

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Toxicidade de agrotóxicos utilizados em cultivos de várzea sobre parasitoides
de ovos: Do laboratório ao campo**

Matheus Rakes

Pelotas, 2021

Matheus Rakes

**Toxicidade de agrotóxicos utilizados em cultivos de várzea sobre parasitoides
de ovos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de conhecimento: Entomologia).

Orientador: Prof. Dr. Anderson Dionei Grützmacher

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Bernardi

Pelotas, 2021

Banca examinadora:

Rafael Antonio Pasini. Dr.
(Centro de Ensino Superior Riograndense)

Dori Edson Nava. Dr.
(Embrapa Clima Temperado)

Daniel Bernardi. Dr.
(Universidade Federal de Pelotas)

Anderson Dionei Grützmacher. Dr. (Orientador)
(Universidade Federal de Pelotas)

Aos meus pais, Josemar José Rakes e Laudite Lumi Rakes, ao meu irmão Micael Rakes, por sempre acreditarem e me apoiarem nessa trajetória.

Dedico

Agradecimentos

À Deus, pela vida.

À minha família pelo apoio concedido durante essa jornada, em especial: Àqueles que me ensinaram a honra, a dignidade, a humildade, a honestidade, o valor da vida e que nunca permitiram que meus sonhos se acabassem: Josemar Jose Rakes, meu pai; Laudite Lumi Rakes, minha mãe; Micael Rakes, meu irmão.

À minha namorada Maíra Chagas Morais, por todo o apoio, companheirismo, compreensão e reciprocidade em todos os momentos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Anderson Dionei Grützmacher e Prof. Dr. Daniel Bernardi, pela amizade, conselhos, ensinamentos e dedicação na orientação ao longo desses anos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade (PPGFs) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM – UFPel), por garantir uma formação técnica, ética e de qualidade, formando recursos humanos que busquem um país melhor.

À toda equipe do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas (LabMIP – UFPel), em especial aos grandes amigos que formei neste local e levo para a vida: Juliano de Bastos Pazini, Mikael Bolke Araújo, Rafael Antonio Pasini, Ronaldo Zantedeschi, Franciele Silva de Armas, agradeço.

Aos membros da banca examinadora, que cordialmente aceitaram o convite para integrá-la.

“All our dreams can come true if we have the courage to pursue them.”

Walt Disney

Resumo

RAKES, Matheus. **Toxicidade de agrotóxicos utilizados em cultivos de várzea sobre parasitoides de ovos**. 2021. 133f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Cultivos utilizados em áreas de várzea, como arroz e soja, são afetados por fatores bióticos que causam significativas reduções do potencial produtivo, sendo, atualmente, o químico principal método de controle utilizado. O uso de forma errônea desse método de controle pode ocasionar em efeitos adversos sobre inimigos naturais, como *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae), importantes agentes de controle biológico de lepidópteros e hemípteros-praga, respectivamente. Logo, para avaliar a compatibilidade da utilização de agrotóxicos e inimigos naturais, a *International Organization for Biological and Integrated Control* (IOBC) apresenta metodologias padronizadas envolvendo uma sequência de estudos em condições de laboratório, semi-campo e campo. No estudo de laboratório (artigo 1), juntamente com os tratamentos (inseticidas registrados para a cultura da soja) incluímos um estressor natural (temperatura) para avaliar as possíveis interações com os efeitos adversos causados sobre *T. podisi*. Com isso, descobrimos que, sobre insetos adultos, metoxifenoze+espinetoram apresentou uma interação antagônica conforme o aumento da temperatura. Diferentemente de clorfenapir, onde um efeito sinérgico foi observado, com maiores efeitos ocorrendo aos 30 °C. Acefato, espinosade e tiametoxam+lambda-cialotrina ocasionaram 100% de mortalidade de adultos em todas temperaturas avaliadas, entretanto o tempo letal foi significativamente menor quando a temperatura se elevou de 15 para 30 °C. Clorantraniliprole não apresentou nenhum efeito sobre o parasitoide nas temperaturas estudadas. Já nos bioensaios em casa-de-vegetação (semi-campo) (artigo 2), avaliamos os efeitos deletérios sobre *T. podisi* de um fungicida, um herbicida e um inseticida amplamente utilizados em lavouras de arroz irrigado e, após determinar as taxas de dissipação e as concentrações por um período de até 20 dias após a aplicação, correlacionamos os resultados afim de conhecer as respectivas concentrações mínimas a não causarem efeitos significativos ao parasitoide. A partir disso, nossos resultados demonstraram que, os tempos de meia-vida estimados (DT₅₀) foram de aproximadamente 17, 4 e 5 dias para azoxistrobina, cialofope butílico e tiametoxam, respectivamente, quando aplicados sobre folhas de arroz. Para cialofope butílico e tiametoxam, a extrapolação da linha de regressão sugere que concentrações foliares abaixo de 120 e 6 mg.kg⁻¹, respectivamente, não causam efeitos significativos ao ciclo de vida de *T. podisi*. Por fim, nos bioensaios realizados em condições de campo (artigo 3), desenvolvemos uma metodologia para verificação da redução do parasitismo ocasionada em *T. pretiosum*, quando liberados inundativamente e contaminados com inseticidas já relatados como nocivos em testes laboratoriais. Verificamos que com base em nossos resultados, os inseticidas lambda-cialotrina, tiametoxam e zeta cipermetrina foram classificados segundo a IOBC como moderadamente nocivos (Classe 3) e, tiametoxam+lambda-cialotrina foi classificado como nocivo (Classe 4). Logo, concluímos que, mesmo ocasionando efeitos inferiores aos obtidos em laboratório por outros autores, esses inseticidas não devem ser priorizados dentro de um programa de MIP.

Palavras-Chave: Controle químico; Controle Biológico; *Telenomus podisi*; *Trichogramma pretiosum*; *Oryza sativa*; *Glycine max*

Abstract

RAKES, Matheus. **Toxicity of pesticides used in lowland crops on egg parasitoids**. 2021. 133f. Dissertation (Master Degree) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brazil.

Crops used in lowland areas, such as rice and soybeans, are affected by biotic factors that cause significant reductions in productive potential, and are currently the main chemical control method used. The erroneous use of this control method can lead to adverse effects on natural enemies, such as *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae), important biological control agents for lepidopterans and pest hemiptera, respectively. Therefore, to assess the compatibility of the use of pesticides and natural enemies, the International Organization for Biological and Integrated Control (IOBC) presents methodologies used globally, involving a sequence of studies in laboratory, semi-field and field conditions. In the laboratory study (manuscript 1), together with the treatments (insecticides registered for the soybean crop) we included a natural stressor (temperature) to assess the possible interactions with the adverse effects caused on *T. podisi*. Thus, we found that, on adult insects, methoxyfenozide + espinetoram presented an antagonistic interaction as the temperature increased. Unlike chlorfenapyr, where a synergistic effect was observed, with greater effects occurring at 30 °C. Acephate, spinosad and thiamethoxam + lambda-cyhalothrin caused 100% adult mortality at all temperatures evaluated, however the lethal time was significantly shorter when the temperature increased from 15 to 30 °C. Chlorantraniliprole had no effect on the parasitoid at the studied temperatures. In the greenhouse (semi-field) bioassays (manuscript 2), we evaluated the deleterious effects on *T. podisi* of a fungicide, an herbicide and an insecticide widely used in irrigated rice fields and, after determining the rates of dissipation and concentrations for a period of up to 20 days after application, we correlate the results in order to know the respective minimum concentrations so as not to cause significant effects to the parasitoid. From this, our results demonstrated that the estimated half-life times (DT₅₀) were approximately 17, 4 and 5 days for azoxystrobin, cyhalofop-butyl and thiamethoxam, respectively, when applied over rice leaves. For cyhalofop-butyl and thiamethoxam, the extrapolation of the regression line suggests that leaf concentrations below 120 and 6 mg.kg⁻¹, respectively, do not cause significant effects on the life cycle of *T. podisi*. Finally, in bioassays carried out under field conditions (manuscript 3), we developed a methodology for verifying the reduction of parasitism caused by *T. pretiosum*, when released inundated and contaminated with insecticides already reported as harmful in laboratory tests. We found that based on our results, the insecticides lambda-cyhalothrin, thiamethoxam and zeta cypermethrin were classified according to the IOBC as moderately harmful (Class 3) and, thiamethoxam + lambda-cyhalothrin was classified as harmful (Class 4). Therefore, we conclude that, even causing effects less than those obtained in the laboratory by other authors, these insecticides should not be prioritized within a IPM program.

Keywords: Chemical control; Biological control; *Telenomus podisi*; *Trichogramma pretiosum*; *Oryza sativa*; *Glycine max*.

Lista de Figuras

Artigo 1

Figura 1. Mortalidade de adultos de *Telenomus podisi* quando expostos a inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.....55

Figura 2. Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase adulta de *Telenomus podisi* foi exposta a inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25 e 30 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).
.....56

Figura 3. Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase de pupa de *Telenomus podisi* foi exposta à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25 e 30 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).
.....57

Artigo 2

Figura 1. Resíduos dos agrotóxicos ((A) azoxystrobin, (B) cyhalofop-butyl e (C) thiamethoxam) extraídos das folhas de arroz em diferentes tempos. As cores preta e cinza correspondem a 100 e 50% do MFRC aplicado, respectivamente. Os pontos de dados representam a concentração média de resíduos em diferentes momentos de amostragem. As linhas representam a cinética de degradação do tratamento correspondente, ajustada por uma regressão exponencial em um modelo simples de primeira ordem (SFO).97

Figura 2. Regressão linear entre o coeficiente de redução (E_x) sobre *Telenomus podisi* e os resíduos das concentrações de (A) azoxystrobin, (B) cyhalofop-butyl e (C) thiametoxam presentes nas folhas de arroz.....98

Artigo 3

Figura 1. Detalhes do bioensaio em condições de campo com o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum*. (A) Área experimental implementada com a cultura do arroz irrigado e detalhe da demarcação das parcelas; (B) Cartelas contendo os parasitoides utilizados na liberação inundativa no interior de cada parcela; (C) Cartão contendo ovos do hospedeiro alternativo *Ephestia kuehniella* no interior da parcela; (D) Disposição dos cartões na parcela experimental na parcela experimental.124

Figura 2. Coeficiente de redução (E_x) ocasionado pela contaminação de adultos de *Trichogramma pretiosum* por inseticidas registrados na cultura do arroz irrigado.

*Classes IOBC: classe 1: inofensivo ($E_x < 25\%$); classe 2: pouco tóxico ($25\% \leq E_x \leq 50\%$);
classe 3: moderadamente tóxico ($51\% \leq E_x \leq 75\%$); classe 4: tóxico ($E_x > 75\%$). 125

Lista de Tabelas

Artigo 1

- Tabela 1.** Inseticidas registrados para cultura da soja, testados quanto aos seus efeitos letais e subletais sobre *Telenomus podisi* em diferentes temperaturas.....49
- Tabela 2.** Tempo letal (TL₁₀ e TL₅₀) de diferentes inseticidas registrados para a cultura da soja para indivíduos adultos de *Telenomus podisi*, sob diferentes temperaturas.50
- Tabela 3.** Efeitos subletais sobre o parasitismo (geração F₀), quando insetos adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.....51
- Tabela 4.** Efeitos subletais sobre a emergência (geração F₁), quando insetos adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.....52
- Tabela 5.** Efeitos subletais sobre a proporção de machos e fêmeas (geração F₁), quando insetos adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.53
- Tabela 6.** Efeitos sobre a emergência quando pupas de *Telenomus podisi* foram expostas à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.54

Artigo 2

- Tabela 1.** Agrotóxicos, ingredientes ativos, formulações e concentrações, utilizados para determinação da persistência foliar em arroz e bioensaios de efeito residual em *Telenomus podisi*.92
- Tabela 2.** Mortalidade de adultos de *Telenomus podisi* após 48 horas de exposição às folhas de arroz tratadas com diferentes idades.93
- Tabela 3.** Efeitos subletais de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado sobre o parasitismo (geração F₀) de *Telenomus podisi*.94
- Tabela 4.** Efeitos subletais de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado, sobre a emergência e razão sexual (geração F₁) de *Telenomus podisi*.....95
- Tabela 5.** Coeficiente de redução E_x estimados para os efeitos na mortalidade, parasitismo, emergência e razão sexual de agrotóxicos utilizados em arroz sobre *Telenomus podisi*, e classes de toxicidade da IOBC.....96

