

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Júlia Guimarães Bevilaqua

**FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS COMBINADOS COM INSETICIDAS  
QUÍMICOS NO MANEJO DE MOSCA-BRANCA EM SOJA**

Santa Maria, RS  
2022

**Júlia Guimarães Bevilaqua**

**Fungos entomopatogênicos combinados com inseticidas químicos no manejo de mosca-branca em soja**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. PhD. Jonas Andre Arnemann

Santa Maria, RS  
2022

Guimarães Bevilaqua, Júlia  
Fungos entomopatogênicos combinados com inseticidas  
químicos no manejo de mosca-branca em soja / Júlia  
Guimarães Bevilaqua.- 2022.  
54 p.; 30 cm

Orientador: Jonas André Arnemann  
Coorientador: Jerson Vanderlei Carús Guedes  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Manejo químico e biológico de mosca-branca em soja  
I. Arnemann, Jonas André II. Vanderlei Carús Guedes,  
Jerson III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, JÚLIA GUIMARÃES BEVILAQUA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Júlia Guimarães Bevilaqua**

**Fungos entomopatogênicos combinados com inseticidas químicos no manejo de mosca-branca em soja**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

**Aprovado em 08 de setembro de 2022:**

---

**Jonas André Arnemann, Prof. PhD.** (UFSM) - Videoconferência  
(Presidente/Orientador)

---

**José Domingos Jacques Leão, Prof. Dr.** (UFSM) - Videoconferência

---

**Rubens Alex Fiorin, Dr.** (Sumitomo Chemical) - Videoconferência

Santa Maria, RS  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sempre ter guiado meus passos pelo melhor caminho.

À minha família, em especial minha mãe Ana Lúcia, por nunca medir esforços e sempre apoiar e confiar no meu potencial.

Ao meu namorado Rafael, por ter sido meu amigo, meu apoio e meu exemplo durante toda a minha jornada profissional.

Ao meu orientador, PhD. Jonas Arnemann, por ter me recebido em seu grupo de pesquisa, pelas oportunidades de crescimento profissional, pela confiança depositada e conselhos durante todo este processo.

Aos colegas e professores integrantes dos grupos de pesquisa Manejo e Genética de Pragas e LabMIP da UFSM pelos anos de convívio, companheirismo, aprendizado e auxílio.

A todos que de alguma forma contribuíram e estiveram comigo durante esta jornada, muito obrigada!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS COMBINADOS COM INSETICIDAS QUÍMICOS NO MANEJO DE MOSCA-BRANCA EM SOJA

AUTOR: Júlia Guimarães Bevilaqua  
ORIENTADOR: Prof. PhD. Jonas André Arnemann  
Santa Maria, 08 de setembro de 2022.

A soja é o principal cultivo agrícola produzido e exportado pelo Brasil, e a mosca-branca é uma das principais pragas dessa cultura. Seu controle é realizado principalmente com inseticidas químicos, o que tem acarretado em aumento do número de aplicações e evolução de populações resistentes. Existe a necessidade de estudar alternativas para o controle desse inseto, e o controle biológico à base de fungos entomopatogênicos pode ser um meio eficaz e de menor risco ao ambiente. Este trabalho teve como objetivo delinear e avaliar quatro programas de manejo em duas safras de soja, entre eles duas alternativas de manejo integrado (aplicações intercaladas de produto químico com produto biológico formulado com fungos entomopatogênicos), uma alternativa de manejo químico convencional e uma alternativa de controle apenas biológico. Duas aplicações sequenciais com 10 dias de intervalo foram realizadas para cada programa, e os resultados da ANOVA e teste de Scott-Knott ( $P \leq 0.05$ ) revelaram diferenças significativas entre os tratamentos. Foi constatado que o manejo integrado composto por uma aplicação sequencial de inseticida químico seguido de biológico destacou-se como a melhor opção de controle, apresentando uma média de 72% de eficácia de controle para adultos e 44% para o controle de ninfas. Desta forma, o manejo integrado destas duas ferramentas pode ser uma excelente alternativa para o controle de mosca-branca em soja.

**Palavras-chave:** *Bemisia tabaci*. *Glycine max*. Manejo integrado de pragas. Controle biológico. Fungos entomopatogênicos.

## ABSTRACT

Master's Thesis  
Agronomy Postgraduate Program  
Federal University of Santa Maria

### INTEGRATION OF ENTOMOPATHOGENIC FUNGI WITH CHEMICAL INSECTICIDES FOR THE MANAGEMENT OF WHITEFLIES IN SOYBEAN

AUTHOR: Júlia Guimarães Bevilaqua  
ADVISOR: Prof. PhD. Jonas Andre Arnemann  
Santa Maria, September 8<sup>th</sup>, 2022.

Soybean is the main agricultural crop produced and exported by Brazil, and the whitefly is one of the main pests of this crop. Its control is carried out mainly with chemical insecticides, which has resulted in an increase in the number of sprays and evolution towards resistant populations. There is a need to study alternatives for the control of this insect, and biological control with entomopathogenic fungi can be an effective mean, offering less risk to the environment. This study aimed to design and evaluate four management programs in two soybean cropping seasons, including two integrated management alternatives (a spray of chemical insecticide intercalated with a spray of biological insecticide formulated with entomopathogenic fungi), a conventional chemical management alternative and a biological control alternative. Two sequential sprays 10 days apart were performed for each program, and the results of ANOVA and Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ) revealed differences between treatments. It was found that the integrated management consisting of a sequential spray of chemical insecticide followed by a biological spray stood out as the best control option, presenting an average of 72% of control efficacy for adults and 44% for nymphs. Therefore, the integrated management of both insecticide tools can be an excellent alternative for whitefly control in soybean.

**Key-words:** *Bemisia tabaci*. *Glycine max*. Integrated pest management. Biological control. Entomopathogenic fungi.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> Ciclo de vida da mosca-branca.....	16
<b>Figura 2</b> Processo de infecção dos fungos entomopatogênicos, exemplificado por <i>Beauveria bassiana</i> .....	20



## **ARTIGO: A sustainable approach to control whitefly on soybean: integrating entomopathogenic fungi with insecticides**

<b>Figura 1</b> Simulation of number and moment of sprays.....	46
<b>Figura 2</b> Average control efficacy (%) of each management program in the first (2021) and second (2022) cropping seasons. Santa Maria, RS, Brazil.....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Active ingredient, concentration, dose and cost of the insecticides that composes the treatments.....	38
<b>Tabela 2</b> Treatments, combinations of insecticides, order of spray and management program to which the combination belongs.....	39
<b>Tabela 3</b> Mean number (M) of living adults and nymphs and control efficacy (CE%) in the first cropping season (2021). Santa Maria, RS, Brazil.....	40
<b>Tabela 4</b> Mean number (M) of living adults and nymphs and control efficacy (CE%) in the second cropping season (2022). Santa Maria, RS, Brazil.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS

COI	Citocromo Oxidase I
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FAOSTAT	FAO Statistical Database
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mtDNA	DNA Mitocondrial
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1 ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E DANOS DA MOSCA-BRANCA <i>B. tabaci</i></b> ...	15
<b>2.2 MÉTODOS DE CONTROLE DE MOSCA-BRANCA</b> .....	17
<b>2.3 INSETICIDAS QUÍMICOS NO COTROLE DE MOSCA-BRANCA</b> .....	18
<b>2.4 CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS</b> .....	19
<b>2.5 FUNGOS ENTOMOPATOGENICOS</b> .....	19
<b>2.5.1 <i>Beauveria bassiana</i> no controle de <i>Bemisia tabaci</i></b> .....	21
<b>2.5.2 <i>Isaria fumosorosea</i> no controle de <i>Bemisia tabaci</i></b> .....	21
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	23
<b>3.1 OBJETIVO PRINCIPAL</b> .....	23
<b>3.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS</b> .....	23
<b>4 ARTIGO: A sustainable approach to control whitefly on soybean: integrating entomopathogenic fungi with insecticides</b> .....	24
<b>4.1 ABSTRACT</b> .....	24
<b>4.2 INTRODUCTION</b> .....	26
<b>4.3 MATERIAL AND METHODS</b> .....	28
<b>4.3.1 Experiment conditions and plant material</b> .....	28
<b>4.3.2 Treatments</b> .....	28
<b>4.3.3 Evaluations</b> .....	29
<b>4.3.4 Statistical analysis</b> .....	29
<b>4.4 RESULTS AND DISCUSSION</b> .....	29
<b>4.4.1 First cropping season (2021): High whitefly pressure</b> .....	30
<b>4.4.2 Second cropping season (2022): Medium whitefly pressure</b> .....	31
<b>4.4.3 Two-season analysis</b> .....	32
<b>4.5 CONCLUSIONS</b> .....	33
<b>4.6 REFERENCES</b> .....	34
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura agrícola mais relevante da América do Sul, sendo o Brasil, Argentina, Bolívia e Paraguai responsáveis por cerca de 59 milhões de hectares cultivados (FAOSTAT 2020). Muitas regiões destes países realizam mais de uma safra de soja por ano, como é o caso do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (FOLLMANN et al., 2017) e do Paraguai. Este modelo agrícola em áreas de cultivo tropicais e subtropicais favorece a ocorrência da mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae), importante praga da cultura da soja.

A mosca-branca é um inseto sugador polífono e vetor de vírus (POLSTON; DE BARRO; BOYKIN, 2014, GILBERTSON et. al., 2015), causador de patologias como a yellow mosaic virus disease (YMD) em soja (MARABI et. al., 2017). Além do dano direto por sucção da seiva, ao se alimentar, a mosca-branca excreta uma substância açucarada denominada *honeydew*, a qual serve como substrato para o desenvolvimento de fungos do gênero *Capnodium* sp., conhecido como fumagina. A ocorrência deste fungo acarreta na redução da superfície fotossintética das plantas, afetando a produtividade dos grãos. (NAVAS-CASTILLO; FIALLO-OLIVE; SANCHEZ-CAMPOS, 2011).

O ciclo biológico da mosca-branca varia de acordo com as condições ambientais (ALBERGARIA; CIVIDANES, 2002; TOSCANO et al., 2016). Em condições favoráveis, a espécie pode alcançar de 11 a 15 gerações por ano (BROWN; BIRD, 1992). Os adultos realizam a oviposição de ovos na face abaxial da folha, onde passam por 4 fases de ninfa e permanecem até a emergência do adulto (SUMMERS; NEWTON JUNIOR; ESTRADA, 1996). Ninfas de 1º e 2º instares localizam-se majoritariamente na região do terço médio das plantas e de 3º e 4º instares no terço inferior, o que dificulta seu contato direto com inseticidas. Este comportamento permite à população um crescimento considerável logo após a aplicação de produtos químicos. (POZEBON et al., 2019).

Na cultura da soja, quando não controlada, os danos de mosca-branca podem resultar em uma redução de produtividade de 31 kg ha<sup>-1</sup>, considerando

uma densidade populacional de um inseto por trifólio (PADILHA et al., 2021). Grupos químicos como neonicotinoides, organofosforados, piretroides, entre outros, costumam ser amplamente utilizados devido ao seu efeito rápido e visível; no entanto, o uso convencional de inseticidas químicos como único método de controle de mosca-branca está perdendo eficácia, pois o inseto desenvolveu resistência à maioria desses inseticidas (HOROWITZ et al., 2020). A dependência e os problemas resultantes do uso de inseticidas químicos estimulam a busca por alternativas mais sustentáveis para controle das pragas agrícolas, como o controle biológico (KALVNADI et al., 2018; LANCEY et al., 2015).

