferecido boa proteção contra radiação UV e desidratação, para sobrevivência dos conídios após aplicação, ou não tenha facilitado a adesão e penetração dos conídios na cutícula das ninfas de *Bemisia tabaci.*

A qualidade da deposição de agentes biológicos, como os conídios do fungo, está diretamente relacionada à eficiência de controle de pragas, uma vez que a quantidade de conídios depositados determina a maior probabilidade de contato e colonização das ninfas de mosca-branca (Costa et al., 2018; Farias et al., 2020).

A eficiência dos fungos entomopatogênicos em campo depende diretamente da qualidade da deposição, adesão e sobrevivência dos propágulos (conídios) durante e após a pulverização. Nesse contexto, os adjuvantes desempenham papel fundamental na melhoria dos processos físicos e biológicos envolvidos na aplicação.

A superioridade de alguns adjuvantes na deposição pode ser explicada pela homogeneidade da dispersão de conídios na superfície vegetal e por maior afinidade entre os produtos, compatibilidade (Conceschi et al., 2024).Fungos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Cordyceps javanica* possuem conídios aéreos hidrofóbicos, o que dificulta sua dispersão apenas em água, favorecendo a formação de agregados o que não promove boa homogeneização do produto biológico formulado em água, principalmente em formulações com alta concentração de propágulos. A utilização de adjuvantes oleosos (LM) emulsionáveis promove a desagregação desses conídios, permitindo maior homogeneidade e cobertura da calda. Devido às suas características anfifílicas (qualquer composto químico que

possui, na sua composição, uma parte hidrofílica solúvel em água e outra hidrofóbica não solúvel em água, mas que interage com outros compostos ou substâncias), esses adjuvantes facilitam a adesão dos propágulos à superfície externa das ninfas, contornando barreiras físicas como ceras epicuticulares, que normalmente repelem gotas de água (Arnosti et al., 2019; Conceschi et al., 2024).

O encapsulamento dos conídios em microgotas oleosas (LM), reduz a desidratação e protege contra radiação ultravioleta, prolongando a capacidade de germinação dos conídios. Tal efeito é especialmente relevante em condições de baixa umidade relativa do ar, comum em aplicações diurnas, isso indica que adjuvantes oleosos podem aumentar a persistência dos conídios em uma pulverização. Estudos indicam aumentos expressivos na eficiência de controle quando óleos vegetais emulsionáveis são adicionados à calda, com incrementos de até 45% no controle de *Diaphorina citri*, comparados a tratamentos contendo apenas surfactantes (Lopes et al., 2011; Conceschi, 2017).

Beauveria bassiana produz conídios elipsoidais de aproximadamente 2 a 3 µm de comprimento por 1,5 a 2 µm de largura (Figura 6b), dimensões que facilitam a penetração pela cutícula dos insetos, especialmente em regiões entre segmentos e poros respiratórios (Baek et al., 2022). Na prática, as gotas de pulverização são compostas principalmente por água, e o uso de adjuvantes de base oleosa podem melhorar na homogeneização dos conídios na calda e formação de gotas de tamanho desejável. Assim, cada gota contém apenas uma fração de conídios, normalmente entre 5 e 50 esporos por gota de 30 µm de diâmetro, dependendo da concentração da calda (geralmente 10^8 conídios/mL) (Mascarin e Jaronski, 2016; Camara et al., 2022). Segundo os resultados do presente estudo, com um DMV de 170 µm mantem-se a qualidade da aplicação por gotas eletricamente carregadas, implicando em maior concentração de conídios viáveis nas gotas, podendo aumentar a eficiência e eficácia no controle de ninfas. Essa quantidade de conídios é suficiente para promover infecção eficaz, pois cada gota depositada no inseto pode liberar múltiplos conídios viáveis sobre a cutícula (Mascarin e Jaronski, 2016).