Artigo 3

Tabela 1. Inseticidas registrados para cultura do arroz, testados quanto aos seus efeitos sobre o parasitismo de <i>Trichogramma pretiosum</i> em condição de campo. .	121
Tabela 2. Parasitismo (número de ovos parasitados) de <i>Trichogramma pretiosum</i> quando insetos adultos foram contaminados com inseticidas registrados para cultura do arroz irrigado, em condições de campo, durante a safra 2019/20.....	122
Tabela 3. Parasitismo (número de ovos parasitados) de <i>Trichogramma pretiosum</i> quando insetos adultos foram contaminados com inseticidas registrados para cultura do arroz irrigado, em condições de campo, durante a safra 2020/21.....	123

Sumário

1.Introdução Geral	14
2.Artigo 1-Efeitos combinados de temperatura e inseticidas utilizados na cultura da soja sobre o parasitoide de ovos <i>Telenomus podisi</i> (Hymenoptera: Platygasteridae). .	20
Resumo	22
Palavras-chave	22
1.Introdução.....	23
2. Materiais e métodos.....	25
3. Resultados.....	30
4. Discussão	34
Referências.....	39
3.Artigo 2-Efeitos residuais e persistência foliar de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado sobre o parasitoide de ovos <i>Telenomus podisi</i> (Hymenoptera: Platygasteridae)	58
Resumo	60
Palavras-chave	60
1.Introdução.....	61
2. Material e métodos	63
3. Resultados.....	70
4. Discussão	75
Referências.....	79
4.Artigo 3-Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do arroz irrigado sobre o parasitoide de ovos <i>Trichogramma pretiosum</i> (Hymenoptera: Trichogrammatidae)...	99
Resumo	101
Palavras-chave	101
1. Introdução.....	102
2. Material e métodos	104
3. Resultados.....	107
4. Discussão	109
Referências.....	112
5.Conclusões	127
Referências	129

1.Introdução Geral

As terras da porção meridional do Brasil, até os dias de hoje, apresentam formas de utilização limitadas. O Rio Grande do Sul, por exemplo, possui uma área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares constituída por solos que apresentam características hidromórficas, comumente chamados de áreas de várzea ou terras baixas (VERNETTI JÚNIOR et al., 2009).

Historicamente, dentre as principais alternativas de cultivo das áreas de várzea do estado, o arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação ganha destaque, visto que anualmente são cultivados aproximadamente 1,1 milhões de hectares (CONAB, 2021). Além disso, cerca de 80% da produção nacional provém dessas áreas, somando aproximadamente 7,8 milhões de toneladas do cereal (CONAB, 2021).

Entretanto, o arroz quando utilizado em sistema de monocultivo, favorece alguns fatores bióticos, como o aumento dos níveis populacionais de artrópodes-praga, como a lagarta-da-folha (*Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)), a lagarta-da-panícula (*Pseudaletia* spp. (Lepidoptera: Noctuidae)), os percevejos do gênero *Oebalus* sp. e *Tibraca limbativentris* Stal (Hemiptera: Pentatomidae) (HEINRICHS; MUNIAPPAN., 2017; REUNIÃO, 2018). Da mesma forma, fitopatógenos como a brusone (*Magnaphorte oryzae* B. Couch), considerada a doença mais severa deste cultivo, também causam sérios problemas (DEAN et al., 2012).

Além disso, a monocultura com arroz favorece o estabelecimento e disseminação de plantas daninhas, principalmente do arroz-vermelho e capim-arroz, consideradas as principais daninhas no sistema de cultivo orizícola (REUNIÃO, 2018). Para esse último fator biótico, a utilização de cultivares comerciais de arroz com resistência aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, sistema Clearfield®, possibilitou nos últimos anos o controle seletivo do arroz vermelho. No entanto, o uso

contínuo desse sistema favoreceu a seleção de biótipos de arroz vermelho resistentes a esses herbicidas (MENEZES et al., 2009).

A partir disso, devido a necessidade de busca de sistemas de produção alternativos para a rotação com o arroz irrigado, que aliassem benefícios econômicos, técnicos e ambientais, a soja constitui-se como uma opção promissora (VEDELAGO et al., 2012), tendo em vista que a utilização das áreas aumentaria de aproximadamente 1,1 para 3 milhões de hectares devido principalmente ao mercado aquecido dos *commodities* agrícolas (REUNIÃO, 2018). Dentre os fatores técnicos e ambientais, a rotação com a soja além de contribuir para a redução do banco de sementes de daninhas, quebra de ciclo de fitopatógenos e artrópodes-praga e melhora os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (GASTAL et al., 2004; REUNIÃO, 2018).

Embora existam vários pontos positivos da rotação arroz e soja, muitos são os desafios para a introdução e condução da soja em terras baixas (CONCENÇO et al., 2020). Assim como no sistema produtivo orizícola, a soja também é afetada por fatores bióticos que causam significativas reduções do potencial produtivo. Dentre estes destacam-se os artrópodes-praga do complexo de lagartas e percevejos (POZEBON et al., 2020), com ênfase a *Nezara viridula* (Linnaeus) (Hemiptera: Pentatomidae), *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) que causam danos diretos atacando as vagens e conseqüentemente os grãos ou sementes (SOSA-GÓMEZ et al., 2014).

Diante disso, com base nos principais fatores bióticos limitantes a altas produtividades no sistema produtivo de rotação arroz e soja em áreas de várzea, o principal método de controle utilizado é o químico (MARTINS et al., 2009; PANIZZI, 2013; HIROOKA; ISHII, 2013; MARCHESI; CHAUHAN, 2019). Pelo relativo menor custo de aplicação, considerando o agrotóxico e equipamento, em relação aos significativos acréscimos na produtividade, ocorreu um aumento substancial utilização de agrotóxicos (POZEBON et al. 2020). No entanto, o uso de forma incorreta e abusiva vem sendo o principal responsável pelo manejo inadequado das pragas (MARTINS et al., 2009), onde aplicações têm sido efetuadas sem considerar os níveis de controle, antecipadamente à época indicada, e usando produtos que, na maioria das vezes, apresentam baixa seletividade sobre espécies não alvo, como inimigos naturais e polinizadores (BUENO et al. 2018), isto é, sem considerar alguns dos alicerces do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Assim sendo, o MIP se mostra como uma forma de controle eficiente e segura, pois considera a utilização conjunta de diferentes métodos (PARRA, 2014). Dentre os métodos, destaca-se o controle biológico, principalmente por ser economicamente viável e “*ecofriendly*” (VAN DRIESCHE et al., 2008; LOU et al., 2013). Nesse sentido, a intensificação de liberações, ou a simples conservação de inimigos naturais de pragas associadas ao controle químico (TORRES; BUENO et al., 2018; CARVALHO et al., 2019) pode ser uma alternativa para o sucesso do MIP. Para isso, se faz necessária à conservação da entomofauna benéfica e/ou a liberação inundativa de populações oriundas de criações massais (PARRA, 2019).

Considerando o agroecossistema de terras baixas, diversos inimigos naturais são relatados como agentes de controle de artrópodes-praga (LOU et al., 2013; SOUZA et al., 2019). Logo, insetos parasitoides de ovos vêm ganhando importância, visto que controlam a praga na fase de ovo, antes mesmo que qualquer injúria ocorra. Dentre estes, *Telenomus podisi* (Ashmead) (Hymenoptera: Platygasteridae) caracteriza-se por ser reconhecidamente generalista, regulando populações de uma ampla gama de pentatomídeos-praga dos cultivos de arroz e soja, como *T. limbativentris* (IDALGO et al., 2013), *Oebalus* spp. (ZACHRISSON; MARTINEZ, 2011), *Nezara viridula* (Linnaeus) (Hemiptera: Pentatomidae) (PACHECO; CORRÊA-FERREIRA, 2000), *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) e *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) (GODOY et al., 2005). Além disso, *T. podisi*, já foi registrado naturalmente do extremo-sul ao centro-oeste Brasileiro (MEDEIROS et al., 1997; FARIAS et al., 2012) e, em liberações inundativas, com o recente registro como produto comercial (BRASIL, 2020) possui potencial de liberação em mais de 35 milhões de hectares no País (PARRA, 2019).

Além deste, parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* são relatados como os mais eficientes na regulação de populações de lepidópteros-praga. Na América do Sul já foram relatadas mais de 40 espécies pertencentes a esse gênero (QUERINO; ZUCCHI, 2019). Além disso, a utilização de *Trichogramma* spp. como agente de controle é importante devido a facilidade de multiplicação utilizando técnicas de criação massal em laboratório (COELHO JUNIOR; PARRA, 2013). Este fato, despertou o interesse de diversas empresas comerciais que atualmente fazem a multiplicação deste inimigo natural em grande escala (Parra, 2019). Sendo assim, a utilização desse parasitoide de ovos está inserida em um contexto de um dos maiores

programa de controle biológico do mundo (PARRA, 2019; PARRA; COELHO JUNIOR, 2019).

Dentro desse gênero, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) ganha destaque, visto que é eficiente na regulação de populações principalmente de *S. frugiperda* (SIQUEIRA et al., 2012), uma das mais importantes pragas atualmente no cultivo da soja e que também causa prejuízos significativos no cultivo orizícola (POZEBON et al., 2020; REUNIÃO, 2018). Além desta, já foi relatado parasitismo sobre ovos de *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae), *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (BUENO et al., 2012), *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) (FORESTI et al., 2013) e *Pseudaletia* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) (FOERSTER et al., 2015). Assim sendo, somente no Estado do Rio Grande do Sul, *T. pretiosum* deve ser inserido em um programa de controle biológico que abrange 20 mil hectares (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

Embora o controle biológico para a regulação de pragas agrícolas seja de extrema importância, o uso de agrotóxicos ainda é necessário. Dessa forma, um dos primeiros passos para a associação de forma efetiva desses dois métodos de controle é, conhecer a compatibilidade dos agrotóxicos sobre os inimigos naturais (CARVALHO et al., 2019), ou seja, um agrotóxico pode ser considerado ideal quando este é eficiente no controle a que se destina e, ao mesmo tempo, não cause efeitos adversos sobre os inimigos naturais (BUENO et al., 2017). Para isso, a *International Organization for Biological and Integrated Control* (IOBC) propôs um esquema sequencial contendo metodologias que envolvem testes de laboratório, semi-campo e campo a fim de prover suficiente informação para classificar o efeito adverso de um agrotóxico em um organismo benéfico (CANDOLFI et al., 2000; HASSAN; ABDELGADER, 2001).

Essas metodologias combinam dois tipos de testes em condições de laboratório, o primeiro teste a ser realizado é com parasitoides adultos, onde a contaminação ocorre via contato, visto que os agrotóxicos são aplicados sobre placas de vidro. Posteriormente, são avaliados os efeitos quando fases imaturas do parasitoide são expostas aos agrotóxicos. A sequência de testes laboratoriais objetiva selecionar produtos inócuos, ou seja, que causem o mínimo efeito adverso sobre o parasitoide, visto que, nessas condições o parasitoide estará sujeito a máxima contaminação. Seguindo esse padrão metodológico, diversos estudos já foram

realizados sobre *T. pretiosum* (ver em: RAKES et al., 2020) e *T. podisi* (por exemplo: PAZINI et al., 2017; ZANTEDESCHI et al., 2018a; ZANTEDESCHI et al., 2018b).

Entretanto, até o momento esses estudos de ecotoxicologia foram realizados somente sob condições constantes (Temperatura: 25 ± 1 °C; UR: $70\pm 10\%$; Fotofase: 14 h) e ideais para o local. Com base nisso, e tendo em vista que a combinação de estressores naturais, como a temperatura (que é considerada o principal) com agrotóxicos, interações sinérgicas ou antagônicas podem ocorrer sobre a toxicidade em inimigos naturais. Logo faz-se necessário o entendimento desses efeitos combinados afim de utilizar esses dados em um programa de MIP.