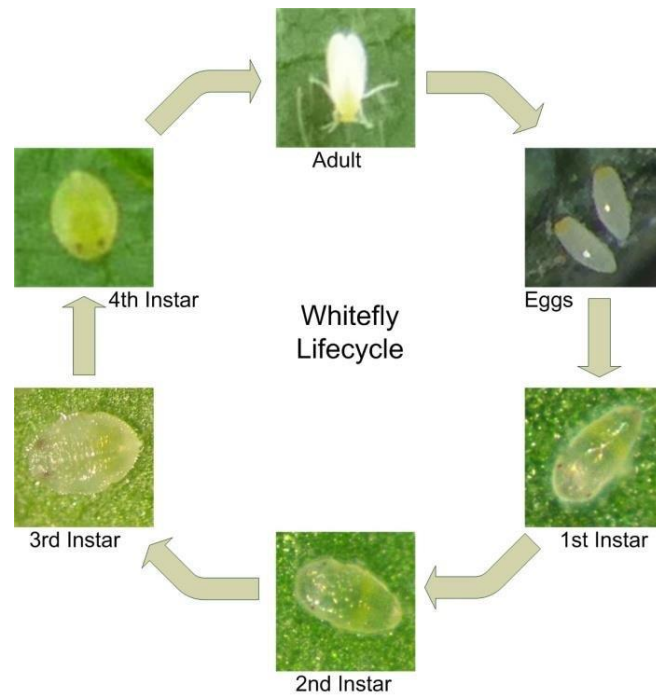
Os produtos biológicos a base de fungos entomopatogênicos vêm sendo utilizados em diversas regiões e culturas, entre eles, por exemplo, *Isaria fumosorosea* Wize 1904, que vem sendo ativamente estudado e mostra resultados positivos no manejo de *B. tabaci* (WANG et. al., 2019); e *Beauveria bassiana* Vuillemin 1912, que tem sido eficientemente utilizado no controle de mosca-branca (NETTO & BARROS, 2016) e é o fungo mais utilizado no mundo para o controle de artrópodes em geral (ARTHURS; DARA, 2019).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ASPECTOS BIOECOLÓGICOS E DANOS DA MOSCA-BRANCA *B. tabaci*

A mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) é um inseto sugador capaz de atacar mais de 600 espécies de plantas devido à sua alta polifagia (POLSTON; DE BARRO; BOYKIN, 2014) e vetor de mais de 300 viroses, contemplando os gêneros: Begomovírus, Carlavírus, Crinivírus, Ipomovírus e Torradovírus (GILBERTSON et al., 2015). Além do dano direto por sucção da seiva, ao se alimentar excreta uma substância açucarada denominada *honeydew*, a qual serve como substrato para o desenvolvimento de fungos do gênero *Capnodium* sp., conhecido como fumagina, acarretando na redução da superfície fotossintética da planta (NAVAS-CASTILLO; FIALLO-OLIVE; SANCHEZ-CAMPOS, 2011).

O ciclo de vida da mosca-branca consiste das fases: ovo, quatro ínstaes ninfais e adulto. Os adultos realizam a oviposição de ovos na face abaxial da folha, que posteriormente evoluem para ninfas do primeiro ínstar, as quais possuem capacidade de locomoção e desenvolvem-se por aproximadamente 11 dias. Após este período, fixam-se na folha, passando pelos ínstaes ninfais 2, 3 e 4, onde permanecem até a emergência do adulto (SUMMERS; NEWTON JUNIOR; ESTRADA, 1996). A região do terço superior das plantas de soja são preferência para oviposição. Portanto, acompanhando o crescimento da planta, ninfas de 1º e 2º ínstaes localizam-se principalmente na região do terço médio das plantas e de 3º e 4º ínstaes no terço inferior (POZEBON et al., 2019). A duração do ciclo varia de acordo com as condições ambientais (principalmente temperatura), sendo que em temperaturas entre 25° e 27°C apresenta, em média, 15 a 25 dias (ALBERGARIA; CIVIDANES, 2002; TOSCANO et al., 2016). As fêmeas podem ovipositar de 100 a 300 ovos durante o seu ciclo de vida e, em condições favoráveis, a espécie pode alcançar de 11 a 15 gerações por ano (BROWN; BIRD, 1992).



**Figura 1.** Ciclo de vida da mosca-branca. (BARBEDO, 2014).

Devido ao seu ciclo de vida relativamente curto e à sua capacidade de sobrevivência em uma única área o ano todo, o controle de *B. tabaci* é dificultado, implicando em um número alto de aplicações de inseticidas químicos por cultivo (ERDOGAN et al., 2008). Esta frequência de aplicação aliada ao uso repetitivo do mesmo ingrediente ativo, pode potencializar o aparecimento de resistência do inseto ao inseticida (SHADMANY; OMAR; MUHAMAD, 2013), bem como contribuir com o aumento de produtores financeiramente comprometidos devido ao elevado custo que envolve a aplicação de produtos químicos (ARNEMANN et al., 2019).

Detectada pela primeira vez em território brasileiro na Bahia e registrada na maioria dos estados da federação (MORAES et al. 2018), *B. tabaci* é representada por um complexo de espécies morfológicamente indistinguíveis, mas distintas ecologicamente e geneticamente (KANAKALA; GHANIM, 2015). Supõe-se que estas espécies apresentem preferência por determinadas plantas, contudo a diferenciação entre espécies necessita de análises moleculares com base no DNA mitocondrial, subunidade citocromo-oxidase (mtDNA - COI) (BOYKIN et al., 2013). Dentro do complexo de espécies crípticas que ocorrem no Brasil podem ser observadas: “*Mediterranean*” (MED), “*Middle East-Asia*



*Minor 1*” (MEAM1), “*New World*” (NW) e “*New World 2*” (NW2), antigamente descritas como biótipos Q, B e A, respectivamente (DE BARRO et al., 2011).

Fundamental na economia brasileira, a produção de soja do país na safra de 2021/22 foi mensurada em aproximadamente 124 milhões de toneladas, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável por 9.111 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Por muitos anos, *B. tabaci* foi considerada praga ocasional em cultivos de soja, com o aumento da expansão da fronteira agrícola da soja e principalmente o emprego frequente do controle químico da praga (ARNEMANN et al. 2019), modificou-se o status de ocorrência da mosca-branca na cultura, colocando-a em patamares de relevância (OLIVEIRA et al., 2018). Dada a importância desta *commodity* e a problemática recorrente da praga em questão, buscar alternativas além do controle químico desafia a agricultura moderna, e cada vez mais o controle biológico vem tomando as frentes da pesquisa para alcançar as premissas do Manejo Integrado de Pragas.

## **2.2 MÉTODOS DE CONTROLE DE MOSCA-BRANCA**

Os programas de manejo da mosca-branca dependem muito do uso de inseticidas químicos, devido à ausência de alternativas como agentes de controle biológico, como predadores e parasitóides. A crescente ocorrência de *B. tabaci* nos campos brasileiros de soja pode estar associada ao uso abusivo de inseticidas não seletivos e seus efeitos nocivos sobre inimigos naturais, bem como à pressão de seleção sobre populações resistentes da praga (SILVA, OMOTO, BLEICHER e DOURADO, 2009).

Grupos químicos como neonicotinoides, organofosforados, piretroides, entre outros, costumam ser amplamente utilizados devido ao seu efeito rápido e visível; no entanto, seu amplo espectro de ação também pode resultar em efeitos nocivos sobre inimigos naturais, como parasitóides e predadores (SAIN et. al. 2022). A dependência e os problemas resultantes do uso de inseticidas químicos estimulam a busca por alternativas mais sustentáveis para controle das pragas agrícolas, como o controle biológico (KALVNADI et al., 2018; LANCEY et al., 2015).

Fungos entomopatogênicos (por exemplo *Beauveria bassiana*) têm sido eficientemente utilizados no controle de mosca-branca (NETTO & BARROS, 2016). As particularidades envolvidas em seu uso aliam-se ao alto número de pulverizações de fungicidas (geralmente de quatro a cinco por ciclo da cultura), dificuldade de manuseio e armazenamento destes produtos e falta de informações concretas e difundidas, impedindo uma adoção mais ampla de tais estratégias. Como resultado, os produtores brasileiros de soja relatam o uso de cinco a seis pulverizações de inseticidas químicos visando especificamente o controle desta praga durante o ciclo da colheita (APROSOJA, 2017).

### **2.3 INSETICIDAS QUÍMICOS NO CONTROLE DE MOSCA-BRANCA**

O grupo químico dos piretroides é amplamente utilizado no controle de mosca-branca por possuir um efeito de choque rápido e visível no controle de insetos adultos da praga. Este grupo químico atua como modulador do canal de sódio dos insetos, e aplicações sequenciais são importantes para o desempenho destes inseticidas (SALGADO, 2013).

Já os inseticidas pertencentes ao grupo químico dos neonicotinoides atuam como agonistas dos receptores nicotínicos da Acetilcolina (SALGADO, 2013), e têm como característica um efeito residual mais prolongado e ação sistêmica na planta (STAMM et al., 2016). Este grupo químico apresenta bons resultados de controle de insetos adultos e pode refletir também em maior eficácia de controle de ninfas de mosca-branca, as quais alocam-se na face abaxial da folha, dificultando o contato direto com inseticidas (ARNEMANN et al., 2019).

Outro grupo químico comumente utilizado é o éter piridiloxipropílico, em específico devido ao grande uso do ingrediente ativo pertencente à este grupo, piriproxifem. O piriproxifem é um regulador de crescimento mímico do hormônio juvenil, dificultando o avanço do ciclo biológico da mosca-branca na fase de ninfa para adulto (SALGADO, 2013).

Neste trabalho, utilizamos produtos com ingredientes ativos pertencentes ao grupo químico dos piretroides (bifentrina), neonicotinoides (dinotefuram e acetamiprido), e éter piridiloxipropílico (piriproxifem).

## **2.4 CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS**

O controle biológico de pragas é dividido em macroorganismos (parasitoides e predadores) e microorganismos (bactérias, vírus, fungos e nematoides entomopatogênicos).

No Brasil, as dificuldades encontradas por programas de controle biológico são diversas, especialmente pelo modelo agrícola ser caracterizado por grandes áreas de monocultivo e, apesar do país contar com excelentes programas de controle biológico, há dificuldade em termos de monitoramento e liberação de agentes biológicos (PARRA, 2011). Além disto, estão presentes questões como a identidade cultural dos produtores, disponibilidade e qualidade de insumos biológicos, seletividade de pesticidas químicos, entre outros (PARRA, 2014).