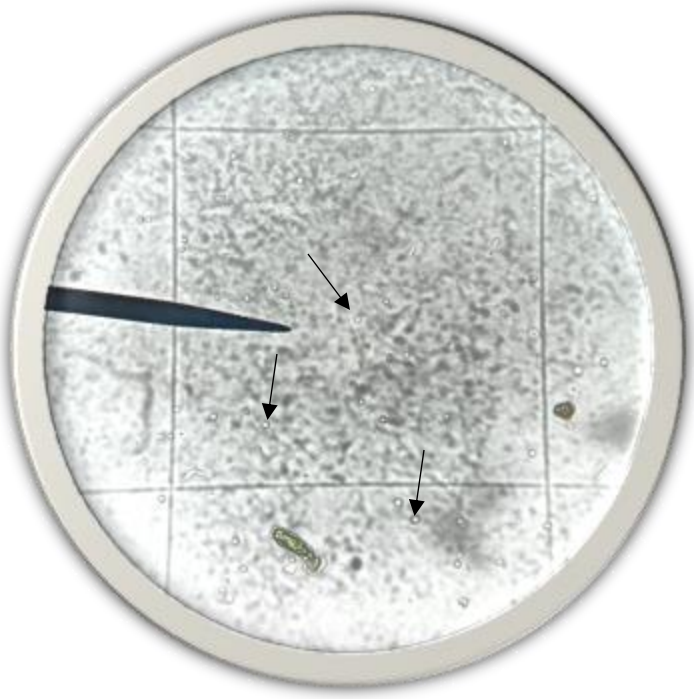


Figura 6b. Conídios aéreos (pequenos círculos translúcidos) de *Beauveria bassiana:* Conídios não germinados visto em microscópio óptico (Leica CME®), indicados por setas. Crédito das fotos: Roque (2025).

Outro fator sobre a qualidade da deposição é a modificação nas propriedades físico-químicas da calda, como menor tensão superficial proporcionando melhor espalhamento da gota, que são aspectos fundamentais para o estabelecimento de conídios viáveis sobre as ninfas. O uso de adjuvantes pode favorecer a permanência dos conídios por maior aderência das gotas e oferecer proteção a variações ambientais, garantindo melhor perspectiva de eficácia no controle de ninfas.

Os adjuvantes podem agir como aliados na sobrevivência de microrganismos, na proteção dos mesmos às condições ambientais adversas (luz UV, desidratação e temperatura), prolongando a viabilidade de fungos como *Beauveria bassiana* após a pulverização (Inglis et al., 1995; Oliveira et al., 2017; Holka e Kowalska, 2023; Hernández-Campos et al., 2025). O maior número de conídios contados nos tratamentos pode refletir melhor estabilidade e sobrevivência no campo. Outro fator importante, é o aumento da deposição na face abaxial, ao melhorar a molhabilidade e a adesão das gotas. Essa informação reforça a importância de associar pulverização com gotas carregadas eletricamente e adjuvantes, já que ambos atuam em incrementar cobertura em áreas críticas do dossel (Zhang et al., 2023).

Portanto, o uso de gota fina na pulverização, que foi objetivado no presente trabalho, pode melhorar o depósito de calda contendo *Beauveria bassiana* e adjuvantes na face abaxial das folhas, local de grande concentração de ninfas de mosca-branca, mesmo quando a soja estiver em um estágio vegetativo mais avançado. Além da proteção física, os adjuvantes reduzem perdas por deriva e melhoram o atingimento do alvo, garantindo que maior quantidade de propágulos (conídios) alcance o alvo biológico. Dessa forma, sua inclusão na calda representa uma estratégia viável para aumentar o desempenho operacional e a eficácia biológica dos fungos entomopatogênicos.

3.4 Parasitismo de ninfas de mosca-branca *(Bemisia tabaci)*

Em estudos de eficiência de táticas de controle de *Bemisia tabaci*, reduções populacionais de ninfas iguais ou superiores a 70–80% são usualmente consideradas satisfatórias, uma vez que indicam manutenção da praga abaixo do nível de dano econômico, sem necessidade de erradicação completa da população (Gallo et al., 2002).

A avaliação do controle de ninfas de *Bemisia tabaci* demonstrou variação significativa entre os tratamentos contendo o produto comercial formulado à base de *Beauveria bassiana* e os adjuvantes (Figura 7). O tratamento contendo BV + óleo vegetal (AgS), destacou-se com o maior percentual de controle de ninfas, 21,18%. Esse comportamento sugere que a combinação favoreceu ao desempenho do parasitismo do fungo em relação as ninfas. Seguido de BV + siliconado (KPu) com 8,36% e BV + siliconado (Btr) com 5,88% de controle. Os demais tratamentos demonstraram eficácia muito baixo para o controle de ninfas.