A sequência metodológica proposta pela IOBC, diz que: para os produtos que forem considerados como moderadamente nocivos ou nocivos em laboratório, seguindo os critérios de classificação da IOBC, testes em condições de semi-campo são necessários. Nessas condições há a exposição (contato) de adultos de parasitoides em folhas da cultura tratadas, com diferentes intervalos após a aplicação do agrotóxico, visto que os compostos podem sofrer degradação ao longo do tempo. O principal objetivo desse método é obter a informação sobre a duração (dias) da atividade nociva dos agrotóxicos sobre o inimigo natural. A partir disso, conforme Morales et al., (2019) torna-se importante o conhecimento da concentração e da taxa de dissipação dos agrotóxicos presentes nas folhas, de forma que seja possível a correlação entre estes com os possíveis efeitos causados sobre parasitoides, visto que diversos fatores ligados a fisiologia vegetal podem influenciar a degradação do composto e, conseqüentemente sua atividade nociva.

Por fim, para os produtos que se caracterizarem com elevada persistência, ocasionando efeitos letais ou subletais significativos sobre o parasitoide, estudos de campo são necessários, afim de confirmar a real toxicidade do produto. No entanto, nenhum estudo de seletividade de agrotóxicos foi realizado em condições de campo, devido principalmente a dificuldades de execução e metodológicas.

Assim sendo, os estudos aqui descritos abrangem as lacunas citadas acima em estudos de seletividade de agrotóxicos utilizados em agroecossistema de várzea sobre os parasitoides de ovos *T. pretioum* e *T. podisi*, inimigos naturais esses de extrema importância no controle biológico nos cultivos de arroz irrigado e soja. Os resultados encontrados nos estudos que compõe a presente dissertação revelam novas informações, que até o momento eram inexistentes, demonstrando benefícios

práticos da utilização do método biológico e químico, visando a integração de maneira eficiente no MIP.

2.Artigo 1

Efeitos combinados de temperatura e inseticidas utilizados na cultura da soja sobre o parasitoide de ovos *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae).

*Artigo redigido nas normas da revista "Science of the Total Environment" (versão em Português)

1 **Efeitos combinados de temperatura e inseticidas utilizados na cultura da soja sobre o**
2 **parasitoide de ovos *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae)**

3

4 Matheus Rakes^{1*}, Rafael Antonio Pasini², Maíra Chagas Morais¹, Daniel Bernardi¹, Anderson
5 Dionei Grützmacher¹.

6

7 ¹Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, Rio Grande
8 do Sul, Brasil.

9 ²Centro de Ensino Superior Riograndense (CESURG), Sarandi, Rio Grande do Sul, Brasil.

10

11 ***Autor correspondente:***

12 Matheus Rakes,

13 Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), 96010-900, Pelotas,
14 Rio Grande do Sul, Brasil.

15 e-mail: matheusrakes@hotmail.com

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26 **Resumo:** Estudamos a toxicidade letal e subletal sobre a fase imatura (pupa) e adulta do
27 parasitoide de ovos *T. podisi*, a partir da combinação de seis inseticidas em três níveis de
28 temperatura (15, 25 e 30 °C). Os bioensaios foram conduzidos utilizando o método de
29 contaminação via contato tarsal para adultos e na fase de pupa de *T. podisi* via aplicação com
30 torre de Potter. Sobre adultos o tempo letal para causar 10 e 50% (TL₁₀ e TL₅₀) de mortalidade
31 foi menor para acefato, clorfenapir, espinosade e tiametoxam+lambda-cialotrina, conforme a
32 temperatura se elevou. Para metoxifenoazide+espinetoram a menor TL₁₀ e TL₅₀ foi encontrada
33 na temperatura de 15 °C. Sobre adultos de *T. podisi*, acefato, espinosade e tiametoxam+lambda-
34 cialotrinha ocasionaram 100% de mortalidade acumulada independente da temperatura de
35 exposição. Clorfenapir ocasionou mortalidade de 1,25% à 15 °C e maiores que 60% nas
36 temperaturas superiores. Para metoxifenoazide+espinetoram as mortalidades do parasitoide
37 variaram de 88,75% e reduziram-se a 36,25% conforme a temperatura de exposição se elevou
38 de 15 para 30 °C. Clorantraniliprole não causou mortalidade aos 15, 25 e 30 °C. Quanto aos
39 efeitos subletais sobre *T. podisi*, apenas metoxifenoazide+espinetoram (nas três temperaturas
40 avaliadas) e clorfenapir (apenas a 30 °C) ocasionaram efeitos superiores a 30% na redução de
41 parasitismo (RP) e emergência (RE). Quando a fase de pupa de *T. podisi* foi exposta aos
42 inseticidas, tiametoxam+lambda-cialotrina ocasionaram RE superiores a 90% em todas
43 temperaturas. Espinosade e metoxifenoazide+espinetoram ocasionaram efeitos superiores a 30%
44 somente quando expostos a 30 °C, já acefato esses efeitos foram observados a partir de 25 °C.
45 Nossos resultados destacam possíveis interações entre temperaturas e exposição a inseticidas o
46 que sugere a necessidade de incluir estressores naturais, como temperatura, em testes de
47 toxicidade sobre inimigos naturais.

48

49 **Palavras-chave:** Manejo Integrado de Pragas; Controle Químico; Controle Biológico;
50 Mudanças climáticas; Interações.

51 1. Introdução

52 A soja (*Glycine max* L.) (Fabaceae: Phaseoleae) sofreu maior expansão do que qualquer
53 outro cultivo agrícola global, com sua produção crescendo de menos de 30 milhões para mais
54 de 330 milhões de toneladas nos últimos 50 anos, sendo atualmente cultivada em uma área de
55 mais de 120 milhões de hectares (FAO, 2021). Dentro desse contexto, o Brasil, que apresenta
56 diferentes tipos de clima em virtude da grande extensão territorial, é considerado o maior
57 produtor da leguminosa do mundo, sendo esta cultivada de norte a sul do País, com uma área
58 de aproximadamente 38 milhões de hectares (CONAB, 2021).

59 No entanto, um dos principais fatores limitantes ao potencial produtivo da soja tem sido
60 a ocorrência de artrópodes-praga, principalmente do complexo de lagartas e percevejos, ao
61 longo do ciclo da cultura (Pozebon et al. 2020). Esses problemas fitossanitários ocasionam
62 redução do estande de plantas, desfolha e/ou de injúrias às vagens (Sosa-Gómez et al., 2014),
63 desencadeando frequentes pulverizações de inseticidas (Panizzi, 2013).

64 O controle químico ainda é uma das principais estratégias utilizadas para supressão
65 populacional de artrópodes-praga na cultura da soja no Brasil (Panizzi, 2013; Pozebon et al.
66 2020). Entretanto, o uso intensivo e de maneira errônea (sem considerar o nível de dano da
67 praga ou aplicados por calendário) de inseticidas sintéticos acarreta em diversos problemas,
68 sendo um dos principais o desequilíbrio populacional da entomofauna benéfica, que possui a
69 função de agente no controle natural (Torres & Bueno, 2018; Carvalho et al. 2019).

70 Dentre os principais agentes de controle biológico na cultura da soja, estão os parasitoides
71 da família Platygasteridae, que são considerados os mais importantes inimigos naturais de
72 pentatomídeos-praga (Pacheco & Corrêa-Ferreira, 2000; Godoy et al. 2005). *Telenomus podisi*
73 Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae) ganha destaque por ser o mais eficiente no parasitismo
74 de ovos de *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) e de *Piezodorus guildinii*
75 (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) (Godoy & Ávila, 2000), que são as espécies mais

76 prejudiciais aos cultivos de soja no Brasil (Sosa-Gómez et al. 2020). Além disso, *T. podisi* pode
77 ser encontrado naturalmente do Centro-Oeste (Medeiros et al. 1997) ao extremo Sul (Farias et
78 al. 2012) do Brasil e, como produto comercial possui potencial de liberação inundativa em 36
79 milhões de hectares (Parra, 2019).

80 Com base neste cenário, evidenciando a realidade da utilização do controle químico e a
81 importância do controle biológico conservativo e/ou inundativo, o sucesso do Manejo Integrado
82 de Pragas (MIP) é dependente de estudos de toxicidade/seletividade de inseticidas sobre o
83 parasitoide (Torres & Bueno, 2018; Carvalho et al. 2019). No entanto, até o momento, os
84 estudos de avaliação de risco ecotoxicológico foram baseados em testes de laboratório onde os
85 organismos são expostos a agrotóxicos sob condições “padrão” de temperatura, umidade
86 relativa do ar e fotoperíodo (constantes e ideais) (Newman, 2014; Abbas et al. 2015).
87 Entretanto, isso dificilmente ocorrerá em condições de campo (Holmstrup et al. 2010). Além
88 disso, devido à grande variabilidade das condições climáticas entre as diferentes regiões do
89 Brasil e do mundo, os resultados dos testes realizados em condições padrão podem subestimar
90 ou superestimar gravemente os efeitos deletérios reais dos pesticidas (Gergs et al. 2013).

91 As mudanças ambientais tendem a ser os principais estressores físicos, sendo a
92 temperatura o fator mais proeminente (Schiedek et al. 2007; Fischer et al. 2013). Ainda, estima-
93 se que o aquecimento global aumente a temperatura média da Terra em 1,5 a 5,8 °C até o final
94 deste século (Karl & Trenberth, 2003). Isso teria uma ampla gama de desvantagens na fisiologia
95 dos insetos e conseqüentemente na toxicidade dos pesticidas, uma vez que a temperatura é o
96 fator climático mais importante que rege todo o ciclo biológico destes (Hance et al. 2007).

97 O efeito da temperatura combinado a pesticidas em insetos foi estudado principalmente
98 para artrópodes-praga, evidenciando as diferenças na eficácia destes (por exemplo: Yu et al.
99 2012 Saeed et al. 2018). Além disso, poucos estudos caracterizaram tais interações em termos
100 de serem sinérgicas, antagônicas ou aditivas (Holmstrup et al., 2010). Por outro lado, sobre

101 parasitoides, somente Abbas et al. (2015) estudaram o efeito de altas temperaturas combinadas
102 a pesticidas utilizados em tomateiro. Logo, compreender a interação entre agrotóxicos
103 utilizados em culturas agrícolas globais (como a soja) e diferentes temperaturas, sobre
104 parasitoides utilizados em programas de controle biológico conservativo e/ou inundativo, como
105 é o caso de *T. podisi*, pode auxiliar no entendimento da utilização dentro da estrutura do MIP e
106 do cenário das mudanças climáticas.

107 Com base nisso, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a toxicidade letal e subletal
108 sobre a fase imatura (pupa) e adulta do parasitoide de ovos *T. podisi*, com a utilização da
109 combinação de seis inseticidas amplamente utilizados na cultura da soja no Brasil em três
110 diferentes níveis de temperatura, 15, 25 e 30° C, sendo estes considerados regimes térmicos
111 baixo, regular e alto, respectivamente.

112

113 **2. Materiais e métodos**

114 *2.1. Insetos*

115 A colônia de *E. heros*, foi originada de adultos coletados em áreas cultivadas com soja
116 (22°26'58.8" S; 47°04'25.7" N), no ano de 2020 e, foi estabelecida por meio de criação massal
117 em laboratório (Temperatura: 25±1 °C; UR: 70±10%; Fotofase: 14 h), de acordo com Silva et
118 al. (2008). A colônia de *T. podisi*, inicialmente obtida via Koppert Biological Systems®
119 (Charqueada, SP, Brasil), foi mantida em laboratório (Temperatura: 25±1 °C; UR: 70±10%;
120 Fotofase: 14 h) conforme Peres e Corrêa-Ferreira (2004).

121

122 *2.2. Inseticidas*

123 Utilizaram-se seis formulações comerciais de inseticidas, com diferentes modos de ação
124 sobre insetos, amplamente utilizados durante a fase reprodutiva da soja (fase em que coincide

125 com liberações inundativas de *T. podisi*) (Brasil, 2021) (Tabela 1). Os agrotóxicos foram
126 utilizados na maior dose recomendada pelo fabricante, com volume de calda de 200 L.ha⁻¹.