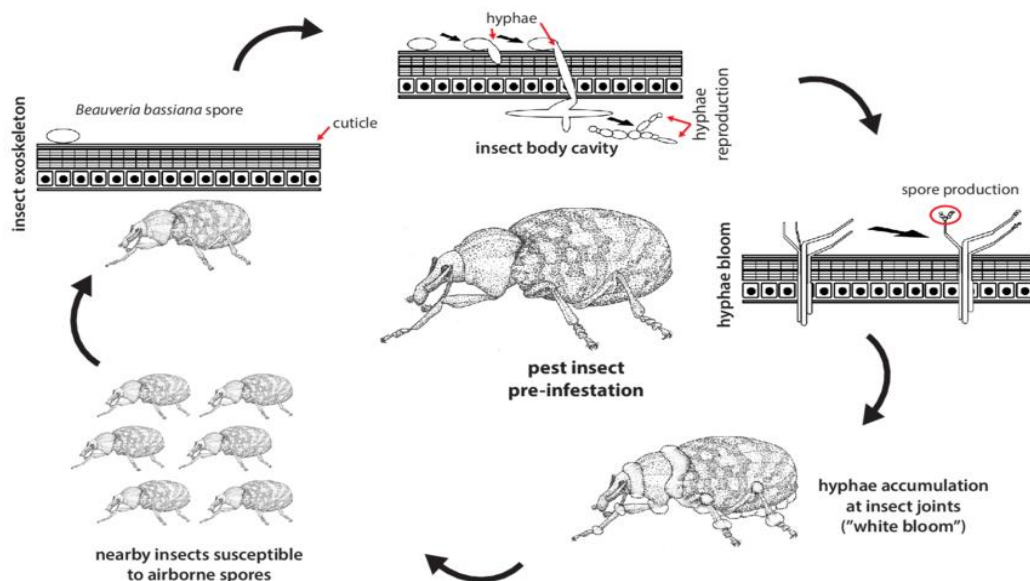
Apesar disso, em 2022, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), possui em seu banco de dados 241 produtos biológicos registrados no Brasil para o controle de diversas pragas. O mercado mundial de insumos biológicos encontra-se atualmente em 10.6 bilhões de dólares, apresentando um expressivo crescimento a cada ano. O setor conta com uma estimativa de disparada de 74% em apenas quatro anos, atingindo valores próximos de 18.5 bilhões até 2026, segundo relatórios recentes publicados pela empresa de pesquisa de mercado Research and Markets (2021).

## **2.5 FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS**

Os fungos entomopatogênicos são patógenos de largo espectro de ação (ALVES, 1998). A maioria, se não todos, possui ciclos de vida sincronizados com os estágios do hospedeiro (inseto) e com as condições ambientais. Infecções por fungos ocorrem em diversas espécies de artrópodes, incluindo insetos que não são pragas de culturas cultivadas (SHAH & PELL, 2003). Possuem grande versatilidade e podem infectar diferentes estágios de desenvolvimento dos hospedeiros, como ovos, larvas, pupas e adultos (ALVES, 1998). A espécie de fungo entomopatogênicos mais empregada em controle biológico no Brasil é *B.*

*bassiana*, devido ao alto nível de virulência e a fácil produção em massa (ALVES, 1998).

A ação dos fungos entomopatogênicos, de modo geral, se dá pela adesão do esporo no tegumento do inseto, seguida da germinação de conídios. Após a penetração na cutícula, ocorre a multiplicação do fungo na hemocele do inseto e a produção de toxinas (ocorre apenas em alguns fungos ou cepas), causando a morte do indivíduo infectado. Após a colonização do hospedeiro, o micélio atravessa o tegumento, esporulando na superfície do inseto e os propágulos são disseminados (LECUONA et al, 1996).



**Figura 2.** Processo de infecção dos fungos entomopatogênicos, exemplificado por *Beauveria bassiana* (Adaptado de: Murray et al. 2013).

A ação patogênica dos fungos pode ser comprometida quando utilizada a campo, devido à grande influência das condições ambientais (BUTT; COPPING, 2000), bem como a competição com outros microorganismos ou a incompatibilidade com produtos químicos comumente utilizados no manejo fitossanitário de áreas agrícolas (NEVES; SANTORO, 2011). Ainda assim, segundo Faria e Wraight (2001), os entomopatógenos possuem capacidade de controle de mosca-branca sob um uma ampla gama de condições ambientais. Estudos de laboratório e de campo revelam que as condições de alta umidade necessárias para o desenvolvimento de epizootias naturais não são necessariamente imprescindíveis para a infecção fúngica ocorrer. Muitos

patógenos encontram umidade suficiente para germinação e penetração no tegumento do hospedeiro no microclima da folha ou da camada limítrofe do próprio inseto (FARIA E WRAIGHT, 2001). Tal ação foi demonstrada para a infecção de ninfas de *B. tabaci* por *B. bassiana* e *I. fumosorosea* (WRAIGHT et al., 2000). Em muitos casos, alta temperatura pode ser um fator mais limitante do que a umidade (INGLIS et al., 1997), o que é especialmente significativo no que diz respeito ao controle de *B. tabaci*, que é uma praga-chave em regiões de clima quente e seco (FARIA E WRAIGHT, 2001).

### **2.5.1 *Beauveria bassiana* no controle de *Bemisia tabaci***

Uma das tentativas iniciais de utilizar *B. bassiana* de forma extensiva ocorreu no meio-oeste dos EUA para o controle de percevejos, em meados de 1800 (LORD, 2005). É um dos entomopatógenos fúngicos mais estudados, dos quais milhares de isolados foram coletados em diferentes partes do mundo para o controle de insetos-praga (REHNER et al. 2011). Apesar de raramente ser observado causando infecção de maneira natural em populações de mosca-branca, *B. bassiana* mostra grande potencial como bioinseticida (WRAIGHT, 2001). Vários estudos apontam a alta virulência deste fungo para o controle de mosca-branca, sendo a espécie entomopatogênica com maior quantidade de produtos formulados no mundo para esta praga (VICENTINI et. al., 2001), por ser facilmente cultivada em massa e ser compatível com diversos tipos de formulação (JACKSON, et. al., 2010).

### **2.5.2 *Isaria fumosorosea* no controle de *Bemisia tabaci***

O interesse no complexo de espécies de *I. fumosorosea* e seu uso no controle da mosca-branca começou por volta de 1990, quando a cepa PFR 97 foi isolada no estado da Florida, sendo definida como altamente virulenta à mosca-branca e outras pragas (OSBORNE E LANDA, 1992). A descoberta destas cepas iniciais desencadeou diversas pesquisas sobre o uso da espécie para o controle de mosca-branca, resultando no desenvolvimento de produtos comerciais formulados para aplicação a campo (FARIA E WRAIGHT, 2007). O resultado destas investigações demonstrou que o complexo de espécies *I.*

*fumosorosea* é altamente disseminável e numeroso, e a espécie está entre os fungos entomopatogênicos mais importantes para o controle da mosca-branca.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

Delinear uma estratégia de manejo eficaz no controle de mosca-branca em soja integrando alternativas de controle químico e biológico formulado com fungos entomopatogênicos, a fim de contribuir para o Manejo Integrado de Pragas.

#### **3.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS**

1. Avaliar a eficácia de controle dos programas de manejo químico convencional, biológico com fungos entomopatogênicos e manejo integrado com ambos os métodos para o controle de mosca-branca em soja.
2. Identificar qual programa de manejo se sobressai com relação aos demais, possibilitando uma escolha de controle mais assertivo de mosca-branca em soja.

#### **4 ARTIGO: A sustainable approach to control whitefly on soybean: integrating entomopathogenic fungi with insecticides**

Júlia Guimarães Bevilaqua<sup>1</sup>, Guilherme Padilha<sup>1</sup>, Henrique Pozebon<sup>1</sup>, Rafael Paz Marques<sup>1</sup>, Alberto Cargnelutti Filho<sup>2</sup>, Paulo César Ramon<sup>1</sup>, Lucas Boeni<sup>1</sup>, Lauren Brondani Castilhos<sup>1</sup>, Giulian Rafael da Luz<sup>1</sup>, André Luís Soares de Souza Brum<sup>1</sup>, Nicolle Biruel<sup>1</sup>, Jose Domingos Jacques Leao<sup>1</sup>, Jonas André Arnemann<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Crop Protection, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. E-mails: juliasancas@gmail.com, padilhaguilherme.gp@gmail.com, henriquepozebon@gmail.com, rafael\_pazmarques@hotmail.com, pcramon2@gmail.com, lucasboeni2@gmail.com, brondani.lauren@gmail.com, giulianluz@gmail.com, andre.luis.brum@hotmail.com, nicollebiruel@gmail.com, jaaaccqgq@gmail.com, jonasarnemann@gmail.com

<sup>2</sup>Department of Crop Science, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

\*Corresponding author: Jonas Arnemann, Crop Protection Department, UFSM, Santa Maria, RS, Brazil. E-mail: jonasarnemann@gmail.com

##### **4.1 ABSTRACT**

Soybean is the main agricultural crop produced and exported by Brazil, and the whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae), is one of the main pests of this crop. Whitefly control is carried out mainly with chemical insecticides, which has led to an increase in number of applications and evolution towards resistant populations. There is a need to study alternatives for the control of this insect-pest, and biological control using entomopathogenic fungi can be an effective tool, offering less risk to the environment. This study aimed to design and evaluate four management programs in two soybean cropping seasons, including two integrated management alternatives, a conventional chemical management alternative and a biological (fungal) control alternative. Two sequential sprays set 10 days apart were performed for each program, and the results of ANOVA and Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ) revealed differences between treatments. The integrated management consisting of a sequential spray of



chemical insecticide followed by a fungal one stood out as the best control option, presenting 60 % of control efficacy for whitefly adults and 34 % for whitefly nymphs in the first cropping season; 83 % of control efficacy for whitefly adults and 53 % for whitefly nymphs in the second cropping season. Therefore, integrating fungal-based products with chemical insecticides is a viable alternative for controlling *B. tabaci* in soybean.

**Keywords:** *Beauveria bassiana*, *Bemisia tabaci*, *Glycine max*, Integrated Pest Management, *Isaria fumosorosea*

## 4.2 INTRODUCTION

Soybean is the main grain crop grown in South America, with 59 million hectares cultivated in Brazil, Argentina, Bolivia and Paraguay (FAOSTAT 2020). Many regions within these countries produce more than one soybean crop per year, as is the case of the state of Rio Grande do Sul, Brazil (Follman et al. 2017). This intensive cultivation of tropical and subtropical areas is ideal for the occurrence of the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae), an important pest of soybean.

The whitefly is a highly polyphagous sucking pest, using more than 600 plant species as hosts (Polston et al. 2014) and transmitting over 300 viruses (Gilbertson et al. 2015), causing diseases such as the yellow mosaic virus disease (YMD) in soybean (Marabi et al. 2017). In addition to direct feeding damage, whiteflies release honeydew while feeding on soybean leaves, allowing the growth of sooty mold fungi (*Capnodium* sp.) and consequently reducing the photosynthetically active area of soybean plants (Navas-Castillo et al. 2011). Yield loss due to whitefly damage may reach as high as 31 kg ha<sup>-1</sup> for a population density of one whitefly per trifoliolate (Padilha et al. 2021).

The lifecycle of *B. tabaci* includes an egg stage, four nymphal instars and an adult stage, whose duration varies according to the environmental conditions (Albergaria and Cividanes 2002). Females oviposit 100 to 300 eggs, resulting in 11 to 15 generations per year under suitable conditions (Brown and Bird 1992). Oviposition occurs in the abaxial side of younger leaves, where the nymphs remain until adult emergence (Summers et al. 1996). Older nymphs (i.e. third and fourth instars) are found mainly in the lower canopy segment of soybean plants, reducing their contact with insecticide sprays and allowing for fast reinfestations (Pozebon et al. 2019).

Short lifecycle and capacity to survive in the same area year-round have prevented an efficient management of *B. tabaci* in soybean fields, leading to overspraying (Erdogan et al. 2008). Although widely used due to their fast and visible effect, broad-spectrum chemical insecticides (e.g. neonicotinoids, pyrethroids, organophosphates) have become increasingly inefficient in

controlling whiteflies due to rapid selection of resistance towards most active ingredients (Horowitz et al. 2020), in addition to causing harmful effects upon beneficial insects (e.g. predators and parasitoids; Sain et al. 2022). Developing less harmful control strategies to avoid exclusive use of chemicals, such as fungal biological control agents, is therefore an ever-increasing concern (Kalvnadi et al. 2018; Lancey et al. 2015).