O percentual de parasitismo de 21,18% observado com Bv + AgS, embora o maior entre os tratamentos, sugere que, para um controle prático e comercialmente viável da mosca-branca em soja, são necessárias otimizações adicionais. Estas otimizações podem incluir o aumento da concentração de conídios, múltiplas aplicações, a combinação com outras táticas de MIP, ou o desenvolvimento de adjuvantes ainda mais protetores e bioativos para garantir um impacto populacional

mais significativo. É crucial considerar que, para bioinseticidas, um controle de 20% a 30% pode ser um bom início, especialmente para reduzir a pressão da praga e retardar o desenvolvimento de resistência a químicos, mas a eficácia pode ser ampliada com aprimoramentos na formulação e aplicação.

As condições de baixa umidade relativa durante a aplicação (51% a 64%) são conhecidas por impactar negativamente a viabilidade e germinação dos conídios de *Beauveria bassiana* em campo. Essa limitação ambiental pode ter contribuído para que, mesmo com boa cobertura na face abaxial (até 25% com SPr), a taxa de parasitismo observada tenha sido moderada, reforçando a necessidade de aplicar bioinseticidas em condições ideais de UR ou com adjuvantes que confiram maior proteção aos conídios contra a desidratação (Mascarin e Jaronski, 2016).

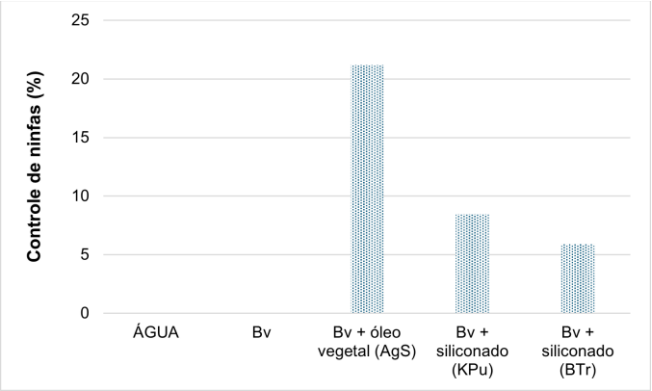


Figura 7. Resultados da porcentagem de parasitismo de ninfas por disco foliar no folíolo. Obtido pela fórmula de Henderson-Tilton usada para calcular a eficácia corrigida (%) dos tratamentos, levando em conta as variações médias naturais nas populações do controle e do tratamento, antes e depois da aplicação. Bv = *Beauveria bassiana.*

A calda composta apenas pelo produto biológico formulado apresentou uma taxa de controle de ninfas menor em relação aos melhores tratamentos. Essa redução pode estar associada à capacidade dos adjuvantes em melhorar tensão e angulo de contato que refletem o melhor recobrimento da calda, adesão e proteção dos conídios no alvo. Outro fator, a associação do biológico com os adjuvantes AgS e KPu apresentam bons tamanho de colônia no sétimo dia de avaliação (13,28 e 22,74 mm, respectivamente), IVCM no segundo dia (1,38 e 1,54 mm/dia, respectivamente) e controle (Figura 7), em relação a testemunha, o que possivelmente melhorou a eficácia do produto biológico.

A variabilidade de resposta entre os tratamentos pode ser explica pela dificuldade de atingir o alvo. As ninfas possuem tamanho diminuto, que pode variar

entre os instares no 1º instar: aproximadamente 0,25 a 0,30 mm; 2º ínstar: cerca de 0,35 a 0,45 mm; 3º ínstar: cerca de 0,50 a 0,60 mm e 4º ínstar (pseudopupário): cerca de 0,70 a 0,80 mm (Lima et al.,2001), além delas estarem alojadas na face abaxial das folhas.

Quando utilizamos gotas finas, espera-se que a maior cobertura proporcionada por elas favoreça o atingimento satisfatório dos alvos, para isso temos dois fatores importantes, a concentração de propágulos aplicados e a tecnologia de aplicação. A estratégia indicada é o controle inundativo, que é considerada mais eficiente e eficaz nesse tipo de manejo, onde é priorizado a aplicação de no mínimo 1 trilhão de conídios por hectare (exemplo, $1x10^{12}$ conídios vigorosos por hectare). Essa dose permite que sejam distribuídos cerca de 100 conídios por mm^2 em uma superfície plana em taxa de aplicação de 100 a 150 L ha^{-1} de calda (Coneschi et al., 2024).