127

128 2.3. Bioensaios

129 Foram conduzidos dois tipos de bioensaios para avaliar os efeitos combinados de
130 inseticidas em diferentes temperaturas sobre *T. podisi*. O primeiro bioensaio consistiu na
131 avaliação dos efeitos (letais e subletais) quando adultos do parasitoide foram expostos aos
132 pesticidas, nas diferentes temperaturas. O segundo bioensaio, avaliou os efeitos sobre a
133 emergência de *T. podisi*, quando os inseticidas, nas diferentes temperaturas foram aplicados
134 sobre ovos parasitados de *E. heros*, correspondendo a fase de pupa do parasitoide (pós-
135 parasitismo).

136 Os experimentos foram conduzidos em câmaras climatizadas do tipo BOD (Prolab, SP,
137 Brasil) mantendo três temperaturas constantes diferentes: uma temperatura baixa (15°C), uma
138 temperatura ideal (25°C) e uma temperatura acima do ideal (30°C) (Ricuero et al. 2020). As
139 condições de umidade relativa (75%) e fotoperíodo ((14: 10 [L: D] h) foram mantidas
140 constantes em todas as câmaras.

141

142 2.3.1. Bioensaios sobre adultos de *T. podisi*

143 Os bioensaios de efeitos letais e subletais do impacto simultâneo dos inseticidas e
144 temperaturas sobre insetos adultos de *T. podisi* foram investigados através do método de
145 contaminação via contato tarsal (Snodgrass, 1996), seguindo as adaptações, para espécie em
146 estudo, propostas por Pazini et al. (2019).

147

148 2.3.2.1. Efeitos letais (toxicidade aguda)

149 Tubos de vidro (1,0 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura = área superficial de 25,91 cm²)
150 foram impregnados com 500 µl da calda inseticida de cada tratamento, com a máxima dosagem
151 indicada na bula do fabricante para a cultura da soja. O tratamento controle recebeu água
152 destilada. A secagem da calda foi realizada em equipamento de rotação, para uniformidade da
153 distribuição do inseticida no tubo. Em cada tratamento foram utilizadas oito repetições,
154 contendo cinco casais de parasitoides adultos, de até 48 horas de idade.

155 Os parasitoides foram removidos dos tubos de vidro após uma hora da contaminação e
156 acondicionados em novos frascos de vidro (2,4 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura) contendo
157 um filete de mel puro como fonte alimentar. As taxas de mortalidade foram verificadas às 0,33,
158 0,66, 1, 1,33, 1,66, 2, 4, 6, 8, 24, 48 e 72 horas após aplicação dos tratamentos (HAAT).
159 Consideraram-se mortos os parasitoides que mostraram incapacidade de locomoção, mediante
160 estímulo com pincel de ponta fina.

161

162 2.3.2.2. *Efeitos subletais*

163 Casais de *T. podisi* foram estabelecidos e mantidos por 36 h para o acasalamento em
164 frascos de vidro (2,4 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura), contendo filetes de mel puro como
165 alimento. Em seguida, as fêmeas (acasaladas e sem experiência de forrageamento) foram
166 introduzidas em tubos de vidro (1,0 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura) que estavam tratados
167 com 500 µl da calda inseticida (com a máxima dosagem indicada na bula) ou água destilada
168 (tratamento controle), conforme descrito acima. Utilizaram-se quatro repetições, com dez
169 fêmeas cada, totalizando 40 fêmeas por tratamento.

170 Decorrido o período de uma hora após a exposição, vinte fêmeas sobreviventes,
171 escolhidas aleatoriamente, foram removidas, individualizadas e acondicionados em pequenas
172 gaiolas (tubos de vidro de 2,4 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura), contendo mel como fonte
173 alimentar. Em cada gaiola contendo uma fêmea, uma cartela confeccionada de papel cartolina

174 com 25 ovos (massas de ovos frescos ~12 h) de *E. heros* foi ofertada, durante 24 horas, para
175 parasitismo por *T. podisi*. Decorrido esse período as cartelas de ovos foram removidas e
176 individualizadas em novos tubos de vidro para determinação da taxa de ovos parasitados pelas
177 fêmeas (geração F₀) expostas aos inseticidas (nas diferentes temperaturas), taxa de emergência
178 e razão sexual (geração F₁).

179 Para os tratamentos que não houveram no mínimo 5 fêmeas sobreviventes (por exemplo:
180 acefato, espinosade e tiametoxam+lambda-cialotrina), o bioensaio de efeito subletal não foi
181 realizado, seguindo as recomendações da International Organization for Biological and
182 Integrated Control (IOBC) (Candolfi, et al. 2000).

183

184 2.3.2. Bioensaios sobre a fase pupal de *T. podisi* (bioensaio de pós parasitismo)

185 Cartelas confeccionadas de papel cartolina (~2 cm², uma cartela = uma repetição) com
186 aproximadamente 40 ovos do hospedeiro *E. heros* parasitados por *T. podisi* foram
187 acondicionadas em frascos de vidro (2,4 cm de diâmetro x 8,0 cm de altura) e mantidos em
188 câmara climatizada a 25°C por 216 horas (9 dias) após o parasitismo, equivalente a fase de pupa
189 do parasitoide (Stecca et al. 2018).

190 Em seguida, cinco repetições foram separadas para cada inseticida, em cada
191 temperatura, para pulverização das caldas inseticidas. A pulverização foi realizada utilizando
192 uma torre de Potter calibrada para depositar um volume de 1,25±0,25 mg.cm⁻² de acordo com
193 os protocolos estabelecidos pela IOBC (Hassan et al. 2000; Stecca et al. 2018). Em seguida, as
194 cartelas com os ovos de *E. heros* pulverizados (contendo pupas de *T. podisi*) foram transferidas
195 para os mesmos frascos de vidro descritos acima e acondicionados nas câmaras climatizadas
196 do tipo BOD, com as respectivas temperaturas em estudo, para determinação da taxa de
197 emergência do parasitoide.

198

199 2.4. *Análise estatística e classificação da toxicidade*

200 O número de parasitoides mortos em cada tratamento e período de tempo (0,33, 0,66, 1,
201 1,33, 1,66, 2, 4, 6, 8, 24, 48 e 72 h) foram submetidas à análise Probit do pacote de análise de
202 curvas de dose-resposta, no software R[®]. Esse procedimento foi realizado para estimar o tempo
203 letal (TL₁₀ e TL₅₀), ou seja, o tempo necessário para atingir 10 e 50% de mortalidade do
204 parasitoide, respectivamente, bem como, os intervalos de confiança de 95% (IC 95%) e os
205 valores de χ^2 . Os tempos letais foram considerados significativamente diferentes quando se
206 observou ausência de sobreposição dos intervalos de confiança.

207 As taxas de mortalidade acumulada (72 h), os efeitos sobre o parasitismo, razão sexual
208 e emergência de *T. podisi* foram, primeiramente, analisados em relação à normalidade e
209 homogeneidade da variância, utilizando o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Bartlett,
210 respectivamente. Quando essas premissas não foram atendidas, realizou-se a análise de
211 variância não paramétrica de Kruskal-Wallis, e as médias comparadas pelo teste de Dunn com
212 correção de Bonferroni, a 5% de probabilidade de erro. Para os dados em que se assumiu
213 normalidade e homogeneidade das variâncias, foi realizada análise de variância (ANOVA), e
214 as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

215 Ainda, a mortalidade adulta e a emergência dos insetos no bioensaio sobre a fase pupal
216 de *T. podisi* (pós parasitismo) foram analisadas separadamente para cada temperatura,
217 utilizando o modelo linear generalizado logístico com interceptação aleatória. O número de
218 insetos mortos ou emergidos foram considerados como a variável resposta (dependente); as
219 temperaturas e os inseticidas foram incluídos como variáveis explicativas (independentes). A
220 interação tratamentos*temperaturas também foi testada. A opção do χ^2 de Pearson foi usada
221 para dimensionar os parâmetros que explicam a superdispersão. As análises estatísticas foram
222 realizadas com o software R versão 4.0.2 (R Development Core Team, 2020).

223 Além disso, para os valores de parasitismo e emergência empregamos a análise
224 descritiva estabelecida pela IOBC por meio da equação: $E = (1 - T/C) \times 100$, em que E é a
225 porcentagem de redução no parasitismo ou emergência; T é a média do parasitismo ou
226 emergência para o tratamento e C é a média do parasitismo ou emergência do tratamento
227 controle (testemunha). Após, os resultados foram classificados em: classe 1: inócuo ($E < 30\%$);
228 classe 2: levemente nocivo ($30\% \leq E \leq 79\%$); classe 3: moderadamente nocivo ($80\% \leq E \leq 99\%$);
229 classe 4: nocivo ($E > 99\%$) (Hassan et al. 2000).

230

231 3. Resultados

232 3.1. Tempo letal e mortalidade de adultos *T. podisi* exposto a inseticidas em diferentes 233 temperaturas

234 Ao quantificar o tempo letal (horas), observou-se diferenças significativas para causar
235 10 e 50% (TL_{10} e TL_{50}) de mortalidade a adultos de *T. podisi*, entre as diferentes temperaturas
236 (Tabela 2). Com exceção de metoxifenoazida+espinetoram, em que os menores tempos letais
237 foram encontrados a 15 °C ($TL_{10}=2,3$ h), diferindo significativamente de 25 ($TL_{10}=6,7$ h) e 30°C
238 ($TL_{10}=6,2$ h) os demais inseticidas apresentaram, de forma geral, menores valores de TL em
239 temperaturas mais altas (Tabela 2). O tempo letal médio para mortalidade de 10 e 50% de *T.*
240 *podisi* quando contaminado com acefato foi aproximadamente 4 vezes menor, conforme a
241 temperatura foi elevada de 15 para 30°C (Tabela 2). Para clorfenapir, os valores de TL_{10} a 25°
242 C ($TL_{10}= 5,4$ h) e 30 °C ($TL_{10}=4,3$ h) não diferiram significativamente entre si, bem como para
243 a TL_{50} nas respectivas temperaturas (Tabela 2). De mesma forma para espinosade, diferenças
244 significativas foram observadas na temperatura de 15 °C ($TL_{10}= 2,1$ h; $TL_{50}=4,8$ h), quando
245 comparada a 25 ($TL_{10}=1,1$ h; $TL_{50}=1,9$ h) e 30°C ($TL_{10}=1,2$ h; $TL_{50}=1,9$ h). Para
246 clorantraniliprole os tempos letais não foram estimados pois não houve mortalidade dos insetos,

247 por outro lado para tiametoxam devido a rápida mortalidade causada a 25 e 30 °C esses valores
248 também não foram estimados (Tabela 2).

249 A mortalidade acumulada de adultos de *T. podisi* após 72 h de exposição variou
250 significativamente entre os tratamentos nas diferentes temperaturas (15 °C: kw=52,181; df=6,
251 78; p <0,0000001; 25 °C: kw=54,05; df=6, 78; p <0,0000001; 30 °C: kw= 54,3922; df=6, 78; p
252 <0,0000001) (Figura 1). *T. podisi* quando exposto por 72 h aos inseticidas acefato, espinosade
253 e tiametoxam+lambda-cialotrina apresentou mortalidade acumulada de 100% em todas as
254 temperaturas avaliadas, diferindo significativamente dos respectivos tratamentos controle
255 (Figura 1). Já clorantraniliprole não causou mortalidade significativa em nenhuma temperatura
256 avaliada, em relação à testemunha (Figura 1). Em adição a isso, metoxifenoziide + espinetoram,
257 causou mortalidade de 88,75, 38,75 e 36,25% sobre adultos de *T. podisi*, aos 15, 25 e 30 °C,
258 respectivamente, não diferindo significativamente do tratamento controle apenas na
259 temperatura de 25 °C (Figura 1). Em contrapartida, a mortalidade causada por clorfenapir aos
260 15, 25 e 30 °C foi de 1,25, 66,25 e 71,25%, respectivamente, diferindo estatisticamente da
261 testemunha apenas na temperatura de 30 °C (Figura 1).

262 O modelo linear generalizado também demonstrou que houve interação de
263 temperaturas*inseticidas e essas causaram efeitos significativos em adultos de *T. podisi*
264 ($\chi^2=1756,61$; df=6; p<0,00001) (Figura 2). O inseticida clorfenapir apresentou a maior elevação
265 de probabilidade de mortalidade do parasitoide conforme o aumento da temperatura, com 0 de
266 probabilidade aos 15 °C e 0,8 aos 30 °C, apresentando uma interação sinérgica na toxicidade do
267 inseticida com o aumento da temperatura (Figura 2). Em contrapartida,
268 methoxyfenoziide+espinetoram demonstrou que a probabilidade de mortalidade de *T. podisi*
269 reduz aproximadamente 70% com o aumento da temperatura, logo a interação do inseticida
270 com o aumento da temperatura é antagônica (Figura 2).