Satisfactory control of *B. tabaci* has been obtained using certain entomopathogenic fungi, such as *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) Wize 1904 (Wang et al. 2019), whose efficacy was enhanced when mixed with chemical insecticides (Zou et al. 2014); and *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) Vuillemin 1912, (Netto and Barros 2016), which is the most widely used fungal agent for arthropod control (Arthurs and Dara 2019). The potential association of chemical and fungal insecticides, whether combined or in sequential sprays, has been explored in crops such as cotton, representing a valuable opportunity to minimize impacts on the environment within an Integrated Pest Management (IPM) approach (Sain et al. 2019). Thus, the aim of this study was to outline four management programs combining chemical and fungal-based insecticides and evaluate their efficacy in controlling *B. tabaci* in soybean.

## 4.3 MATERIAL AND METHODS

### 4.3.1 Experiment conditions and plant material

Two field experiments were carried in Santa Maria-RS/Brazil (29°42'48" S, 53°43'59" W, 119 meters a.s.l.) in two cropping seasons (2021 and 2022). The soybean variety TMG 7063 IPRO was sowed with a population density of 300,000 plants ha<sup>-1</sup> and row spacing of 0.5 meters. The sowing dates were 12/11/2020 (first cropping season) and 12/17/21 (second cropping season). In both seasons, 250 kg hectare<sup>-1</sup> of NPK 00-20-20 fertilizer were used. Weeds were controlled prior to sowing (glyphosate 1,040 g a.i. ha<sup>-1</sup> + 2,4-D 1,005 g a.i. ha<sup>-1</sup>), and at the V3 soybean growth stage with a foliar spray of glyphosate (1,040 g a.i. ha<sup>-1</sup>). The seeds were treated with carbendazim + thiram (30 + 70 g a.i. ha<sup>-1</sup>), and a foliar spray of azoxystrobin (120 g a.i. ha<sup>-1</sup>) + tebuconazole (160 g a.i. ha<sup>-1</sup>) was carried out for preventive control of diseases in the V8 growth stage.

### 4.3.2 Treatments

In each experiment, four biological (fungal) and two chemical insecticides were selected to compose the treatments (Table 1). These insecticides were combined into 22 sequences of spraying, summing up 23 treatments (adding one untreated control plot) (Table 2), each plot with a 30m<sup>2</sup> area. Chemical treatments were chosen based on the chemical groups regularly recommended by field technicians to control whitefly on soybeans, while the biological insecticides formulated with entomopathogenic fungi were chosen for being the most adopted by crop producers to control the pest in greenhouse crops, where they are more commonly used. The insecticide combinations were designed to form four management programs with two applications each: chemical (2x); chemical (1<sup>st</sup>) + biological (2<sup>nd</sup>); biological (2x); and biological (1<sup>st</sup>) + chemical (2<sup>nd</sup>) (Table 2). In all treatments, the two insecticide sprays were performed with a 10 days interval between them, with a spraying volume of 150 L ha<sup>-1</sup>. A backpack sprayer pressurized with CO<sub>2</sub>, TJ XR-110015 nozzles, with a spray bar of 2 meters in length and 0.5 meters between tips was used. By the time of the first spray, soybean plants were at the growth stage R5.4 in the first experiment (cropping

season 21), and R5.2 in the second experiment (cropping season 22). A representation of the moment of each spray is shown in Figure 1.

### 4.3.3 Evaluations

Evaluations were carried out prior to spray and 3, 5, 7 and 10 days after each spray. Evaluations for whitefly adults were performed by directly counting the number of insects on the underside of 20 leaflets from the upper third of the plants, randomly chosen from the central lines of the canopy within each plot. For the evaluation of nymphs, 20 central leaflets were collected per plot, randomly selected in the middle and lower thirds of the soybean plants. Subsequently, the number of nymphs was directly counted in a delimited area of 20cm<sup>2</sup> with a magnifying glass (Zeiss Discovery v.12). Sampling of adults and nymphs was based on the distribution pattern of *B. tabaci* in soybean plants (Pozebon et al. 2019). For each plot, an area of 6m<sup>2</sup> was harvested to estimate grain yield.

### 4.3.4 Statistical analysis

The experimental design was completely randomized blocks with each soybean leaflet sampled representing one experimental unity. The control efficacy of each treatment was calculated in each evaluation using the Abbott equation (1925):

$$C.E. (\%) = \left(1 - \frac{Pt}{Pc}\right) \times 100$$

where *C.E.* is the control efficacy (corrected insect mortality) (%) in each treatment, *Pc* is the average number of individuals alive in the control plot, and *Pt* is the average number of individuals alive in the treatment plot. Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the Scott-Knott test was performed at 5% significance ( $P \leq 0.05$ ). All statistical analysis were performed using the Sisvar Software (Ferreira 2014).

## 4.4 RESULTS AND DISCUSSION

#### 4.4.1 First cropping season (2021): High whitefly pressure

As the objective of this study was to point out the best strategy to control *B. tabaci* in soybean, this section will highlight the treatments that stood out in a positive and negative way, and the discussion will be carried out by grouping the treatments in management programs (shown in Table 2).

The first spray was carried out with an average whitefly population of 3 adults and 22 nymphs per soybean trifoliolate (Table 3), above the economic injury level proposed for this pest by Padilha et al. (2021), which is around  $1.465 \pm 0.195$  whiteflies per trifoliolate. Adults and nymphs of *B. tabaci* were evaluated as separate variables due to differences in the behavior of each biological phase.

The treatments differed significantly regarding adult control. The association of dinotefuran + piriproxifen + *Beauveria bassiana* IBCB 66 (Treatment 14) provided the highest control of whitefly adults (75.6 %), whereas two sequential sprays of *Beauveria bassiana* SIMBI BB15 (Treatment 7) presented the lowest control (23.9 %) (Table 3).

Considering the different management programs, the chemical + biological group was the most effective in controlling whitefly adults (60 % of mortality), followed by the chemical group (59 % of mortality). The biological and biological + chemical groups did not differ among themselves (Figure 2) and were less effective (35 % and 32 % of mortality, respectively), probably due to the slower action of fungal biological agents, which take at least seven days to yield visible results (Faria and Wraight 2001). Accordingly, control efficacy in the biological and biological + chemical groups increased after 7 DA1S (days after first spray) (Table 3)

The treatments also differed significantly regarding nymph control. The association of acetamiprid + bifenthrin + *Beauveria bassiana* IBCB 66 (Treatment 19) provided the highest control of whitefly nymphs (56.5 %), whereas the combination *Beauveria bassiana* SIMBI BB15 + acetamiprid + bifenthrin (Treatment 9) presented the lowest control (1.9 %), statistically similar to the untreated plot (Table 3). Considering the different management programs, the chemical + biological group was again the most effective (34 % of nymph

mortality), followed by the chemical group (33 %), whereas the biological and biological + chemical groups were less effective (10 % and 12 % of mortality, respectively) and did not differ among themselves.

All treatments presented unsatisfactory control of whitefly nymphs, probably due to the feeding behaviour of this life stage and difficulties in reaching the target (Pozebon et al. 2019). Nymph control depends on the systemicity and residual action of neonicotinoids or growth regulators within the plants, whereas whitefly adults typically feed on the upper soybean leaves and are thus more easily controlled with sequential sprays of pyrethroids (Arnemann et al. 2019).

No significant differences in grain yield were observed between treatments, due to the great influence of other environmental conditions during both of the crop seasons.

#### **4.4.2 Second cropping season (2022): Medium whitefly pressure**

The first spray was carried out with an average whitefly population of 5 adults and 9 nymphs per soybean trifoliolate (Table 3), again above the economic injury level proposed by Padilha et al. (2021) but lower than observed in the previous cropping season. Adults and nymphs were evaluated as separate variables.

The treatments differed significantly regarding adult control, with the association dinotefuran + pyriproxyfen + *Beauveria bassiana* IBCB 66 (Treatment 14) presenting again the highest control (85.8 %). Two sequential sprays of *Isaria fumosorosea* ESALQ 4778 (Treatment 10), on the other hand, resulted in the lowest control of whitefly adults (36.8 %) (Table 3).

Considering the different management programs, the chemical + biological group was again the most effective (83 % of adult mortality), followed by the chemical group (82 %), from which it did not differ significantly. Both groups surpassed the control level considered ideal for arthropod pests (80 %). The biological and biological + chemical groups, on the other hand, provided only 51 % of adult mortality, not differing among themselves (Figure 2). Although the 7 DA1S evaluation was not carried out during this cropping season due to climatic

adversities, an overall increase in control efficacy was observed for the fungal products 10 days after spraying (both on first and second spray; Table 3), agreeing with the results found in the previous season.

The treatments also differed significantly regarding nymph control. The association of acetamiprid + bifenthrin + *Beauveria bassiana* SIMBI BB15 (Treatment 21) provided the highest control of whitefly nymphs (82.5 %), whereas the combination *Beauveria bassiana* ESALQ-PL63 + acetamiprid + bifenthrin (Treatment 6) presented the lowest control (39.8 %) (Table 3). Considering the different management programs, the chemical + biological group was again the most effective (53 % of nymph mortality), followed by the chemical group (52 %), whereas the biological and biological + chemical groups were less effective (45 % and 40 % of mortality, respectively) and did not differ among themselves.

No significant differences in grain yield were observed between treatments, due to the great influence of other environmental conditions during both cropping seasons.

#### **4.4.3 Two-season analysis**

The chemical + biological and chemical management groups were effective in controlling whitefly adults and nymphs in both cropping seasons (2021 and 2022), whereas the biological and biological + chemical groups did not reach satisfactory control levels. The higher efficacy obtained when chemicals were used in the first spray is probably associated with the fast action of these active ingredients (Hannig et al. 2009), thus rapidly halting whitefly population growth.

This initial suppression in the infestation level may also have enhanced the efficacy of the fungal insecticides in the chemical + biological group (i.e. biologicals in the second spray), as entomopathogenic fungi are more suitable for keeping insect-pest populations below the economic injury level rather than totally eradicating them (Buhroo et al. 2016). Conversely, management groups that received biologicals in the first spray were less effective due to their slower action (at least 7 days to act; Faria and Wraight 2001).



The action of entomopathogenic fungi, in general, occurs through the accession of the fungal spore to the integument of the insect, followed by the germination of conidia. After penetrating the cuticle, the fungus multiplies in the insect's hemocoel and produces toxins, causing the death of the infected individual. After host colonization, the mycelium crosses out of the integument, sporulating on the insect surface and the propagules are disseminated (Lecuona et al. 1996). The pathogenic action of fungi can be compromised when used in the field, due to the great influence of environmental conditions (Butt and Copping 2000), as well as competition with other microorganisms or incompatibility with chemicals commonly used in the crop protection management of agricultural areas (Neves and Santoro 2011). Even so, according to Faria and Wraight (2001), entomopathogens have the ability to control whitefly under a wide range of environmental conditions.

Control levels in the first season (2021) were overall lower than observed in the second season (2022), probably due to higher infestation level at the moment of the first spray. Starting the management program at the onset of the whitefly infestation is, therefore, essential for obtaining satisfactory control levels, regardless of the insect's life stage. Further studies should assess the control efficacy of fungal-based products integrated with chemical insecticides against other agriculturally important pests.

The cost per hectare of the fungi-based insecticides is usually similar, while the cost of chemical insecticides varies according to the active ingredients and their concentration (as shown in Table 1). In general, the integration of both control methods is economically viable due to the control result and positive environmental impact of this strategy. Even so, it is important to point out that fungal insecticides cannot always be mixed in a tank with other chemical products, requiring an exclusive spray, thus increasing the operational cost due to the spray logistic of the operation. The adoption of the most appropriate control strategy will depend on the reality of each area at the time of spray.