Na literatura há relatos que a adição de óleo vegetal a suspensões de *Beauveria bassiana* aumenta a adesividade e reduz a evaporação da calda, proporcionando infecção mais rápida e consistente (Iost e Raetano, 2010). O que foi apresentado pelo tratamento Bv + óleo vegetal (AgS), apesar do tegumento das ninfas conter menor quantidade de compostos cerosos e de defesa antifúngica do que o dos adultos, o que as tornam mais suscetíveis à infecção. Na germinação dos conídios, dada pela dificuldade para adesão ao corpo dos insetos, alguns conídios não germinam por desidratação ou inviabilização por raios solares, porém os adjuvantes podem contribuir funcionando como protetores.

De forma semelhante, Mascarin e Jaronski (2016) ressaltam que a sobrevivência dos conídios é fortemente influenciada pela umidade relativa e pela exposição à radiação solar, fatores que podem ser mitigados pelo uso de adjuvantes uma vez que esses podem proteger os fungos dos fatores externos, eles indicam que em condições ideais de temperatura e umidade, as ninfas de mosca-branca começam a apresentar colonização visível por *Beauveria bassiana* entre o terceiro e o quinto dia após a aplicação, com mortalidade completa geralmente observada até o sétimo dia.

O controle da mosca-branca, especialmente em seu estágio ninfal, é relevante dentro das estratégias de manejo de pragas e tecnologia de aplicação. Durante essa fase, o inseto se mantém fixo na face inferior das folhas, alimentando-se da seiva de floema, o que o torna menos exposto à ação de microrganismos entomopatogênicos, alvo séssil, sendo assim a pulverização deve garantir que as gotas cheguem a esses tipos de alvo.

No ponto de vista ecológico, o controle de ninfas também contribui para a redução da população adulta emergente, interrompendo o ciclo reprodutivo e diminuindo a disseminação de vírus, como o mosaico-dourado da soja. Como cada fêmea adulta pode ovipositar centenas de ovos, a supressão do estágio ninfal representa uma forma preventiva de reduzir a pressão populacional nas gerações subsequentes (Parra et al, 2002).

4. CONCLUSÃO

Os adjuvantes a base de silicone e óleo vegetal foram os mais indicados para uso com a *Beauveria bassiana* por não comprometerem o crescimento das colônias do fungo, e por melhorarem a cobertura da face abaxial das folhas, aumentando a probabilidade de atingir as ninfas de *Bemisia tabaci* e favorecer o controle da mosca branca. Para as condições deste experimento houve depósito considerável na face abaxial das folhas com o carregamento das gotas e a assistência de ar.

5. REFERENCIAS

Alves, S.B., Moraes, A.S. Quantificação de inóculo de patógenos de insetos In: Alves, SB (Ed) **Controle microbiano de insetos** Piracicaba: FEALQ p. 53–90, 1998.

Alves, S.B., Moino-Júnior, A., Almeida, J.E.M. Phytosanitary products and entomopathogens In: Alves, S B (Ed). **Microbial insect control** Piracicaba: FEALQ, p.217–238, 1998.

Arnosti, A., Delalibera, I., Conceschi, M.R., D'Alessandro, C.P., Travaglini, R.V., Camargo-Mathias, M.I. Interactions of adjuvants on adhesion and germination of *Isaria fumosorosea* on adults of *Diaphorina citri*. **Scientia Agricola,** v. 76, n. 6, p. 487-493, 2019.

Aubert, B. Trioza crytreae Del Guercio and *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae), the two vectors of citrus greening disease: biological control and possible control strategies. **Fruits**, v.42, n.3, p.149-162, 1987.

Baek, S., Noh, M.Y., Mun, S., Lee, S.J., Arakane, Y., Kim, J.S.Ultrastructural analysis of beetle larva cuticles during infection with the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana.* **Pest Management Science**, v. 78, n.8, p. 3356-3364, 2022.

Bonferroni, C.E. Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità **Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze**, v. 8, p. 3–62, 1936.

Bortolotto, O.C., Pomari-Fernandes, A., De Freitas Bueno, R.C.O., De Freitas Bueno, A., Da Cruz, Y.K., Sanzovo, A., Ferreira, R.B. The use of soybean integrated pest management in Brazil: a review **Agronomy Science and Biotechnology**,v.1, n.1, p. 25-25, 2015.