271

272 3.2. Efeitos subletais sobre *T. podisi* exposto a inseticidas em diferentes temperaturas

273 A contaminação das fêmeas de *T. podisi*, da geração F₀, pelo contato aos inseticidas
274 acarretou em efeitos subletais, na redução de parasitismo, significativos aos 15 (F=13,693; df
275 =3, 76; p<0,0000001), 25 (kw= 19,246; df=3, 76; p=0,0002432) e 30 °C (kw=26,399; df=3, 76;
276 p<0,0000001) (Tabela 3). O inseticida metoxifenoazide+espinetoram, a 15 °C (6,90 ovos
277 parasitados) causou significativa redução de parasitismo (53,22%) em relação aos demais
278 tratamentos, portanto foi classificado como levemente nocivo (Classe 2) (Tabela 3). Os efeitos
279 desse inseticida sobre *T. podisi* também foram observados quando expostos aos 25 e 30°C,
280 causando reduções de parasitismo de 45,67 (Classe 2) e 46,29% (Classe 2), respectivamente,
281 sendo estes significativamente diferentes ao tratamento controle (Tabela 3). Embora
282 clorfernapiir tenha sido classificado como inócuo (Classe 1) aos 15 (RP = 1,35%) e 25 °C (RP
283 = 25,67%), esse efeito foi agravado aos 30 °C, visto que o número de ovos parasitados (10,55)
284 foi significativamente inferior a testemunha, classificando-se como levemente nocivo (Classe
285 2) nesta temperatura (Tabela 3). Em contrapartida, clorantraniliprole não causou efeitos
286 significativos sobre o parasitismo em nenhuma das temperaturas avaliadas, logo demonstrou-
287 se como inócuo (Classe 1) (Tabela 3).

288 Com relação aos efeitos sobre a progênie (geração F₁), apenas o inseticida a base de
289 metoxifenoazide+espinetoram ocasionou efeitos significativos na redução de emergência (>
290 40%) em todas as temperaturas, quando comparado ao tratamento controle, logo enquadrou-se
291 como classe 2 (15 °C: F= 7,1154; df=3, 76; p= 0,00028218, 25 °C: kw= 14,701; df=3, 76;
292 p=0,002091 e 30 °C: kw= 15,509; df=3, 76; p=0,001429) (Tabela 4). Em adição a isso (mesmo
293 não diferindo estatisticamente da testemunha), clorfernapiir na temperatura de 30 °C, apresentou
294 uma redução de parasitismo de 33,62% classificando-se como levemente nocivo (Tabela 4). Os
295 demais tratamentos estudados não ocasionaram efeitos significativos no número de insetos
296 emergidos quando comparados ao tratamento controle (Tabela 4).

297 Quanto aos efeitos causados na proporção de machos e fêmeas originados (geração F₁),
298 clorfantraniliprole, clorfenapir e metoxifenoze+espinetoram não ocasionaram efeitos
299 significativos em nenhuma das temperaturas avaliadas (15 °C: kw= 0,96958; df= 3, 76;
300 p=0,8108, 25 °C: kw=2,1764; df= 3, 76; p=0,5366 e 30 °C: kw= 5,7442; df= 3, 76; p=0,1247)
301 (Tabela 5).

302

303 3.3. Efeitos sobre a fase pupal de *T. podisi* (bioensaio de pós parasitismo)

304 Quando os inseticidas foram pulverizados sobre ovos de *E. heros* em pós-parasitismo,
305 correspondente a fase de pupa de *T. podisi*, efeitos significativos na emergência de adultos
306 foram observados à 15 (F=22,601; df= 6, 28; p < 0,0000001), 25 (F=70,261; df=6, 28, p <
307 0.0000001) e 30 °C (kw=30,675; df=6, 28, p < 0,0000001) (Tabela 6). Os maiores efeitos sobre
308 a emergência foram causados por tiametoxam+lambdacialotrina, que independente da
309 temperatura de exposição, classificou-se como moderadamente nocivo (Classe 3), com efeitos
310 superiores a 90%, diferindo significativamente dos tratamentos controle (Tabela 6).

311 Quando expostos a temperatura de 15 °C, os inseticidas acefato (22 insetos emergidos),
312 clorfenapir (22,80 insetos emergidos) e espinosade (22,60 insetos emergidos) não causaram
313 reduções de emergência significativas quando comparadas a testemunha, logo foram
314 classificados como inócuos (Classe 1 – RE <30%). Embora os inseticidas clorfantraniliprole e
315 metoxifenoze+espinetoram tenham diferido significativamente da testemunha com relação ao
316 número de insetos emergidos, estes também se classificaram como inócuos, visto que ambos
317 ocasionaram redução de emergência de 28,77% (Tabela 6). Em contrapartida, aos 25 °C todos
318 os inseticidas testados diferiram significativamente do tratamento controle, no entanto,
319 clorfantraniliprole, clorfenapir, metoxifenoze+espinetoram e espinosade apresentaram
320 reduções de emergência inferiores a 30%, logo enquadraram-se na classe 1 (Tabela 6).
321 Entretanto, acefato (20,20 insetos emergidos) apresentou redução de emergência de 35,26%,

322 sendo levemente nocivo (Tabela 6). Já na temperatura de 30 °C, os inseticidas mesmo
323 ocasionando um número de insetos emergidos significativamente inferior quando comparado a
324 testemunha, apenas clorfaniliprole (RE = 28,57%) e clorfenapir (RE= 20,71%) foram
325 inócuos (Classe 1) às pupas de *T. podisi* (Tabela 6). Acefato, metoxifenozone+espinetoram e
326 espinosade foram classificados como levemente nocivos (classe 2) ocasionando reduções de
327 emergência de 60,0, 47,14 e 65,71%, respectivamente (Tabela 6).

328 Em adição a isso, o modelo linear generalizado demonstrou que as temperaturas
329 apresentaram diferença significativa entre elas e ocasionaram efeitos expressivos sobre a fase
330 de pupa de *T. podisi* ($\chi^2=161,26$; $df=6$; $p=0,01514$), no entanto não houve interação entre
331 temperaturas*inseticidas ($\chi^2=161,26$; $df=6$; $p=0,37720$) (Figura 3). Ao elevar a temperatura de
332 15 para 30 °C, há um aumento de aproximadamente 40% na probabilidade de não ocorrer a
333 emergência de *T. podisi*, quando pupas foram expostas ao inseticida espinosade (Figura 3). O
334 mesmo pode ser observado para os inseticidas metoxifenozone+espinetoram e acefato, onde as
335 probabilidades são acrescidas em aproximadamente 20%, conforme o aumento da temperatura
336 (Figura 3). Em contrapartida, para clorfaniliprole e clorfenapir as probabilidades não foram
337 significativamente afetadas (Figura 3).

338

339 4. Discussão

340 O impacto sobre organismos terrestres, dos diferentes tipos de clima presentes no Brasil,
341 bem como o das mudanças climáticas induzidas pela ação antrópica têm levado a crescente
342 preocupação sobre a interação desses estressores naturais em estudos toxicológicos agrícolas
343 no mundo todo (Holmstrup et al. 2010; Chapman et al. 2013; Ricupero et al. 2020). Diante
344 disso, no presente estudo, investigamos os efeitos combinados dos estresses causados pela
345 temperatura e por inseticidas amplamente utilizados no cultivo de soja sobre *T. podisi* e,

346 descobrimos que dependendo do modo de ação do pesticida e do estágio de vida do parasitoide,
347 efeitos sinérgicos e antagônicos podem ser observados em temperaturas crescentes.

348 No cultivo da soja o controle químico é de extrema importância, tendo em vista que do
349 volume total de inseticidas utilizados no Brasil, aproximadamente 50% são destinados a esse
350 cultivo (Oliveira et al. 2014). Em adição a isso, visando atender as premissas do MIP de aliar o
351 controle químico ao biológico, diversos estudos determinaram os efeitos letais e subletais de
352 pesticidas registrados para a cultura da soja sobre o parasitoide de ovos *T. podisi*, (Koppel et al.
353 2011; Stecca et al. 2018; Zantedeschi et al. 2018a; Zantedeschi et al. 2018b; Pazini et al. 2019),
354 entretanto, nenhum deles investigou as possíveis interações entre agrotóxicos e temperaturas.

355 Como grande parte dos insetos são ectotérmicos, seu desempenho comportamental e
356 fisiológico ocorre em função da temperatura ambiente e, o impacto biológico depende
357 estritamente da sensibilidade destes às flutuações de temperatura (Chapman et al. 2013). Por
358 exemplo, a taxa de disparo de neurônios mecano-sensoriais e o número de potenciais de ação
359 produzidos nos neurônios a cada estimulação nas sensilas aumenta significativamente quando
360 a temperatura sobe de 25 à 40 °C (Neven, 2000; Terblanche, 2013). Aliado a isso, a elevada
361 toxicidade e maior velocidade de mortalidade de *T. podisi* observada no presente estudo aos
362 inseticidas neurotóxicos (organofosforados, neonicotinóides, espinosinas e piretroides) pode
363 ser explicada pela atuação destes nos mecanismos de transmissão sináptica dos impulsos
364 nervosos e na neurotransmissão axonal bloqueando os canais de sódio (Casida & Durkin, 2013;
365 Sparks & Nauen, 2015), logo em temperaturas mais altas e ocorrendo a possibilidade de um
366 maior número de potenciais de ação, o inseto será morto mais rapidamente.

367 Por outro lado, há relatos de que inseticidas organofosforados e piretroides, quando
368 expostos a baixas temperaturas, podem diminuir a toxicidade devido a não formação de
369 produtos mais tóxicos por meio da biotransformação (Harwood et al. 2009). Para o grupo das
370 espinosinas também já foi relatado que a temperatura desempenha um papel crítico na

371 toxicidade de inseticidas microbianos, como é o caso de espinosade e espinetoram (Mansoor et
372 al. 2015).

373 Com base em nossos resultados, em temperaturas consideradas baixas (15 °C), o
374 inseticida formulado em mistura a base de metoxifenozone+espinetoram apresentou um
375 possível efeito antagônico ao aumento da temperatura, visto que causou maiores efeitos letais
376 e subletais (no parasitismo e emergência) sobre *T. podisi* aos 15 °C, entretanto o mesmo não
377 ocorreu para espinosade, muito provavelmente porque a concentração desse composto na
378 formulação é maior e, uma das características desse grupo químico é apresentar elevada
379 toxicidade em baixas concentrações sobre inimigos naturais (Biondi et al. 2012). Assim como
380 para acefato e tiametoxam+lambdaciotalrina não observamos redução na toxicidade em
381 temperaturas baixas provavelmente porque utilizamos as doses máximas recomendadas em
382 bula e, conforme descrito por Pazini et al. (2019) as doses de campo de acefato e
383 tiametoxam+lambdaciotalrina, por exemplo, correspondem a >20 e >600 vezes a concentração
384 letal para matar 50% da população de *T. podisi*, respectivamente.

385 Em adição a isso, os efeitos combinados a temperaturas de alguns compostos
386 neurotóxicos já foram observados sobre outras classes de insetos. Saeed et al. (2018)
387 descobriram que piretroides utilizados no controle da praga *Drosophila suzukii* Matsumura
388 (Diptera: Drosophilidae) apresentam elevada toxicidade independente da temperatura de
389 exposição. Entretanto organofosforados e neonicotinóides demonstraram toxicidade
390 significativamente inferior em baixas temperaturas. Sobre inimigos naturais, Ricupero et al.
391 (2020) ao estudarem os efeitos de espinosade sobre *Macrolophus pygmaeus* Rambur
392 (Heteroptera: Miridae), demonstraram que em temperaturas acima de 20 °C, a mortalidade do
393 predador é superior a 90% e Abbes et al. (2015) também encontraram altas taxas de mortalidade
394 do parasitoide *Bracon nigricans* Szépligeti (Hymenoptera: Braconidae) quando exposto a
395 espinosade em temperaturas de 25, 30 e 40 °C.