#### **4.5 CONCLUSIONS**

(1) Integrating entomopatogenic fungi-based products with chemical insecticides enhances *B. tabaci* control in soybean.

(2) Applying entomopatogenic fungi-based products after two sequential sprays of chemical insecticides is more effective for *B. tabaci* control than applying chemicals alone, fungal products alone or fungal products in the first spray.

## **Acknowledgements**

We would like to thank the members of the Pest Management and Genetics Laboratory - UFSM for their fundamental help in carrying out this work. In addition, we would like to thank the Polytechnic College of UFSM and the Department of Soils of UFSM for providing infrastructure and crop management support during the experiment conduction.

## **4.6 REFERENCES**

Albergaria, N. M. S., Cividanes, F. J., 2002. Exigências térmicas de *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 359-363.

Arnemann, J. A., et. al., 2019. Integrated Management of Tomato Whitefly Under Greenhouse Conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 443.

Arnemann, J.A., et. al., 2019. Managing whitefly on soybean. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 11(9), p. 41-51.

Arthurs, S., Dara, S. K., 2019. Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 165, p. 13-21.

Brown, J. K., Bird, J., 1992. Whitefly: transmitted geminivírus and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n.3, p. 220-225.

Buhroo, A.A., et. al., 2016. An assessment on population density of San Jose scale *Quadraspidotus perniciosus* (comstock) and its biological control in

Kashmir (Hemiptera: Diaspididae). **Munis Entomology and Zoology**, v. 11, p. 33–38.

Butt, T.M., Copping, L.G., 2000 Fungal biological control agents. **Pesticide Outlook**, v. 11, p. 186-191.

Erdogan, C., et. al., 2008. Insecticide resistance and biotype status of populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Turkey. **Crop Protection**, v. 27, n. 3–5, p. 600–605.

Faria, M., Wraight, S.P., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi, **Crop Protection**, v. 20 (9), p. 767-778.

Ferreira, D. F. 2014. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia** Lavras, v. 38, p. 109-112.

Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database (FAOSTAT). 2020. Food and agriculture organization of the United Nations statistical database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed 28 July 2022)

Follmann, D. N., et. al., 2017. Relações lineares entre caracteres de soja safrinha. **Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal**, v. 40, p. 213-221.

Gilbertson, R. L., et. al., 2015. Role of the Insect Supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the Emergence and Global Spread of Plant Viruses. **Annual Review of Virology**, v. 2, p. 67-93.

Hannig, G. T. et. al., 2009. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. **Pest Management Science**, v. 65 (9), p. 969-974.

Horowitz, A.R., et. al., 2020. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. **Journal of Pest Science**, v. 93 (3), p. 893-910.

Kalvnadi, E., et. al., 2018. 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.

Lacey, L. A., et. al., 2015. Insect pathogens as biological control agents: back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 132, p. 1-41.

Lecuona, R.E., Papierok, B., Riba, G., 1996. Hongos entomopatógenos. In: Lecuona, R.E. **Microorganismos Patógenos Empleados en el Control Microbiano de Insectos Plaga**. p. 35-60.

Marabi, R.S., et. a., 2017. Seasonal population dynamics of whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) in soybean. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. v. 5(2), p. 169-173.

Navas-Castillo, J., et. al., 2011. Doenças virais emergentes transmitidas por moscas-brancas. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, p. 219 – 248.

Netto, J. C., Barros, E. M., 2016. Efeito de inseticidas sobre o controle de mosca-branca na cultura do algodoeiro. Cuiabá, MT, Brazil: Instituto Mato-Grossense do Algodão.

Neves, P.M.O.J., Santoro, P.H., 2011. Fungos entomopatogênicos. Controle Biológico de Pragas. **Ciência&Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria**. n. 43. p. 121-132.

Padilha, G., et. al., 2021. Damage assessment of *Bemisia tabaci* and economic injury level on soybean. **Crop Protection**, v. 143, 105542.

Polston, J.E., 2014. Transmission specificities of plant viruses with the newly identified species of the *Bemisia tabaci* species complex. **Pest Management Science**, p.3738.

Pozebon H., et. al., 2019. Distribution of *Bemisia tabaci* within soybean plants and on individual leaflets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, p. 396-405.

Pozebon, H., et. al., 2020. Arthropod invasions versus soybean production in Brazil: a review. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, p. 1591-1608.

Sain, S.K., et. al., 2019. Compatibility of entomopathogenic fungi with insecticides and their efficacy for IPM of *Bemisia tabaci* in cotton. **Journal of Pesticide Science**, v. 44, p. 97–105

Sain, S.K., e. al., 2022. Evaluation of the Bioefficacy and Insecticide Compatibility of Entomopathogens for Management of Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) on Upland Cotton Under Laboratory and Polyhouse Conditions. **Neotropical Entomology**, v. 51, p. 600–612.

Salgado, V. L., 2013. BASF Insecticide Mode of Action Technical Training Manual.

[https://www.researchgate.net/publication/275959530\\_BASF\\_Insecticide\\_Mode\\_of\\_Action\\_Technical\\_Training\\_Manual](https://www.researchgate.net/publication/275959530_BASF_Insecticide_Mode_of_Action_Technical_Training_Manual) (accessed 3 august 2022).

Summers, C. G., 1996. Intraplant and interplant movement of *Bemisia argentifolli* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. **Enviromental Entomology**, Lanham, v. 25, n. 6, p. 1360-1364.

Wang, X., et. al., 2019. *Isaria fumosorosea*-based zero-valent iron nanoparticles affect the growth and survival of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), **Pest Management Science**, v. 75, n. 8, p. 2174–2181.

Zou, C., et. al., 2014. Joint action of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and four chemical insecticides against the whitefly *Bemisia tabaci*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 24, p. 315–324.

## Figures and Tables

Table 1. Active ingredient, concentration, dose and cost of the insecticides that composes the treatments

Active Ingredient	Concentration	Dose ha <sup>-1</sup>	Cost (U\$ ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>
<i>Beauveria bassiana</i> IBCB 66	2 x 10 <sup>9</sup> UFC/g	250 g	U\$ 18.10
<i>Beauveria bassiana</i> ESALQ-PL63	1 x 10 <sup>8</sup> UFC/g	750 g	U\$ 18.27
<i>Beauveria bassiana</i> SIMBI BB15	2 x 10 <sup>9</sup> UFC/g	300 mL	U\$ 18.00
<i>Isaria fumosorosea</i> ESALQ 4778	3 x 10 <sup>9</sup> UFC/g	300 mL	U\$ 18.00
Dinotefuran + Pyriproxyfen	100 g/L + 25 g/L	1000 mL	U\$ 39.02
Acetamiprid + Bifenthrin	250+250 g/kg	250 g	U\$ 12.68

Note. <sup>1</sup>Price survey of insecticides in South Brazil, august 2022.

Table 2. Treatments, combinations of insecticides, order of spray and management program to which the combination belongs.

Treatment	1 <sup>a</sup> spray	2 <sup>a</sup> spray	Management Program
1	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	Biological
2	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Biological + chemical
3	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	Acetamiprid + Bifenthrin	Biological + chemical
4	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	Biological
5	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Biological + chemical
6	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	Acetamiprid + Bifenthrin	Biological + chemical
7	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	Biological
8	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Biological + chemical
9	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	Acetamiprid + Bifenthrin	Biological + chemical
10	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	Biological
11	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Biological + chemical
12	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	Acetamiprid + Bifenthrin	Biological + chemical
13	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Dinotefuran + Pyriproxyfen	Chemical
14	Dinotefuran + Pyriproxyfen	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	Chemical + biological
15	Dinotefuran + Pyriproxyfen	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	Chemical + biological
16	Dinotefuran + Pyriproxyfen	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	Chemical + biological
17	Dinotefuran + Pyriproxyfen	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	Chemical + biological
18	Acetamiprid + Bifenthrin	Acetamiprid + Bifenthrin	Chemical
19	Acetamiprid + Bifenthrin	<i>B. bassiana</i> IBCB 66	Chemical + biological
20	Acetamiprid + Bifenthrin	<i>B. bassiana</i> ESALQ-PL63	Chemical + biological
21	Acetamiprid + Bifenthrin	<i>B. bassiana</i> SIMBI BB15	Chemical + biological
22	Acetamiprid + Bifenthrin	<i>I. fumosorosea</i> ESALQ 4778	Chemical + biological
23	Control	Control	-

Table 3. Mean number (M) of living adults and nymphs and control efficacy (CE%) in the first cropping season (2021). The active ingredients used in each treatment are presented on Tables 1 and 2. Santa Maria, RS, Brazil.

Treatment	0 DA1S <sup>1</sup>		3 DA1S		5 DA1S		7 DA1S		10 DA1S		3 DA2S		5 DA2S		7 DA2S		10 DA2S		Mean CE%
	M <sup>2</sup>	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%		
<i>Adults</i>																			
1	2.2a1	1.0a1	0.0	6.1a2	10.3	15.2a2	0.0	3.6a1	82.6	5.2a2	38.1	0.3a1	96.7	3.0a1	84.1	6.4a2	61.0	46.6	
2	4.2a1	2.2a1	0.0	5.4a2	20.6	1.1a1	42.1	8.6a2	58.5	12.8a3	0.0	4.5a1	50.0	12.7a2	32.8	6.9a2	57.9	32.7	
3	3.45a1	2.5a1	0.0	6.4a2	5.9	0.3a1	84.2	11.9a3	42.5	5.6a2	33.3	2.2a1	75.6	11.6a2	38.6	18.0a4	0.0	35.0	
4	1.6a1	3.1a1	0.0	8.5a2	0.0	0.5a1	73.7	11.0a3	46.9	21.0a4	0.0	6.3a2	30.0	15.0a3	20.6	9.1a2	44.5	27.0	
5	5.4a1	3.0a1	0.0	5.7a2	16.2	0.6a1	68.4	15.8a4	23.7	10.8a3	0.0	2.7a1	70.0	24.5a4	0.0	5.4a2	67.1	30.7	
6	4.15a1	1.8a1	0.0	4.5a2	33.8	0.4a1	78.9	13.7a3	33.8	11.6a3	0.0	6.2a2	31.1	17.4a3	7.9	15.0a4	8.5	24.3	
7	2.1a1	1.6a1	0.0	5.0a2	26.5	0.4a1	78.9	15.2a4	26.6	14.8a3	0.0	7.4a2	17.8	22.4a4	0.0	9.6a2	41.5	23.9	
8	2.7a1	1.1a1	0.0	4.3a2	36.8	0.3a1	84.2	15.7a4	24.2	10.4a3	0.0	9.2a2	0.0	12.3a2	34.9	3.9a1	76.2	32.0	
9	4.05a1	1.2a1	0.0	5.7a2	16.2	0.1a1	94.7	12.3a3	40.6	5.2a2	38.1	4.3a1	52.2	11.8a2	37.6	10.6a3	35.4	39.3	
10	1.45a1	2.0a1	0.0	4.9a2	27.9	0.0a1	100.0	9.6a3	53.6	9.4a3	0.0	4.7a1	47.8	9.9a2	47.6	8.1a2	50.6	40.9	
11	3.35a1	1.7a1	0.0	4.6a2	32.4	0.0a1	100.0	13.6a3	34.3	13.2a3	0.0	6.4a2	28.9	18.1a3	4.2	4.2a1	74.4	34.3	
12	4.4a1	3.1a1	0.0	8.0a2	0.0	0.4a1	78.9	14.0a3	32.4	6.6a2	21.4	5.0a1	44.4	17.7a3	6.3	13.6a3	17.1	25.1	
13	2.6a1	1.2a1	0.0	2.5a1	63.2	0.1a1	94.7	2.2a1	89.4	2.3a1	72.6	2.1a1	76.7	4.4a1	76.7	2.3a1	86.0	69.9	
14	2.8a1	0.7a1	30.0	2.2a1	67.6	0.3a1	84.2	1.1a1	94.7	2.4a1	71.4	0.3a1	96.7	5.0a1	73.5	2.2a1	86.6	75.6	
15	3.35a1	0.6a1	40.0	1.6a1	76.5	0.1a1	94.7	3.6a1	82.6	2.7a1	67.9	0.8a1	91.1	6.4a1	66.1	2.8a1	82.9	75.2	
16	3.05a1	0.8a1	20.0	3.0a1	55.9	0.2a1	89.5	1.5a1	92.8	2.8a1	66.7	1.3a1	85.6	5.9a1	68.8	2.7a1	83.5	70.3	
17	1.4a1	0.8a1	20.0	4.2a2	38.2	0.3a1	84.2	6.0a2	71.0	2.7a1	67.9	4.0a1	55.6	10.6a2	43.9	4.1a1	75.0	57.0	
18	1.25a1	0.8a1	20.0	2.4a1	64.7	0.1a1	94.7	6.7a2	67.6	5.5a2	34.5	7.8a2	13.3	11.5a2	39.2	7.0a2	57.3	48.9	
19	3.05a1	0.6a1	40.0	0.8a1	88.2	0.2a1	89.5	6.5a2	68.6	6.6a2	21.4	3.5a1	61.1	12.2a2	35.4	7.6a2	53.7	57.2	