Camara, I., Cao, K., Sangbaramou, R., Wu, P., Shi, W., Tan, S. Screening of *Beauveria bassiana* (Bals) (Hypocreales: Cordycipitaceae) strains against *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae) and conditions for large-scale production. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v.32, n. 1, p.85, 2022.

Chaim, A., Neto, J.C., Pessoa, M.C.P.Y. **Uso do programa computacional Gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 23. 2006

Chaim, A., Wadt, L.G. Pulverização eletrostática: a revolução na aplicação de agrotóxicos. **Notícias: Produção Vegetal**, v.1, 2015.

Chapman, R.F. **The insects: structure and functio** Cambridge university press 4ª edição, p. 770, 1998.

Christofoletti, J.C. Considerações sobre tecnologia de aplicação nas pulverizações agrícolas e seu controle São Paulo: Teejet South America, v. 25, p. 203-210, 1999.

Costa, A.G.F, Velini, E.D., Negrisoli, E., Carbonari, C.A., Rossi, C.V.S., Corrêa, M.R., Silva, F.M.L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, p. 203-210, 2007.

Conceschi, M.R. **Potencialidade dos fungos entomopatogênicos *Isaria fumosorosea* e *Beauveria bassiana* para o controle de pragas dos citros**. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, p.105, 2013.

Conceschi, M.R. **Parâmetros a serem considerados nas pulverizações do fungo Isaria fumosorosea para o manejo de *Diaphorina citri***. Tese de doutorado (Entomologia) Universidade de São Paulo, 2017.

Conceschi, M.R., Borges, Á.V., Almeida, M.F. Como os adjuvantes podem melhorar a eficiência dos fungos no controle microbiológico a campo? INSTITUTO AGRÍCOLA **NPCT-IA-P-05**, v. 5, p. 26-30, 2024.

Cunha, J.P.A.R., Bueno, M.R., Ferreira, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização e adjuvantes de uso agrícola **Planta Daninha**, v. 28, p. 1153–1158, 2010.

Cunha, J.P.A.R., Ruas, R.A.A. Tensão superficial dinâmica e espectro de gotas de soluções aquosas com adjuvantes utilizados na agricultura **Engenharia Agrícola** v. 37, p. 899-907, 2017.

Dario, G., Del Bem Junior, L., Da Silva, F.N., Negrisoli, M.M., Prado, E.P., Da Silva e Oliveira, F.A., Raetano, C.G. Effect of Application Techniques on Spray Quality Optimization in Sweet Pepper Cultivation in Protected Environments. **AgriEngineering**, v.7, n.5, p.157, 2025.

De faria, M.R., Wraigh, S.P. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. **Biological Control**, v. 43, n. 3, p. 237–256, 2007.

Dunn, O.J. Multiple comparisons using rank sums **Technometrics**, v.6, n.3, p. 241–252, 1964.

Fang, W., Devkota, S., Arunachalam, K., Phyo, K.M.M., Shakya, B. Systematic review of fungi, their diversity and role in ecosystem services from the Far Eastern Himalayan Landscape (FHL). **Heliyon**, v.9, n.1, p. e12756, 2023.

Faria, M.D., Magalhães, B.P. O uso de fungos entomopatogênicos no Brasil. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 22, n.1, p.18-21, 2001.

Ferreira, J.M.S. **Protocolo para produção massal de fungos entomopatogênicos: I-*Beauveria bassiana* (Vuill.)**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 5-24, 2004.

Filippou, C., Diss, R.M., Daudu, J.O., Coutts, R.H., Kotta-Loizou, I. The polymycovirus-mediated growth enhancement of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* is dependent on carbon and nitrogen metabolism **Frontiers in microbiology**, v.12, p. 606366, 2021.

Fink, C., Bañuelos, J., Rossi, L., Barker, M., Edsall, M., Olivier, D., Lin, J. An Evaluation of Spray Rig Designs for California Strawberries Using Water-Sensitive Paper. **International Journal of Fruit Science**, v.20, n. sup1, p.997 – 1004, 2020.

Gallo, D. et al. **Entomologia agrícola**. 10. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002.

Gullan, P.J., Cranston, P.S. The insects: An outline of entomology. **Nature**, v.370, n. 6487, p.261, 1994.