396 Além disso, é sabido que a taxa respiratória dos insetos se eleva em resposta ao aumento
397 da temperatura e, em altas temperaturas o metabolismo torna-se ineficiente para atender a
398 demanda de oxigênio nos insetos (Neven, 2000). Com a privação de oxigênio há uma
399 interferência nos mecanismos fisiológicos envolvidos na tolerância térmica destes,
400 principalmente nas proteínas de choque térmico (hsps) que requerem ATP para o pleno
401 funcionamento (Neven, 2000). Em vista disso, explicamos o possível efeito sinérgico
402 encontrado em nossos resultados para clorfenapir, visto que esse inseticida, após penetrar nas
403 células dos insetos e ser bioativado por enzimas monoxigenases dependentes do citocromo P-
404 450, forma um composto que inibe a fosforilação oxidativa nas mitocôndrias evitando a
405 produção de ATP (Raghavendra et al. 2011).

406 Em contrapartida, a diamida antranílica (clorantraniliprole) demonstra um perfil
407 ecotoxicológico seguro à parasitoides e predadores (Brugger et al. 2010; Abbes et al. 2015) e,
408 em linha com estudos anteriores esse composto quando comparado aos demais inseticidas
409 testados, apresentou baixa toxicidade aguda e subletal sobre *T. podisi* em todos os regimes
410 térmicos. As diamidas ocasionam uma contração irregular das células musculares dos insetos,
411 levando a cessação de alimentação, letargia, paralisia e morte (Hannig et al. 2009), no entanto
412 para que isso ocorra de maneira eficiente os insetos devem ser contaminados via ingestão
413 (Brugger et al. 2010).

414 Por conseguinte, elevadas temperaturas também podem causar disfunções fisiológicas
415 nas vias metabólicas que afetam o sistema endócrino (King & MacRae, 2015), induzindo
416 alterações no desenvolvimento e reprodução dos insetos (Neven, 2000). Além disso, a
417 contaminação de fêmeas de parasitoides de ovos da geração maternal por inseticidas pode
418 provocar efeitos negativos em seus descendentes (Desneux, 2007). Logo, o estresse causado
419 pelos inseticidas aliado a temperaturas elevadas pode ocasionar em interações significativas
420 sobre os efeitos subletais em inimigos naturais, corroborando com nossos resultados.

421 Além disso, estudos com *T. podisi* têm relatado efeitos negativos sobre a emergência a
422 partir de estádios imaturos contaminados com agrotóxicos (Pazini et al. 2017). Dentre as fases
423 imaturas dos parasitoides, a pupal demonstra-se como a mais sensível a pesticidas, visto que o
424 parasitoide é contaminado ao danificar a estrutura do ovo para emergir (Rakes et al. 2020).
425 Baseado em nossos resultados, efeitos sinérgicos na emergência de *T. podisi* quando
426 contaminados na fase de pupa pelos inseticidas espinosade, metoxifenoazide+espinetoram e
427 acefato podem ser observados, visto que esses pesticidas se classificaram como levemente
428 nocivos a partir de 25 °C. Contudo, quando comparado a fase adulta os efeitos da interação
429 sobre a fase de pupa foram menores, provavelmente em virtude de o desenvolvimento ocorrer
430 de maneira protegida pelo córion do ovo do hospedeiro (Pazini et al. 2017). Aliado a isso, ao
431 utilizar o controle biológico inundativo, com produtos comerciais a base de *T. podisi*, a
432 liberação destes no campo ocorrem na fase de pupa (Bueno et al. 2020), portanto estudos futuros
433 de efeitos combinados sobre essa fase devem ser priorizados.

434 Por fim, nossos resultados aliados à revisão de literatura indicam que, a fim de integrar
435 de forma eficiente o controle biológico e químico em um programa de MIP, estudos
436 toxicológicos futuros de pesticidas sobre a entomofauna benéfica devem considerar a interação
437 com estressores naturais, principalmente a temperatura. Visto que, devido as mudanças
438 climáticas e ao cultivo agrícola em diferentes condições ambientais, principalmente em cultivos
439 globais, podem acarretar em interações que elevam a toxicidade de alguns compostos sobre
440 inimigos naturais, conforme verificado em nosso estudo.

441

442

443

444

445

446 **Referências**

447

448 Abbes K, Biondi A, Kurtulus A, Ricupero M, Russo A, Siscaro G, Chermiti B, Zappalà, L,
449 2015. Combined non-target effects of insecticide and high temperature on the parasitoid *Bracon*
450 *nigricans*. PloS ONE, 10, e0138411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138411>

451

452 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) Agrofit.
453 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acessado em 03
454 janeiro2021.

455

456 Biondi A, Mommaerts V, Smaghe G, Vinuela E, Zappala L, Desneux N, 2012. The non-target
457 impact of spinosyns on beneficial arthropods. Pest Manag. Sci, 68, 1523-1536.
458 <https://doi.org/10.1002/ps.3396>

459

460 Brugger KE, Cole PG, Newman IC, Parker N, Scholz B, Suvagia P, Walker G, Hammond TG,
461 2010. Selectivity of chlorantraniliprole to parasitoid wasps. Pest Manag. Sci., 66, 1075-1081.
462 <https://doi.org/10.1002/ps.19773>

463

464 Bueno AdF, Braz ÉC, Favetti BM, França-Neto JdB, Silva GV, 2020. Release of the egg
465 parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in
466 soybean production. Crop Protec., 137, 105310. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105310>

467

468 Candolfi MP, Blümel S. Forster R, Bakker FM, Grimm C, Hassan SA, Heimbach U, Mead-
469 Briggs MA, Reber B, Schmuck R, Vogt H, 2000. Guidelines to evaluate side-effects of plant
470 protection products to non-target arthropods. International Organization for Biological and

- 471 Integrated Control of Noxious Animals and Weeds, West Palearctic Regional Section
472 (IOBC/WPRS), Gent.
473
- 474 Carvalho GA, Grützmacher AD, Passos LC, Oliveira RL, 2019. Physiological and
475 ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects. In: Souza B, Vázquez L,
476 Marucci R (Eds.) Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems. Springer,
477 Cham, pp 469-478.
478
- 479 Casida JE, Durkin KA, 2013. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and
480 secondary effects. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 99-117. [https://doi.org/10.1146/annurev-ento-](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645)
481 [120811-153645](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645)
482
- 483 Chapman RF, Simpson SJ, Douglas A. The insects structure and function, 2013. Fifth edition.
484 Cambridge University Press, New York USA.
485
- 486 CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos,
487 v.8 - safra 2020/21, 4º levantamento, janeiro 2021. Brasília: Conab. Disponível em:
488 <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 26 jan. 2021.
489
- 490 Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial
491 arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 81-106.
492 <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
493
- 494 FAO, 2021. FAOSTAT [www document]. URL [www.fao.org/faostat/en/#data/ QC/visualize](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize)
495

- 496 Farias PM, Klein JT, Sant'Ana J, Redaelli LR, Grazia J, 2012. First records of *Glypheapomis*
497 *adroguensis* (Hemiptera, Pentatomidae) and its parasitoid, *Telenomus podisi* (Hymenoptera,
498 Platygasteridae), on irrigated rice fields in Rio Grande do Sul, Brazil. Rev Bras Entomol 56, 383-
499 384.
- 500
- 501 Fischer BB, Pomati F, Eggen RI, 2013. The toxicity of chemical pollutants in dynamic natural
502 systems: The challenge of integrating environmental factors and biological complexity. Sci
503 Total Environ 449, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.066>
- 504
- 505 Gergs A, Zenker A, Grimm V, Preuss TG, 2013. Chemical and natural stressors combined:
506 From cryptic effects to population extinction. Sci Rep 3, 2036.
507 <https://doi.org/10.1038/srep02036>
- 508
- 509 Godoy KB, Ávila CJ, 2000. Parasitismo natural em ovos de dois percevejos da soja, na região
510 de Dourados, MS. Rev Agric 75, 271-279.
- 511
- 512 Godoy KB, Galli JC, Ávila CJ, 2005. Parasitismo em ovos de percevejos da soja *Euschistus*
513 *heros* (Fabricius) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) em São
514 Gabriel do Oeste, MS. Cienc Rural 35, 455-458.
- 515
- 516 Hance T, Van Baaren J, Vernon P, Boivin G, 2007. Impact of extreme temperatures on
517 parasitoids in a climate change perspective. Annu Rev Entomol 52, 107-126.
518 <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091333>
- 519

- 520 Hannig GT, Ziegler M, Marçon PG, 2009. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a
521 new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct
522 chemical classes and mode-of-action groups. *Pest Manag. Sci.*, 65, 969-974.
523 <https://doi.org/10.1002/ps.1781>
524
- 525 Harwood AD, You J, Lydy MJ, 2009. Temperature as a toxicity identification evaluation tool
526 for pyrethroid insecticides: toxicokinetic confirmation. *Environ. Toxicol. Chem.* 28, 1051-
527 1058. <https://doi.org/10.1897/08-291.1>
528
- 529 Hassan SA, Halsall N, Gray AP, Kuehner C, Moll M, Bakker FM, Roembke J, Yousef A, Nasr
530 F, Abdelgader H, (2000) A laboratory method to evaluate the side effects of plant protection
531 products on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). In: Candolfi MP,
532 Blümel S, Forster R, Bakker FM, Grimm C, Hassan SA, Heimbach U, Mead-Briggs MA, Reber
533 B, Schmuck R, Vogt H (Eds.). Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products
534 to non-target arthropods. Gent: IOBC/WPRS. pp 107-119.
535
- 536 Holmstrup M, Bindsbol AM, Oostingh GJ, Duschl A, Scheil V, Kohler HR, Loureiro S, Soares
537 AMVM, Ferreira ALG, Kienle C, Gerhardt A, Laskowski R, Kramarz PE, Bayley M, Svedsen
538 C, Spurgeon DJ, 2010. Interactions between effects of environmental chemicals and natural
539 stressors: A review. *Sci Total Environ* 408, 3746-3762,
540 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.067>
541
- 542 Karl TR, Trenberth KE, 2003. Modern global climate change. *Sci*, 302, 1719-1723.
543 <https://doi.org/10.1126/science.1090228>
544

- 545 King AM, MacRae TH, 2015. Insect heat shock proteins during stress and diapause. Annu. Rev.
546 Entomol., 60, 59-75. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162107>
547
- 548 Kirst HA, 2010. The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products
549 research. J. Antibiot., 63, 101–111. <https://doi.org/10.1038/ja.2010.5>
550
- 551 Koppel AL, Herbert Jr DA, Kuhar TP, Malone S, Arrington M, 2011. Efficacy of selected
552 insecticides against eggs of *Euschistus servus* and *Acrosternum hilare* (Hemiptera:
553 Pentatomidae) and the egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Scelionidae). J Econ
554 Entomol, 104, 137-142. <https://doi.org/10.1603/EC10222>
555
- 556 Mansoor MM, Afzal M, Raza ABM, Akram Z, Waqar A, Afzal MBS, 2015. Post-exposure
557 temperature influence on the toxicity of conventional and new chemistry insecticides to green
558 lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). Saudi J. Biol. Sci., 22,
559 317-321. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.10.008>
560
- 561 Medeiros MA, Schimidt FVG, Loíacono MS, Carvalho VF, Borges M, 1997. Parasitismo e
562 predação em ovos de *Euschistus heros* (Fab.) (Heteroptera: Pentatomidae) no Distrito Federal,
563 Brasil. An. Soc. Entomol. Brasil, 26, 397-401.
564
- 565 Neven LG, 2000. Physiological responses of insects to heat. Postharvest Biol. Tec., 21, 103-
566 111. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00169-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00169-1)
567
- 568 Newman MC, 2014. Fundamentals of ecotoxicology. CRC press. 59p.
569