20	2.8a1	0.6a1	40.0	1.9a1	72.1	0.3a1	84.2	8.8a2	57.5	8.3a2	1.2	5.0a1	44.4	12.4a2	34.4	5.8a2	64.6	49.8
21	3.9a1	0.6a1	40.0	3.1a1	54.4	0.4a1	78.9	10.8a3	47.8	10.0a3	0.0	4.6a1	48.9	13.3a2	29.6	9.4a2	42.7	42.8
22	2.45a1	0.5a1	50.0	3.5a1	48.5	0.7a1	63.2	10.6a3	48.8	6.8a2	19.0	4.0a1	55.6	8.3a1	56.1	5.7a2	65.2	50.8
23	2.75a1	1.0a1	-	6.8a2	-	1.9a1	-	20.7a5	-	8.40a2	-	9.0a2	-	18.9a3	-	16.4a4	-	-

**CV (%)<sup>3</sup> 107.92**

Treatment	0 DA1S <sup>1</sup>		3 DA1S		5 DA1S		7 DA1S		10 DA1S		3 DA2S		5 DA2S		7 DA2S		10 DA2S		Mean CE%
	M <sup>2</sup>	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%		

*Nymphs*

1	23.9a2	35.4a3	0.0	34.9a2	0.0	34.8a2	0.0	13.2a1	54.2	31.0a1	0.0	44.8a4	0.0	21.8a2	10.7	15.9a1	16.3	10.1
2	31.6a2	36.5a3	0.0	13.9a1	34.7	19.7a2	34.7	17.2a1	40.3	23.3a1	0.9	50.4a4	0.0	27.5a2	0.0	17.3a1	8.9	14.9
3	34.1a2	44.9a3	0.0	25.7a2	0.0	25.4a2	0.0	38.5a2	0.0	18.6a1	20.9	64.8a5	0.0	19.2a2	21.3	15.8a1	16.8	7.4
4	36.3a2	38.2a3	0.0	28.1a2	0.0	24.6a2	0.0	26.6a2	7.6	21.1a1	10.2	35.3a3	0.0	12.8a1	47.5	11.4a1	40.0	13.2
5	26.4a2	27.9a2	14.7	12.5a1	41.3	28.3a2	41.3	18.2a1	36.8	13.7a1	41.7	35.5a3	0.0	12.0a1	50.8	11.1a1	41.6	33.5
6	17.7a1	59.7a4	0.0	19.0a1	10.8	16.5a2	10.8	32.1a2	0.0	18.7a1	20.4	38.0a3	0.0	30.2a2	0.0	27.3a1	0.0	5.3
7	36.0a2	20.8a1	36.4	26.5a2	0.0	22.5a2	0.0	43.0a2	0.0	21.8a1	7.2	32.2a3	0.0	23.2a2	4.9	23.2a1	0.0	6.1
8	19.0a1	18.7a1	42.8	18.0a1	15.5	20.5a2	15.5	34.5a2	0.0	18.3a1	22.1	35.6a3	0.0	29.3a2	0.0	20.4a1	0.0	12.0
9	34.1a2	33.4a2	0.0	29.4a2	0.0	29.7a2	0.0	25.6a2	11.1	31.0a1	0.0	33.8a3	0.0	23.6a2	3.3	18.9a1	0.5	1.9
10	18.4a1	17.8a1	45.6	27.3a2	0.0	19.0a2	0.0	26.1a2	9.4	18.7a1	20.4	26.9a2	13.5	19.1a2	21.7	13.6a1	28.4	17.4
11	20.5a1	30.1a2	8.0	25.8a2	0.0	21.7a2	0.0	29.1a2	0.0	25.0a1	0.0	46.3a4	0.0	22.2a2	9.0	18.9a1	0.5	2.2
12	32.1a2	43.1a3	0.0	39.2a2	0.0	20.2a2	0.0	42.3a2	0.0	33.5a1	0.0	37.3a3	0.0	18.8a2	23.0	19.8a1	0.0	2.9
13	20.1a1	22.9a1	30.0	28.9a2	0.0	9.6a1	0.0	26.3a2	8.7	18.3a1	22.1	27.6a2	11.3	18.8a2	23.0	18.8a1	1.1	12.0
14	17.6a1	58.2a4	0.0	37.6a2	0.0	21.6a2	0.0	33.9a2	0.0	20.8a1	11.5	27.9a2	10.3	21.8a2	10.7	17.3a1	8.9	5.2
15	16.4a1	17.9a1	45.3	10.8a1	49.3	16.6a2	49.3	28.9a2	-0.3	19.1a1	18.7	26.6a2	14.5	12.1a1	50.4	11.4a1	40.0	33.4
16	10.8a1	18.8a1	42.5	18.1a1	15.0	7.5a1	15.0	11.3a1	60.8	16.9a1	28.1	12.3a1	60.5	16.2a1	33.6	11.5a1	39.5	36.9
17	11.2a1	29.5a2	9.8	25.8a2	0.0	10.6a1	0.0	14.3a1	50.3	11.5a1	51.1	16.8a1	46.0	13.6a1	44.3	8.6a1	54.7	32.0

18	15.3a1	15.5a1	52.6	14.7a1	31.0	10.0a1	31.0	8.2a1	71.5	11.6a1	50.6	15.6a1	49.8	7.1a1	70.9	5.7a1	70.0	53.4
19	11.0a1	7.6a1	76.8	19.3a1	9.4	2.9a1	9.4	12.5a1	56.6	5.7a1	75.7	11.6a1	62.7	5.1a1	79.1	3.3a1	82.6	56.5
20	9.9a1	30.3a2	7.3	25.1a2	0.0	7.1a1	0.0	8.5a1	70.5	8.1a1	65.5	7.1a1	77.2	7.3a1	70.1	6.4a1	66.3	44.6
21	24.9a2	27.5a2	15.9	16.3a1	23.5	12.1a1	23.5	18.6a1	35.4	15.0a1	36.2	20.9a2	32.8	14.5a1	40.6	10.7a1	43.7	31.4
22	16.05a1	19.7a1	39.8	17.5a1	17.8	7.6a1	17.8	19.6a1	31.9	15.9a1	32.3	24.1a2	22.5	13.4a1	45.1	10.3a1	45.8	31.6
23	16.4a1	32.7a2	-	21.3a1	-	10.9a1	-	28.8a2	-	23.5a1	-	31.1a3	-	24.4a2	-	19.0a1	-	-
<b>CV (%)<sup>3</sup></b>	<b>103.34</b>																	

Note. <sup>1</sup>DAS = Days after first (1) and second (2) spray. <sup>2</sup>Means followed by the same letter and number in the column do not differ among themselves by the Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ). <sup>3</sup>CV (%) = Coefficient of variation.

Table 4. Mean number (M) of living adults and nymphs and control efficacy (CE%) in the second cropping season (2022). The active ingredients used in each treatment are presented on Tables 1 and 2. Santa Maria, RS, Brazil.

Treatment	0 DA1S <sup>1</sup>		3 DA1S		5 DA1S		10 DA1S		3 DA2S		5 DA2S		7 DA2S		10 DA2S		Mean CE%
	M <sup>2</sup>	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%		
<i>Adults</i>																	
1	6.4a2	1.5a2	44.4	1.5a1	71.2	1.2a1	81.8	0.6a1	77.8	2.3a2	37.8	2.1a2	32.3	0.3a1	89.7	62.1	
2	3.5a1	1.1a1	59.3	1.8a1	65.4	1.9a2	71.2	0.8a1	70.4	2.7a2	27.0	3.4a3	0.0	1.0a1	65.5	49.9	
3	5.9a2	1.6a2	40.7	1.3a1	75.0	2.7a3	59.1	0.8a1	70.4	1.9a2	48.6	1.7a2	45.2	1.0a1	65.5	57.8	
4	6.1a2	1.8a2	33.3	1.6a1	69.2	2.1a2	68.2	0.7a1	74.1	1.7a2	54.1	2.4a2	22.6	1.0a1	65.5	55.3	
5	4.5a1	2.5a3	7.4	3.0a2	42.3	1.9a2	71.2	0.6a1	77.8	2.3a2	37.8	2.5a2	19.4	0.8a1	72.4	46.9	
6	4.6a1	2.3a3	14.8	2.3a1	55.8	1.0a1	84.8	0.5a1	81.5	1.3a1	64.9	1.7a2	45.2	1.3a2	55.2	57.4	
7	4.8a1	1.5a2	44.4	1.8a1	65.4	1.3a1	79.5	0.3a1	88.9	3.9a3	0.0	1.9a2	38.7	1.6a2	44.8	50.9	
8	5.2a2	1.3a2	51.9	2.6a1	50.0	2.1a2	68.2	0.8a1	70.4	2.2a2	40.5	2.4a2	22.6	1.8a2	37.9	48.8	
9	3.4a1	2.1a3	22.2	3.5a2	32.7	2.7a3	59.1	1.2a2	55.6	1.8a2	51.4	2.3a2	25.8	1.3a2	55.2	43.1	
10	5.8a2	1.0a1	63.0	3.4a2	34.6	1.8a2	72.7	1.8a2	33.3	3.1a3	16.2	3.1a3	0.0	1.8a2	37.9	36.8	
11	5.1a2	1.5a2	44.4	3.2a2	38.5	3.2a3	51.5	1.4a2	48.1	2.7a2	27.0	2.4a2	22.6	1.3a2	55.2	41.0	
12	4.0a1	1.1a1	59.3	3.7a2	28.8	1.9a2	71.2	0.9a1	66.7	1.3a1	64.9	0.9a1	71.0	0.6a1	79.3	63.0	
13	5.2a2	0.3a1	88.9	1.8a1	65.4	1.5a1	77.3	0.5a1	81.5	0.3a1	91.9	0.6a1	80.6	0.4a1	86.2	81.7	
14	4.2a1	0.4a1	85.2	1.0a1	80.8	1.5a1	77.3	0.2a1	92.6	0.2a1	94.6	0.7a1	77.4	0.2a1	93.1	85.8	
15	4.5a1	0.6a1	77.8	1.5a1	71.2	1.5a1	77.3	0.1a1	96.3	0.5a1	86.5	0.6a1	80.6	0.2a1	93.1	83.2	
16	6.4a2	0.4a1	85.2	2.5a1	51.9	1.2a1	81.8	0.2a1	92.6	0.4a1	89.2	0.5a1	83.9	0.3a1	89.7	82.0	
17	4.9a1	0.7a1	74.1	2.1a1	59.6	0.8a1	87.9	0.2a1	92.6	0.4a1	89.2	0.8a1	74.2	0.2a1	93.1	81.5	
18	5.8a2	0.5a1	81.5	2.5a1	51.9	1.3a1	80.3	0.0a1	100.0	0.5a1	86.5	0.4a1	87.1	0.2a1	93.1	82.9	
19	5.5a2	0.2a1	92.6	1.8a1	65.4	1.2a1	81.8	0.3a1	88.9	0.2a1	94.6	0.9a1	71.0	0.1a1	96.6	84.4	
20	6.9a2	0.1a1	96.3	1.8a1	65.4	0.9a1	86.4	0.25a1	90.7	0.5a1	86.5	0.7a1	77.4	0.5a1	82.8	83.6	