Guo, J., Dong, X., Qiu, B. Analysis of the factors affecting the deposition coverage of air-assisted electrostatic spray on tomato leaves. **Agronomy**, v.14, n.6, p. 1108, 2024.

Guo, J., Liu, Z., Zhao, X., Yuan, Y., Wang, S. Electrostatic spray and non-electrostatic spray on droplet deposition quality on tomato leaf surface. **Ciência Rural**, v.55, n.7, p. e20240124, 2025.

Guo, Z., Zhang, J., Chen, L., Wang, Z., Wang, H., Wang, X. Study on Deposition Characteristics of the Electrostatic Sprayer for Pesticide Application in Greenhouse Tomato Crops. **Agriculture**, v.14, n.11, p.1981, 2024.

Henderson, C.F., Tilton, E.W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, v.48, n.2, p.157–161, 1955.

Hernández-Campos, R., Montesinos-Matías, R., Sánchez-González, J.A., Loera, O. Formulación natural anti-UV aumenta la supervivencia de conidios de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium rileyi* y potencia el control biológico de *Spodoptera frugiperda* en plantas de maíz. **Mexican Journal of Biotechnology**, v.10, n.1, p. 36-60, 2025.

Hérve ABDI. Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons In: SALKIND J (Ed). **Encyclopedia of Measurement and Statistics,** v. 3, n. 01, p. 2007, 2007.

Holka, M., Kowalska, J. The potential of adjuvants used with microbiological control of insect pests with emphasis on organic farming. **Agriculture**, v.13, n. 9, p.1659, 2023.

Horowitz, A.R., Gerling, D. Seasonal variation of sex ratio in *Bemisia tabaci* on cotto. **Environmental Entomology**, v.21, n. 3, p. 556-559, 1992.

Hou, J., Zhang, H., Ding, J.L., Feng, M.G., Ying, S.H. Transcriptomic investigation reveals a physiological mechanism for *Beauveria bassiana* to survive under linoleic acid stress. **Iscience**, v.26, n.4, p.106551, 2023.

Huarte-Bonnet, C., Paixao, F.R.S., Ponce, J.C., Santana, M., Prieto, E.D., Pedrini, N. Alkane-grown *Beauveria bassiana* produce mycelial pellets displaying peroxisome proliferation, oxidative stress, and cell surface alterations. **Fungal Biology**, v.122, n.6, p.457-464, 2018.

Inglis, G., Goettel, M., Johnson, D. Influence of Ultraviolet Light Protectants on Persistence of the Entomopathogenic Fungus, *Beauveria bassiana.* **Biological Control**, v.5, n. 4, p.581-590, 1995.

Iost, C.A., Raetano, C.G..Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfatantes em superfícies artificiais e naturais. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.670-680, 2010.

Jadhav, R., Patil, S. Effect of Various Adjuvants on Growth and Development of the Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. **International Journal of Plant Protection**, v.9, p.401-408, 2016.

Khun, K.K., Ash, G.J., Stevens, M.M., Huwer, R.K., Wilson, B.A. Compatibility of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* with insecticides and fungicides used in macadamia production in Australia.**Pest Management Science**, v.77, n.2, p.709-718, 2021.

Kruskal, W.H., Wallis, W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

Law, S.E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. **Journal of Electrostatics**, v.51, p. 25–42, 2001.

Lima, A.C.S., Lara, F.M., Santos, J.M. Morfologia da mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) encontrada em Jaboticabal, SP, com base em eletromicrografias de varredura. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, v.27, n.3, p.315-322, 2001.

Lin, F., Mao, Y., Zhao, F., Idris, A.L., Liu, Q., Zou, S., Huang, T. Towards sustainable green adjuvants for microbial pesticides: recent progress, upcoming challenges, and future perspectives. **Microorganisms**, v.11, n. 2, p.364, 2023.

Litwin, A., Mironenka, J., Bernat, P., Soboń, A., Różalska, S. Accumulation of pyrethroids induces changes in metabolism of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*—Proteomic and lipidomic background. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.249, p.114418, 2023.

Liu, H., Zhao, X., Guo, M., Zheng, Z. Growth and metabolism of *Beauveria bassiana* spores and mycelia. **BMC Microbiology**, v.15, n.1, p.267, 2015.