- 570 Oliveira CM, Auad AM, Mendes SM, Frizzas MR, 2014. Crop losses and the economic impact
571 of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protec.*, 56, 50-54.
572 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>
573
- 574 Pacheco DJP, Corrêa-Ferreira BS, 2000. Parasitismo de *Telenomus podisi* Ashmead
575 (Hymenoptera: Platygastridae) em populações de percevejos pragas da soja. *An Soc Entomol*
576 *Bras* 29, 295-302.
577
- 578 Panizzi AR, 2013. History and contemporary perspectives of the Integrated Pest Management
579 of soybean in Brazil. *Neotrop Entomol* 42, 119-127. [https://doi.org/10.1007/s13744-013-0111-](https://doi.org/10.1007/s13744-013-0111-y)
580 [y](https://doi.org/10.1007/s13744-013-0111-y)
581
- 582 Parra JRP, 2019. Controle biológico na agricultura brasileira. *Entomol. Commun*, 1, ec01002.
583 <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec0100>
584
- 585 Pazini JB, Pasini RA, Seidel EJ, Rakes M, Martins JFS, Grützmacher AD, 2017. Side-effects
586 of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera:
587 Platygastridae). *Ecotoxicology*, 26, 782-791. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1809-0>
588
- 589 Pazini JB, Padilha AC, Cagliari D, Bueno FA, Rakes M, Zotti MJ, Martins JFS, Grützmacher
590 AD, 2019. Differential impacts of pesticides on *Euschistus heros* (Hem.: Pentatomidae) and its
591 parasitoid *Telenomus podisi* (Hym.: Platygastridae). *Sci. Rep.*, 9, 6544.
592 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42975-4>
593

- 594 Peres WAA, Corrêa-Ferreira BS, 2004. Methodology of mass multiplication of *Telenomus*
595 *podisi* Ash. and *Trissolcus basal* (Woll.) (Hymenoptera: Platygasteridae) on eggs of *Euschistus*
596 *heros* (Fab.) (Hemiptera: Pentatomidae). Neotrop. Entomol., 33, 457-462.
597 <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000400010>
598
- 599 Pozebon H, Marques RP, Padilha G, O' Neal M, Valmorbidia I, Bevilaqua JG, Tay WT,
600 Arnemann JA, 2020. Arthropod invasions versus soybean production in Brazil: A review. J
601 Econ Entomol 113, 1591-1608. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa108>
602
- 603 Raghavendra K, Barik TK, Sharma P, Bhatt RM, Srivastava HC, Sreehari U, Dash AP, 2011.
604 Chlorfenapyr: a new insecticide with novel mode of action can control pyrethroid resistant
605 malaria vectors. Malar. J., 10, 1-7. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-16>
606
- 607 Rakes M, Pasini RA, Morais MC, Araújo MB, Pazini JB, Seidel EJ, Bernardi D, Grützmacher
608 AD, 2020. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year
609 database and its implications for Integrated Pest Management. Ecotox. Environ. Safe., 208,
610 111504, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111504>.
611
- 612 R Development Core Team, 2020. R: a language and environment for statistical computing. R
613 Foundation for Statistical Computing, Vienna. Online: <http://www.r-project.org/>
614
- 615 Ricupero M, Abbes K, Haddi K, Kurtulus A, Desneux N, Russo A, Siscaro G, Biondi A,
616 Zappalà L, 2020. Combined thermal and insecticidal stresses on the generalist predator
617 *Macrolophus pygmaeus*. Sci Total Environ, 729, 138922.
618 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138922>

619

620 Saeed N, Tonina L, Battisti A, Mori N, 2018. Temperature alters the response to insecticides in
621 *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). J Econ Entomol 111, 1306-1312.
622 <https://doi.org/10.1093/jee/toy080>

623

624 Schiedek D, Sundelin B, Readman JW, Macdonald RW, 2007. Interactions between climate
625 change and contaminants. Mar Pollut Bull 54, 1845-1856.
626 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.09.020>

627

628 Silva CC, Laumann RA, Blassioli MC, Pareja M, Borges M, 2008. *Euschistus heros* mass
629 rearing technique for the multiplication of *Telenomus podisi*. Pesq. Agropec. Bras, 43, 575-580.
630 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500004>

631

632 Snodgrass GL, 1996. Glass-vial bioassay to estimate insecticide resistance in adult tarnished
633 plant bugs (Heteroptera; Miridae). J. Econ. Entomol. 89, 1053-1059.
634 <https://doi.org/10.1093/jee/89.5.1053>

635

636 Sosa-Gómez DR, Côrrea-Ferreira BS, Kraemer B, Pasini A, Husch PE, Delfino Vieira C,
637 Martinez CBR, Lopes ION, 2020. Prevalence, damage, management and insecticide resistance
638 of stink bug populations (Hemiptera: Pentatomidae) in commodity crops. Agric Forest Entomol
639 22, 99-118. <https://doi.org/10.1111/afe.12366>

640

641 Sosa-Gómez DR, Côrrea-Ferreira BS, Hoffmann-Campo CB, Corso IC, Oliveira LJ, Moscardi
642 F, Panizzi AR, Bueno AF, Hirose E, Roggia S, 2014. Manual de identificação de insetos e

643 outros invertebrados da cultura da soja. 3. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 100p. (Embrapa
644 Soja. Documentos, 269).

645

646 Sparks TC, Nauen R, 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance
647 management. *Pestc. Biochen. Physiol.* 121: 122-128.

648 <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>

649

650 Stecca CS, Bueno AdF, Pasini A, Silva DM, Andrade K, Zirondi Filho DM, 2018. Impact of
651 insecticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera:
652 Platygastriidae). *Neotrop. Entomol.* 47, 281-291. [https://doi.org/10.1007/s13744-017-0552-](https://doi.org/10.1007/s13744-017-0552-9)

653 [9](https://doi.org/10.1007/s13744-017-0552-9)

654

655 Terblanche JS, 2013. Thermal relations. In: Chapman RF, Simpson SJ, Douglas A (Eds.) *The*
656 *insects structure and function*. Fifth edition. Cambridge University Press, New York USA, pp
657 588-621.

658

659 Torres JB, Bueno AdF, 2018. Conservation biological control using selective insecticides – A
660 valuable tool for IPM. *Biol. Control.* 126, 53-64.

661 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>

662

663 Yu YL, Huang LJ, Wang LP, Wu JC, 2012. The combined effects of temperature and
664 insecticide on the fecundity of adult males and adult females of the brown planthopper
665 *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Prot.* 34, 59-64.

666 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.026>

667

- 668 Zantedeschi R, Grützmacher AD, Pazini JB, Bueno FA, Machado LL, 2018a. Selectivity of
669 pesticides registered for soybean crop on *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalis*. *Pesqui*
670 *Agropecu Trop*, 48, 52-58. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4850348>
671
- 672 Zantedeschi R, Rakes M, Pasini RA, Araújo MB, Bueno FA, Grützmacher AD, 2018b. Toxicity
673 of soybean-registered agrochemicals to *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalis* immature
674 stages. *Phytoparasitica*, 46, 203-212. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0660-z>

675 **Tabela 1.** Inseticidas registrados para cultura da soja, testados quanto aos seus efeitos letais e
 676 subletais sobre *Telenomus podisi* em diferentes temperaturas.

Ingrediente ativo	Grupo químico (IRAC MoA)	Nome comercial	D.C
thiametoxam + lambda-cyhalothrin	Neonicotinoides (4A) + Piretroides (3A)	Engeo Pleno	250
spinosad	Espinosinas (5)	Tracer	60
methoxyfenozide + spinetoram	Diacilhidrazinas (18) + Espinosinas (5)	Intrepid Edge	200
chlorfenapyr	Pirroles (13)	Pirate	1200
chlorantraniliprole	Diamidas (28)	Premio	150
acephate	Organofosforados (1B)	Orthene	1000

677 ¹D.C. = Dosagem da formulação comercial (g ou mL. ha⁻¹);

678 **Tabela 2.** Tempo letal (TL₁₀ e TL₅₀) de diferentes inseticidas registrados para a cultura da
 679 soja para indivíduos adultos de *Telenomus podisi*, sob diferentes temperaturas.

Inseticidas	Inclinação ± SE	TL ₁₀ (95%) ^a	TL ₅₀ (95%) ^a	χ ² b (d.f.) ^c
15 °C				
thiametoxam + lambda-cyhalothrin	3.98 ± 0.23	0.1 (0.08 – 0.15)	0.64 (0.61 – 0.69)	9.78 (4)
spinosad	3.76 ± 0.45	2.1 (1.9 – 2.2)	4.8 (4.5 – 5.1)	7.11 (8)
methoxyfenozide + spinetoram	3.10 ± 0.19	2.3 (2.0 – 2.5)	11.2 (10.3 – 11.8)	4.2 (7)
chlorfenapyr	-	-	-	-
chlorantraniliprole	-	-	-	-
acephate	3.44 ± 0.17	2.1 (1.8 – 2.4)	5.3 (4.8 – 5.7)	4.12 (8)
25 °C				
thiametoxam + lambda-cyhalothrin	-	-	-	-
spinosad	3.05 ± 0.21	1.1 (0.9 – 1.3)	1.9 (1.7 – 2.2)	9.4 (6)
methoxyfenozide + spinetoram	2.45 ± 0.33	6.7 (6.4 – 6.9)	-	8.1 (6)
chlorfenapyr	2.98 ± 0.40	5.4 (4.9 – 5.7)	24.6 (21.3 – 27.8)	6.7 (5)
chlorantraniliprole	-	-	-	-
acephate	3.54 ± 0.12	0.8 (0.6 – 1.0)	1.2 (1.0 – 1.4)	5.7 (6)
30 °C				
thiametoxam + lambda-cyhalothrin	-	-	-	-
spinosad	4.01 ± 0.24	1.2 (1.1 – 1.4)	1.9 (1.4 – 2.2)	4.3 (8)
methoxyfenozide + spinetoram	2.43 ± 0.10	6.2 (5.9 – 6.5)	-	6.8 (7)
chlorfenapyr	3.14 ± 0.10	4.3 (3.9 – 4.9)	26.5 (24.2 – 28.6)	8.1 (9)
chlorantraniliprole	-	-	-	-
acephate	3.71 ± 0.29	0.5 (0.4 – 0.9)	1.3 (1.1 – 1.4)	7.8 (5)

680 ^aTL₁₀ e TL₅₀: tempos letais necessários para matar 10 ou 50% dos adultos, respectivamente. Significância das
 681 diferenças entre inclinações determinadas pelo teste da razão de verossimilhança de igualdade seguido por
 682 comparações de pares usando limites fiduciais não sobrepostos. ^bqui-quadrado, ^cgraus de liberdade.

683 **Tabela 3.** Efeitos subletais sobre o parasitismo (geração F₀), quando insetos adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados
 684 para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.

Treatment	Temperaturas								
	15 °C			25 °C			30 °C		
	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	Classe IOBC ¹	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	Classe IOBC ¹	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	Classe IOBC ¹
methoxyfenozide + spinetoram	6,90±0,97 b	53,22	2	9,10±1,08 b	45,67	2	9,05±0,62 c	46,29	2
chlorfenapyr	12,55±1,01 a	1,35	1	12,45±1,21 ab	25,67	1	10,55±1,36 bc	37,38	2
chlorantraniliprole	14,75±0,82 a	0,00	1	14,95±1,41 a	10,75	1	14,85±0,94 ab	11,87	1
Controle	14,75±0,82 a	-	-	16,75±1,12 a	-	-	16,85±1,09 a	-	-
F ou kw	13,693			19,246			26,399		
df	3, 76			3, 76			3, 76		
p-valor	< 0.0000001			= 0.0002432			< 0.0000001		

685 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F post-hoc (Tukey) ou pelo teste post-hoc Kruskal-Wallis (Dunn com correção
 686 de Bonferroni). * Número médio de ovos parasitados (P) em cada tratamento. #Porcentagem de redução de parasitismo (PR) em comparação ao controle; ¹Classes IOBC: 1-
 687 inócuo (PR<30%), 2- levemente nocivo (30%≤PR≤79%), 3- moderadamente nocivo (80%≤PR≤99%), 4- nocivo (PR>99%).
 688

689 **Tabela 4.** Efeitos subletais sobre a emergência (geração F₁), quando insetos adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados
 690 para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.