21	3.7a1	0.3a1	88.9	1.9a1	63.5	0.8a1	87.9	0.4a1	85.2	0.6a1	83.8	0.8a1	74.2	0.2a1	93.1	82.4	
22	4.6a1	0.1a1	96.3	2.5a1	51.9	1.0a1	84.8	0.3a1	88.9	0.4a1	89.2	0.9a1	71.0	0.4a1	86.2	81.2	
23	5.4a2	2.7a3	-	5.2a3	-	6.6a4	-	2.7a3	-	3.7a3	-	3.1a3	-	2.9a3	-	-	
<b>CV (%)<sup>3</sup></b>	<b>98.69</b>																
Treatment	0 DA1S <sup>1</sup>		3 DA1S		5 DA1S		10 DA1S		3 DA2S		5 DA2S		7 DA2S		10 DA2S		Mean CE%
	M <sup>2</sup>	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%	M	CE%		
<i>Nymphs</i>																	
1	6.0a1	1.7a1	15.0	2.3a1	8.0	2.5a1	76.4	0.6a1	87.5	1.2a1	77.4	0.5a1	92.8	1.1a1	89.2	63.8	
2	10.6a1	0.8a1	60.0	0.5a1	80.0	1.3a1	87.7	0.5a1	89.6	3.1a2	41.5	0.5a1	92.8	3.6a2	64.7	73.8	
3	8.9a1	2.0a1	0.0	2.1a1	16.0	3.7a2	65.1	0.7a1	85.4	3.3a2	37.7	1.7a1	75.4	4.7a2	53.9	47.6	
4	9.6a1	4.6a2	0.0	2.2a1	12.0	3.9a2	63.2	1.2a1	75.0	2.2a1	58.5	0.8a1	88.4	4.0a2	60.8	51.1	
5	8.0a1	4.3a2	0.0	3.9a1	0.0	11.3a3	0.0	1.8a1	62.5	2.5a1	52.8	1.1a1	84.1	6.8a2	33.3	33.2	
6	8.5a1	4.9a2	0.0	2.0a1	20.0	2.4a1	77.4	1.3a1	72.9	5.9a2	0.0	2.2a1	68.1	6.1a2	40.2	39.8	
7	7.9a1	2.5a1	0.0	2.1a1	16.0	4.6a2	56.6	1.1a1	77.1	3.6a2	32.1	1.3a1	81.2	1.1a1	89.2	50.3	
8	10.3a1	7.2a2	0.0	1.7a1	32.0	4.7a2	55.7	2.0a1	58.3	5.6a2	0.0	1.1a1	84.1	3.7a2	63.7	42.0	
9	8.1a1	6.1a2	0.0	1.5a1	40.0	1.3a1	87.7	2.6a1	45.8	5.0a2	5.7	2.1a1	69.6	4.6a2	54.9	43.4	
10	9.6a1	3.9a2	0.0	4.3a1	0.0	1.5a1	85.8	1.7a1	64.6	3.5a2	34.0	0.8a1	88.4	3.1a1	69.6	48.9	
11	10.4a1	1.1a1	45.0	1.0a1	60.0	0.3a1	97.2	2.9a1	39.6	1.0a1	81.1	2.9a1	58.0	2.0a1	80.4	65.9	
12	8.9a1	0.2a1	90.0	2.1a1	16.0	0.8a1	92.5	1.0a1	79.2	0.6a1	88.7	1.3a1	81.2	2.0a1	80.4	75.4	
13	8.7a1	2.2a1	0.0	2.1a1	16.0	0.4a1	96.2	0.3a1	93.8	0.5a1	90.6	1.6a1	76.8	0.7a1	93.1	66.6	
14	10.9a1	1.2a1	40.0	1.1a1	56.0	1.0a1	90.6	1.9a1	60.4	0.4a1	92.5	0.8a1	88.4	0.5a1	95.1	74.7	
15	10.3a1	6.3a2	0.0	2.8a1	0.0	1.9a1	82.1	1.4a1	70.8	1.3a1	75.5	0.6a1	91.3	1.0a1	90.2	58.6	
16	10.0a1	3.6a2	0.0	5.1a1	0.0	5.8a2	45.3	1.7a1	64.6	1.5a1	71.7	1.6a1	76.8	1.0a1	90.2	49.8	
17	6.8a1	4.6a2	0.0	0.6a1	76.0	1.4a1	86.8	3.6a1	25.0	2.8a1	47.2	4.0a2	42.0	1.3a1	87.3	52.0	
18	6.5a1	3.1a1	0.0	2.4a1	4.0	2.0a1	81.1	2.3a1	52.1	3.9a2	26.4	2.2a1	68.1	0.7a1	93.1	46.4	
19	9.5a1	2.8a1	0.0	0.3a1	88.0	4.5a2	57.5	0.6a1	87.5	2.6a1	50.9	0.8a1	88.4	0.7a1	93.1	66.5	

20	9.1a1	3.9a2	0.0	0.8a1	68.0	0.6a1	94.3	1.1a1	77.1	4.7a2	11.3	1.9a1	72.5	0.4a1	96.1	59.9
21	9.2a1	0.8a1	60.0	0.5a1	80.0	1.7a1	84.0	0.6a1	87.5	0.7a1	86.8	0.5a1	92.8	1.4a1	86.3	82.5
22	8.3a1	1.9a1	5.0	2.4a1	4.0	1.4a1	86.8	1.0a1	79.2	1.4a1	73.6	1.1a1	84.1	0.4a1	96.1	61.3
23	11.1a1	2.0a1	-	2.5a1	-	10.6a3	-	4.8a1	-	5.3a2	-	6.9a2	-	10.2a3	-	-
<b>CV (%)<sup>3</sup></b>	<b>178.04</b>															

Note. <sup>1</sup>DAS = Days after first (1) and second (2) spray. <sup>2</sup>Means followed by the same letter and number in the column do not differ among themselves by the Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ). <sup>3</sup>CV (%) = Coefficient of variation.

Figure 1. Simulation of number and moment of the sprays, also given in Table 2.

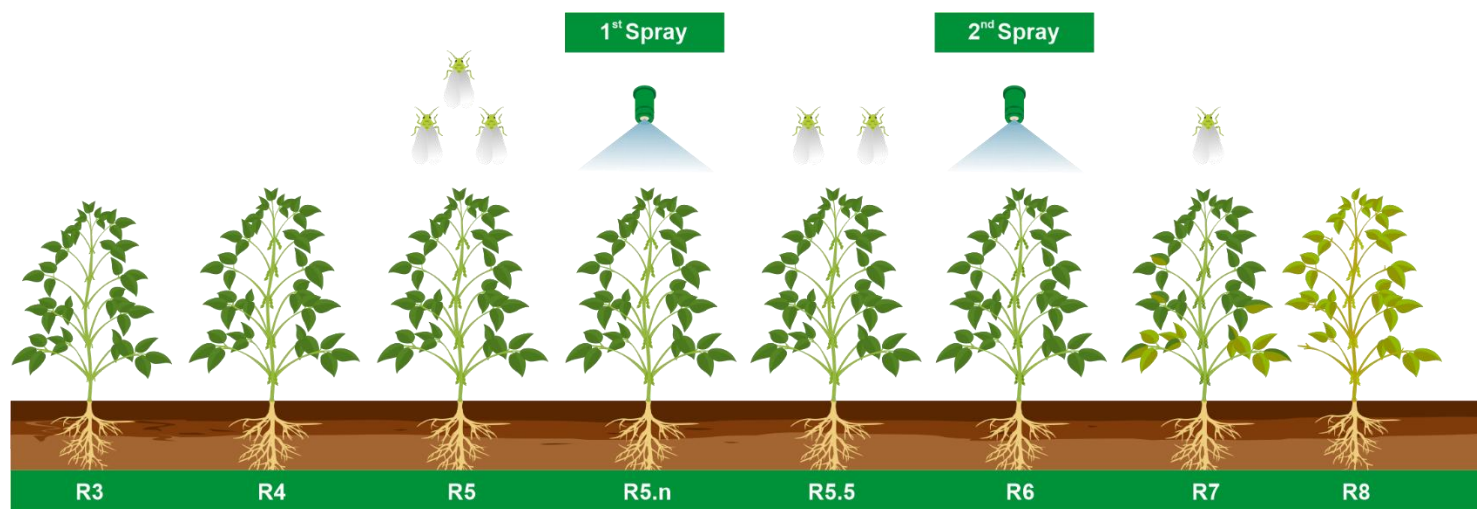
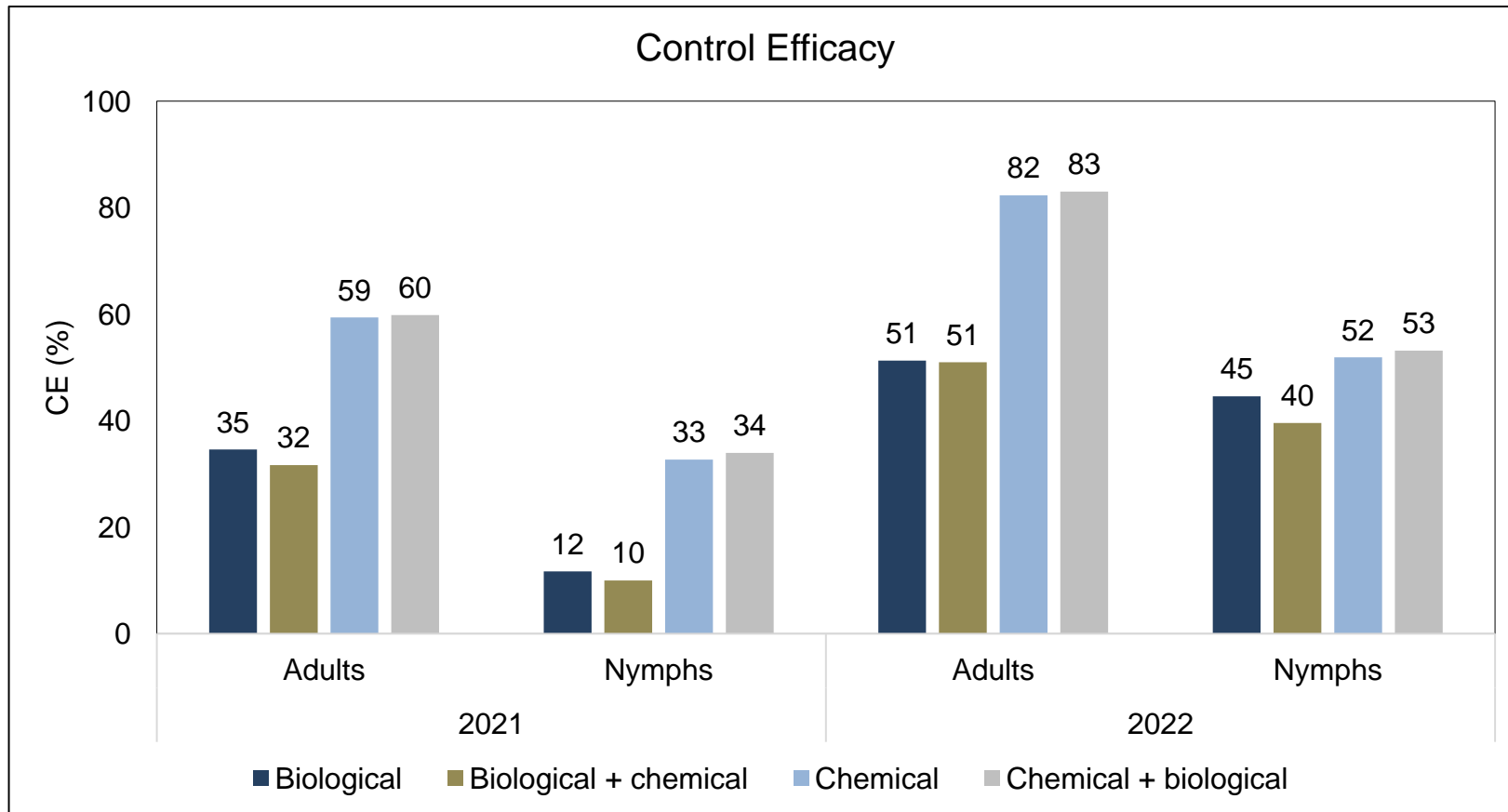