Loeblein, J.S., Alves, L.F.A., Nascimento, C.B., Rode, P.D.A., Almeid,a J.E.M.D. Association of adjuvants and Beauveria bassiana fungus to control of Paraguay tea ampul. **Ciência Rural**, v.52, n.12, p. e20210455, 2022.

Lopes, R.B., Pauli, G., Mascarin, G.M., Faria, M. Protection of entomopathogenic conidia against chemical fungicides afforded by an oil-based formulation. **Biocontrol Science and Technology**, v.21, n.2, p.125-137, 2011.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários** Brasília, DF, 2024 Disponível em: https://mapa-indicadoresagriculturagobr/publico/extensions/AGROFIT/AGROFIThtml Acesso em: 26 ago 2025.

Mascarin, G.M., Jaronski, S.T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 11, p. 177, 2016.

Mascarin, G.M., Lopes, R.B., Delalibera, Jr. Í., Fernandes, É.K.K., Luz, C., Faria, M. Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. **Journal of invertebrate pathology**, v.165, p.46-53, 2019.

Matthews, G.A., Bateman, R., Mille,r P. **Pesticide Application Methods** 4 ed Chichester: John Wiley e Sons, p.544, 2014.

Melo, M.R., Zotarelli, M.F., Santos, L.D., Silveira, E. Selection of surfactants for enhancing the wettability of powder formulations of *Beauveria bassiana* (bals-criv) vuill(1912) (ascomycota: Cordycipitaceae). **Biological Control,** v. 151, p.104391, 2020.

Meng Y, Zhong W, Liu C, Su J, Su J, Lan Y, Wang, M. UAV spraying on citrus crop: impact of tank-mix adjuvant on the contact angle and droplet distribution. **PeerJ**, v. 10, p.e13064, 2022.

Menten, J.O.M., Machado, C.C., Minussi, E., Castro, C., Kimatl, H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass) Goid *in vitro.* **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.1, n.2, p.57–66, 1976.

Mingotti Dias, P., De Souza, L.E., Amorim, P.L.G., Reis, D.G.L., Bárbaro, B.J.G., Macali, W.A., Teodoro, P.E. Selectivity of entomopathogenic fungi to Chrysoperla externa (Neuroptera: Chrysopidae). ***Insects,*** *v.*11, n.10, p.716, 2020.

Mwamburi, L., Laing, M., Miller, R. Effect of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana.* **Brazilian Journal of Microbiology,** v.46, p.67 – 74, 2015.

Oliveira, D. G. P. D., Lopes, R. B., Rezende, J. M., Delalibera Jr, I. Increased tolerance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* conidia to high temperature provided by oil-based formulations. **Journal of invertebrate pathology**, v.151, p.151-157, 2017.

Oliveira, G. S., Gava, C. A. T., Félix, W., Gervásio, R. D. C. R., Da Costa Lima, T. C. Applying a saponin complex of Pseudalbizzia inundata (Mart) Koenen e Duno as surfactants of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin conidia to control *Bemisia tabaci* Gennadius. **Biocontrol Science and Technology**, v.35, n.3, p.317 – 331, 2024.

Oliveira, J.Á. **Efeito do tratamento fungicida em sementes no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L) e pimentão (*Capsicum annum* L)** 120 f Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1991

Ortiz-Urquiza, A., Keyhani, N.O. Molecular genetics of Beauveria bassiana infection of insets. **A dvances in Genetics**, v. 94, p.165-249, 2016.

Parra, J.R.P., Botelho, P.S.M., Ferreira, B.S.C., Bento, J.M.S. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores.** São Paulo: Manole, v.1, p.1-601, 2002.
.
Pelegrini, G. **Controle de mosca-branca na cultura da soja com pulverização assistida de ar e gotas carregadas eletricamente** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal. 2021.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025 Disponível em: https://wwwR-projectorg/

Salcedo, R., Sánchez, E., Zhu, H., Fàbregas, X., García-Ruiz, F., Gil, E. Evaluation of an electrostatic spray charge system implemented in three conventional orchard sprayers used on a commercial apple trees plantation. **Crop Protection**, v. 167, p.106212, 2023.