Figure 2. Average control efficacy (%) of each management program in the first (2021) and second (2022) cropping seasons. Santa Maria, RS, Brazil.



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, os resultados revelam que a integração de produtos biológicos formulados com fungos entomopatogênicos com o manejo químico já utilizado em larga escala traz aumento nos índices de eficácia de controle de mosca-branca em soja. O programa de manejo híbrido, composto por uma aplicação sequencial de inseticida químico seguido de biológico apresentou melhor eficácia de controle se comparado às outras estratégias de manejo testadas. Este programa contribui com soluções biológicas e oferece uma alternativa compatível com o controle químico, de modo a auxiliar na diminuição da pressão de seleção de populações resistentes e do impacto ambiental proveniente da utilização de produtos químicos.



## 6 REFERÊNCIAS

ALBERGARIA, N. M. S.; CIVIDANES F. J. Exigências térmicas de *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 359-363, 2002.

ALVES, S. B. Fungos entomopatogênicos. In: ALVES, S. B. **Controle microbiano de insetos**. Ed. Piracicaba, FEALQ. p. 289-382. 1998.

APROSOJA (Associação dos Produtores de Soja e Milho do Mato Grosso). Mosca-branca causa perdas nas lavouras de soja no MT, 2017. Disponível em: <http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/mosca-brancacausa-perdas-nas-lavouras-de-soja-no-mt-84060>

ARNEMANN, J. A. et al. Integrated Management of Tomato Whitefly Under Greenhouse Conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 443, 2019.

ARTHURS, S.; DARA, S. K. Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 165, p. 13-21. 2019.

BARBEDO, J. G. A., Using digital image processing for counting whiteflies on soybean leaves. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, V. 17(4), p. 685–694, 2014.

DE BARRO, P. et al. *Bemisia tabaci*: A Statement of Species Status. **Annual Review of Entomology**, v. 56, p. 1-19, 2011.

BOYKIN, L. M. et al. A agricultura está impulsionando a diversificação do complexo de espécies *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae)? Datação, diversificação e evidências biogeográficas reveladas. **BMC Evolutionary Biology**, v. 13 p. 228, 2013.

BROWN, J. K.; BIRD, J. Whitefly: transmitted geminivírus and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n.3, p. 220-225, 1992.

BUTT, T. M.; COPPING, L. G. Fungal biological control agents. **Pesticide Outlook**, v. 11, p. 186-191, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2021/22**, 2022. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>  
Acesso em 10 de julho de 2022.

ERDOGAN, C. et al. Insecticide resistance and biotype status of populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Turkey. **Crop Protection**, v. 27, n. 3–5, p. 600–605, 2008.

FARIA, M., WRAIGHT, S.P. Biological Control of *B. tabaci* with Fungi, **Crop Protection**, v. 20, p. 767-778, 2001.

FARIA, M.R., WRAIGHT, S.P. Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A Comprehensive List with Worldwide Coverage and International Classification of Formulation Types, **Biological Control**, v. 43, p. 237-256, 2007.

Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database (FAOSTAT). **Food and agriculture organization of the United Nations statistical database**, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Acessado em 28 de julho de 2022.

FOLLMANN, D. N. et al. Relações lineares entre caracteres de soja safrinha. **Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal**, v. 40, p. 213-221, 2017.

GILBERTSON, R. L. et al. Role of the Insect Supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the Emergence and Global Spread of Plant Viruses. **Annual Review of Virology**, v. 2, p. 67-93, 2015.

HOROWITZ, A.R. et. al. **Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species**. **Journal of Pest Sciences**, v. 93, p. 893-910, 2020.

INGLIS, G.D., JOHNSON, D.L., GOETTEL, M.S. Field evaluation of *Beauveria bassiana* against grasshoppers: influence of temperature and light exposure on mycosis. **Environmental Entomology**, v. 26, p. 400–409, 1997.

JACKSON, M. A.; DUNLAP, C. A.; JARONSKI, S. T. Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. Em: **The Ecology of Fungal Entomopathogens**. Netherlands, p. 129-145. 2009.

KALVNADI, E. et al. 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.

KANAKALA, S.; GHANIM, M. Advances in the Genomics of the Whitefly *Bemisia tabaci*: An Insect Pest and a Virus Vector. In: Short Views on Insect Genomics and Proteomics. **Springer International Publishing**, p. 19-40, 2015.

LACEY, L. A. et al. Insect pathogens as biological control agents: back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 132, p. 1-41, 2015.

LECUONA, R. E.; PAPIEROK, B.; RIBA, G. Hongos entomopatógenos. In: LECUONA, R. E. **Microorganismos Patógenos Empleados en el Control Microbiano de Insectos Plaga**. p. 35-60, 1996.

LORD, J.C. From Metchnikoff to Monsanto and beyond: the path of microbial control. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 89, p. 19–29, 2005.

MARABI, R.S., et. al. Seasonal population dynamics of whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) in soybean. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5(2), p. 169-173, 2017.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA) 2022. **Sistema de agrotóxicos sanitários – Agrofit**. Disponível em:

[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons) Acessado em 10 de julho de 2022.

MORAES, L.A., et. al. Distribution and phylogenetics of whiteflies and their endosymbiont relationships after the Mediterranean species invasion in Brazil. **Scientific Reports**, v. 8, 14589, 2018.

MURRAY, T., MILES, C., DANIELS, C. Natural insecticides. Washington State University, Oregon State University, University of Idaho. PNW649; 2013.

NAVAS-CASTILLO, J., FIALLO-OLIVE, E., SANCHEZ-CAMPOS, S. Doenças virais emergentes transmitidas por moscas-brancas. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, p. 219 – 248, 2011.

NETTO, J. C. & BARROS, E. M. Efeito de inseticidas sobre o controle de mosca-branca na cultura do algodoeiro. Cuiabá, MT, Brazil: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2016.

NEVES, P. M. O. J., SANTORO, P. H. Fungos entomopatogênicos. Controle Biológico de Pragas. **Ciência&Ambiente**/Universidade Federal de Santa Maria. n. 43. p. 121-132, 2011.

OLIVEIRA, R. P. et al. Compatibilidade de inseticidas utilizados no controle da mosca branca em soja com *Beauveria bassiana*. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 4, p. 88-93, 2018.

OSBORNE, L.S., LANDA, Z. Biological Control of Whiteflies with Entomopathogenic Fungi, **Florida Entomologist**, v. 75, 456471, 1992.

PADILHA, G., et. al. Damage assessment of *Bemisia tabaci* and economic injury level on soybean. **Crop Protection**, v. 143, 105542, 2021.

PARRA, J. R. P. Controle biológico de pragas no Brasil. In: Controle Biológico de Pragas. **Ciência&Ambiente**/Universidade Federal de Santa Maria. n. 43. p. 7-18. 2011.

PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014.

POLSTON, J.E., DE BARRO, P., BOYKIN, L. M. Transmission specificities of plant viruses with the newly identified species of the *Bemisia tabaci* species complex. **Pest Management Science**, p.3738, 2014.

POZEBON, H. et. al. Distribution of *Bemisia tabaci* within soybean plants and on individual leaflets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**. v.167, p. 396-405, 2019.

REHNER, S.A., et. al. Phylogeny and systematics of the anamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria*. **Mycologia**, v. 103, p. 1055–1073, 2011.

RESEARCH AND MARKETS. Global Biologics Market Analysis 2021. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5439559/global-biologics-market-analysis-2021> Acessado em 10 de julho de 2022.

SAIN, S.K., MONGA, D., KRANTHI, S. et al. Evaluation of the Bioefficacy and Insecticide Compatibility of Entomopathogens for Management of Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) on Upland Cotton Under Laboratory and Polyhouse Conditions. **Neotropical Entomology**, v. 51, p. 600–612, 2022.

SALGADO, V. L. BASF Insecticide Mode of Action Technical Training Manual, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275959530\\_BASF\\_Insecticide\\_Mode\\_of\\_Action\\_Technical\\_Training\\_Manual](https://www.researchgate.net/publication/275959530_BASF_Insecticide_Mode_of_Action_Technical_Training_Manual) Acessado em 10 de julho de 2022.

SHADMANY, M., OMAR, D., MUHAMAD, R. First report of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q in Malaysia. **Florida Entomologist**. v. 96, p. 280 – 282, 2013.

SHAH, P.A., PELL, J.K. Entomopathogenic fungi as biological control agents. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v 61, p. 413-23, 2003.

SILVA, L.D., OMOTO, C., BLEICHER E. e DOURADO P. M. Monitoring the susceptibility to insecticides in *Bemisa tabaci* (Gennadius) (Hemiptera:

Aleyrodidae) populations from Brazil. **Neotropical Entomology**, v 38, p. 116-125, 2009.

STAMM, M. D., et. al., Uptake and translocation of imidacloprid, clothianidin and flupyradifurone in seed-treated soybeans. **Pest Management Science**, v. 72 (6), p. 1099-1109, 2016.

SUMMERS, C. G.; NEWTON JUNIOR, A. S.; ESTRADA, D. Intraplant and interplant movement of *Bemisia argentifolli* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. **Enviromental Entomology**, Lanham, v. 25, n. 6, p.1360-1364, 1996.

VICENTINI, S.; FARIA, M.; OLIVEIRA, M. R. V. Screening of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) Isolates against nymphs of *Bemisia tabaci* (Genn.) Biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) with description of a new bioassay method. **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 97-103, 2001.

X. WANG, et al., *Isaria fumosorosea*-based zero-valent iron nanoparticles affect the growth and survival of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), **Pest Management Science**, vol. 75, n. 8, p. 2174–2181, 2019.

WRAIGHT, S.P., et. al. Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* for microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolli*. **Biological Control**, v. 17, p. 203–217, 2000.