Sibao, W.A.N.G., Xuexia, M.I.A.O., Weiguo, Z.H.A.O., Meizhen, F.A.N., Zengzhi, L.I. Genetic diversity and population structure among strains of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, as revealed by inter-simple sequence repeats (ISSR). **Mycological Research**, v.109, n.12, p.1364-1372, 2005.

Spadoni, A.B.D. **Impacto de adjuvantes na estabilidade físico-química de caldas bioinseticida com fungicida e sua eficácia no controle de *Chrysodeixis includens* na cultura da soja** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal. 2025.

Swathi, P., Ganga Visalakshy, P.N., Das, S.B. In vitro evaluation for compatibility of additives with *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemi. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v.28, n.1, p.13, 2018.

Thomas, C., Tom, J., Jayaprakas, C.A. Compatibility of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, an entomopathogenic fungi, with selective insecticides for enhanced pest management. **Entomon,** v.50, p.7-12, 2025.

Toju, H., Kishida, O., Katayama, N., Takagi, K. Networks depicting the fine-scale co-occurrences of fungi in soil horizons. **PloS one**, v.11, n.11, p. e0165987, 2016.

White, T.J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics ***PCR protocols: a guide to methods and applications*** San Diego: Academic Press, p. 315–322, 1990.

Xiang, J., Hare, M., Vickers, L., Kettlewell, P. Estimation of film antitranspirant spray coverage on rapeseed (*Brassica napus* L) leaves using titanium dioxide. **Crop Protection**, v.142, p.105531, 2021.

Zhang, C., Wang, W., Lu, R., Jin, S., Chen, Y., Fan, M., Hu, F. Metabolic responses of *Beauveria bassiana* to hydrogen peroxide-induced oxidative stress using an LC-MS-based metabolomics approach.**Journal of Invertebrate Pathology**, v.137, p.1-9, 2016.

Zhang, L., Wang, J., Fan, Y., Wang, Y. Coacervate-enhanced deposition of sprayed pesticide on hydrophobic/superhydrophobic abaxial leaf surfaces. **Advanced Science**, v.10, n. 18, p.2300270, 2023.

Zhang, S., Xia, Y.X., Kim, B., Keyhani, N.O. Two hydrophobins are involved in fungal spore coat rodlet layer assembly and each play distinct roles in surface interactions, development and pathogenesis in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana.* **Molecular Microbiology**, v.80, n.3, p.811–826, 2011.

Zhou, H., Ou, M., Dong, X., Zhou, W., Dai, S., Jia, W. Spraying performance and deposition characteristics of an improved air-assisted nozzle with induction charging. **Frontiers in Plant Science**, v.15, p.1309088, 2024.

CAPÍTULO 4 – Considerações finais

Esta dissertação contribui significativamente para o avanço do manejo da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) em soja ao identificar adjuvantes específicos, como os siliconados (WS, KPu, SPr) e o óleo vegetal (AgS e LM), que não apenas são físico - quimicamente compatíveis com *Beauveria bassiana*, mas também otimizam a deposição da calda na face abaxial das folhas e promovem um controle satisfatório de ninfas, mesmo sob condições ambientais desafiadoras. Demonstrou-se que a proteína fúngica de levedura (AcAg) e alguns siliconados (KPu, SPr, WS) podem até mesmo estimular o crescimento micelial do fungo *in vitro*, um achado promissor para futuras formulações.

É fundamental reconhecer que as condições controladas de laboratório para os estudos físico-químicos e de casa de vegetação para a aplicação e controle, embora essenciais para isolar os efeitos, podem não replicar completamente a complexidade do ambiente de campo, onde variáveis como irradiação solar intensa, maior variabilidade de umidade relativa e vento podem interagir de forma diferente.

Pesquisas futuras devem focar em ensaios de campo com as combinações de adjuvantes mais promissoras (AgS, KPu, BTr, LM) e *Beauveria bassiana*, avaliando a persistência dos conídios sob diferentes condições climáticas, bem como a eficácia de controle em escala real. Adicionalmente, estudos de dose-resposta e formulação para os adjuvantes identificados como estimuladores do crescimento fúngico (AcAg, KPu, SPr, WS) seriam valiosos. Investigar a base molecular da interação adjuvante-fungo e aprimorar a tecnologia de pulverização eletrostática, de forma a identificar o tamanho de gotas e o volume de ar em relação à deriva, são passos cruciais para traduzir esses achados em soluções agronômicas robustas e sustentáveis.