Tratamentos	Temperaturas								
	15 °C			25 °C			30 °C		
	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	IOBC class ¹	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	IOBC class ¹	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	IOBC class ¹
methoxyfenozide + spinetoram	4,70±0,95 b	53,92	2	7,10±1,03 b	43,20	2	6,40±0,44 b	44,10	2
chlorfenapyr	9,05±0,90 a	11,27	1	8,90±0,96 ab	28,80	1	7,60±1,09 ab	33,62	2
chlorantraniliprole	9,05±0,76 a	11,27	1	11,40±1,20 a	8,80	1	10,30±0,96 a	10,04	1
Controle	10,20±1,00 a	-	-	12,50±1,05 a	-	-	11,45±1,03 a	-	-
F ou kw	7,1154			14,701			15,509		
df	3, 76			3, 76			3, 76		
p-valor	= 0.00028218			= 0.002091			= 0.001429		

691 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F post-hoc (Tukey) ou pelo teste post-hoc Kruskal-Wallis (Dunn com correção
 692 de Bonferroni). * Número médio de parasitóides emergidos (E) em cada tratamento. #Porcentagem de redução de emergência (ER) em comparação ao controle. ¹ Classes IOBC:
 693 1- inócuo ($ER < 30\%$), 2- levemente nocivo ($30\% \leq ER \leq 79\%$), 3- moderadamente nocivo ($80\% \leq ER \leq 99\%$), 4- nocivo ($ER > 99\%$).

694 **Tabela 5.** Efeitos subletais sobre a proporção de machos e fêmeas (geração F₁), quando insetos
 695 adultos de *Telenomus podisi* foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em
 696 diferentes temperaturas.

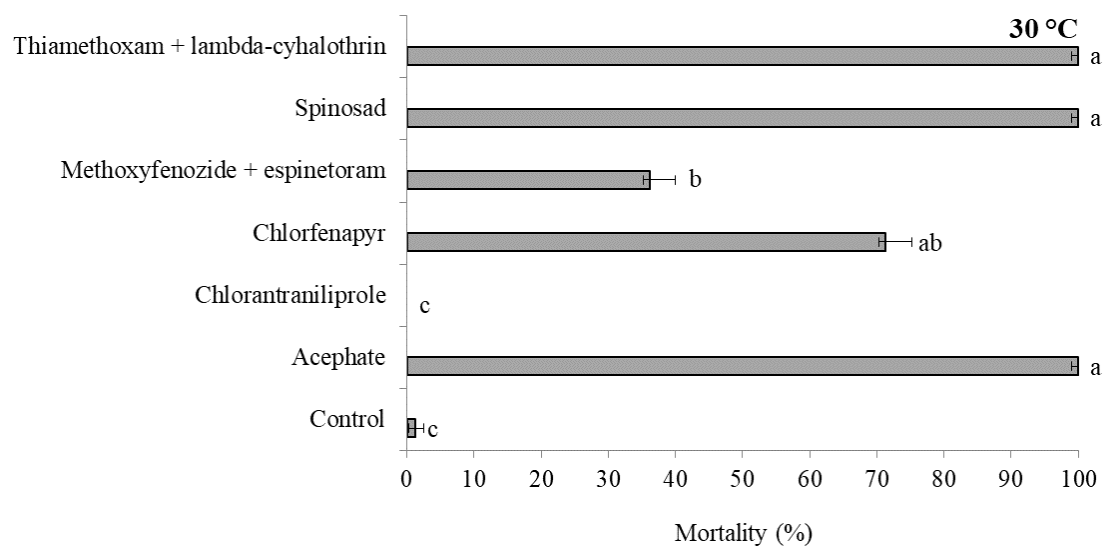
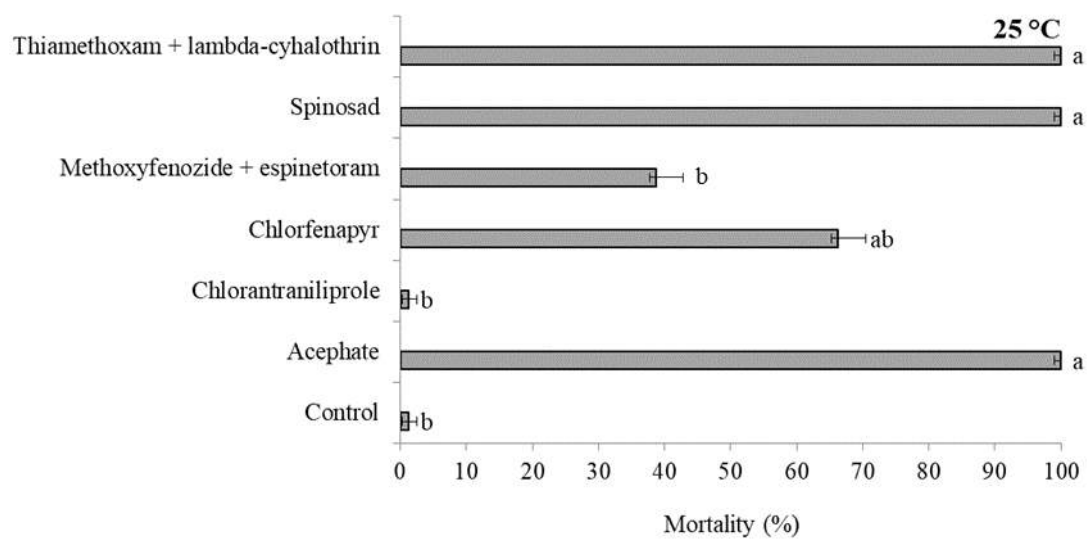
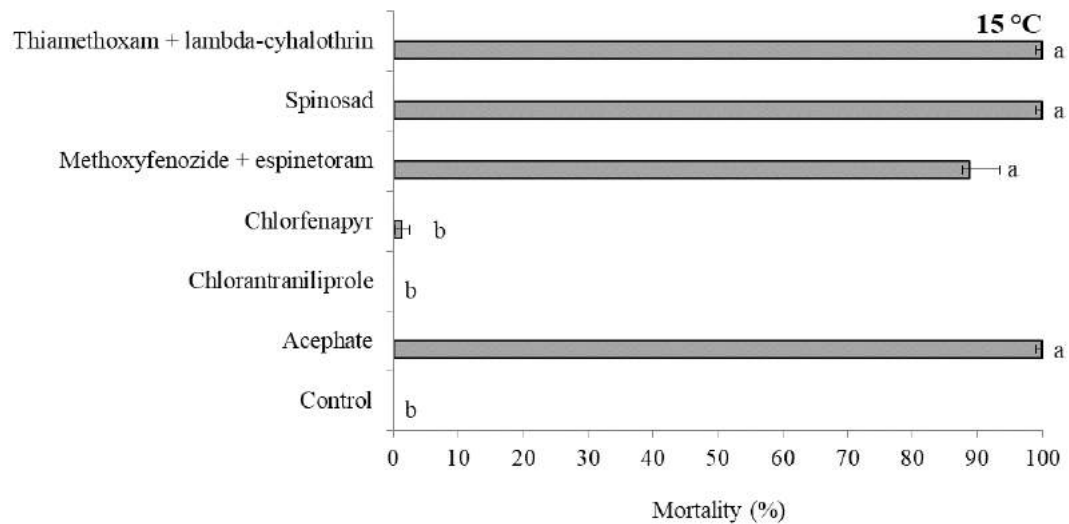
Tratamentos	Temperaturas		
	15 °C	25 °C	30 °C
	Razão sexual ($\bar{x} \pm SE$)		
methoxyfenozide + spinetoram	0,89±0,03 ^{ns}	0,85±0,02 ^{ns}	0,81±0,02 ^{ns}
chlorfenapyr	0,88±0,02	0,87±0,02	0,76±0,06
chlorantraniliprole	0,88±0,01	0,87±0,02	0,80±0,06
Controle	0,87±0,02	0,85±0,01	0,86±0,02
kw	0,96058	2,1764	5,7442
df	3, 76	3, 76	3, 76
p-valor	0.8108	0.5366	0.1247

697 ^{ns} não significativo pelo teste de Kruskal-Wallis ($p>0.05$).

698 **Tabela 6.** Efeitos sobre a emergência quando pupas de *Telenomus podisi* foram expostas à inseticidas registrados para a cultura da soja, em
 699 diferentes temperaturas.

Tratamentos	Temperaturas								
	15 °C			25 °C			30 °C		
	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	Classes IOBC ¹	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	Classes IOBC ¹	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	Classes IOBC ¹
thiametoxam + lambda-cyhalothrin	2,00±0,89c	93,15	3	3,00±0,70d	90,38	3	1,00±0,44e	96,42	3
spinosad	22,60±2,54ab	22,60	1	26,00±1,22b	16,67	1	9,60±0,92d	65,71	2
methoxyfenozide + spinetoram	20,80±0,96b	28,77	1	22,20±1,01bc	28,85	1	14,80±2,33cd	47,14	2
chlorfenapyr	22,80±2,22ab	21,92	1	24,60±1,12bc	21,15	1	22,20±1,06b	20,71	1
chlorantraniliprole	20,80±1,24b	28,77	1	24,00±0,89bc	23,08	1	20,00±1,09bc	28,57	1
acephate	22,00±1,14ab	24,66	1	20,20±1,24c	35,26	2	11,20±1,20d	60,00	2
Control	29,20±2,47a	-	-	31,20±1,11a	-	-	28,00±0,70a	-	-
F or kw	22,601			70,261			30,675		
df	6, 28			6, 28			6, 28		
p-valor	< 0,0000001			< 0,0000001			< 0,0000001		

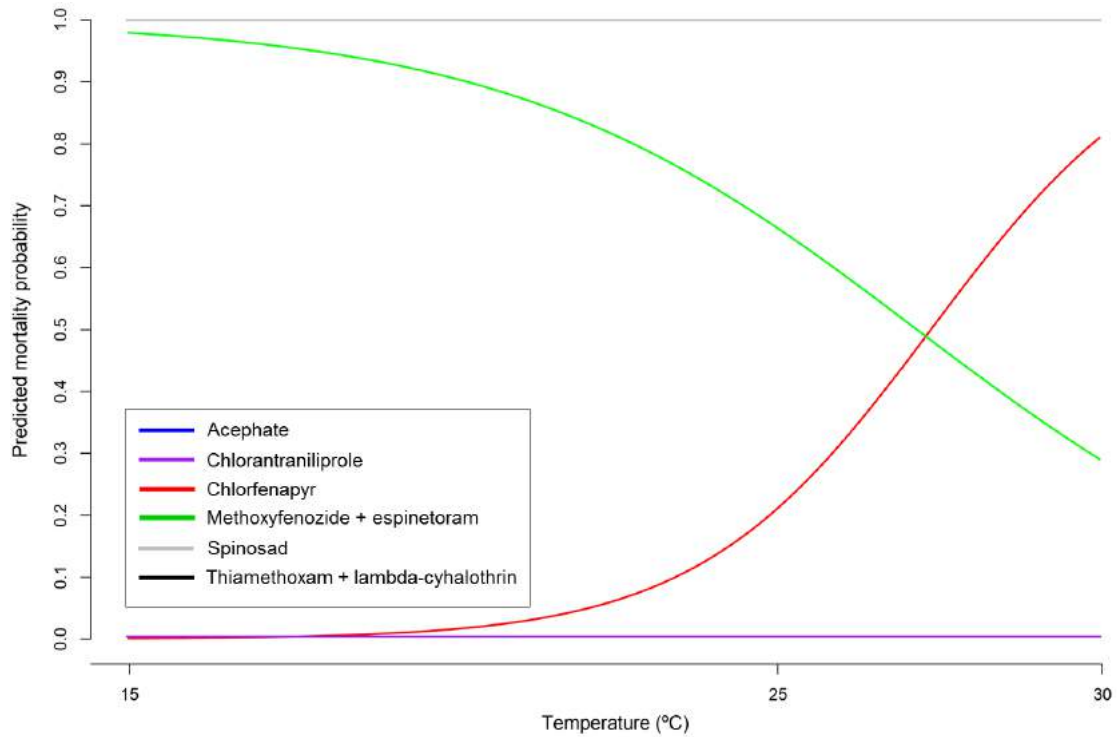
700 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F post-hoc (Tukey) ou pelo teste post-hoc Kruskal-Wallis (Dunn com correção
 701 de Bonferroni). * Número médio de parasitoides emergidos (E) em cada tratamento. #Porcentagem de redução de emergência (ER) em comparação ao controle. ¹ Classes IOBC:
 702 1- inócuo ($ER < 30\%$), 2- levemente nocivo ($30\% \leq ER \leq 79\%$), 3- moderadamente nocivo ($80\% \leq ER \leq 99\%$), 4- nocivo ($ER > 99\%$).



705

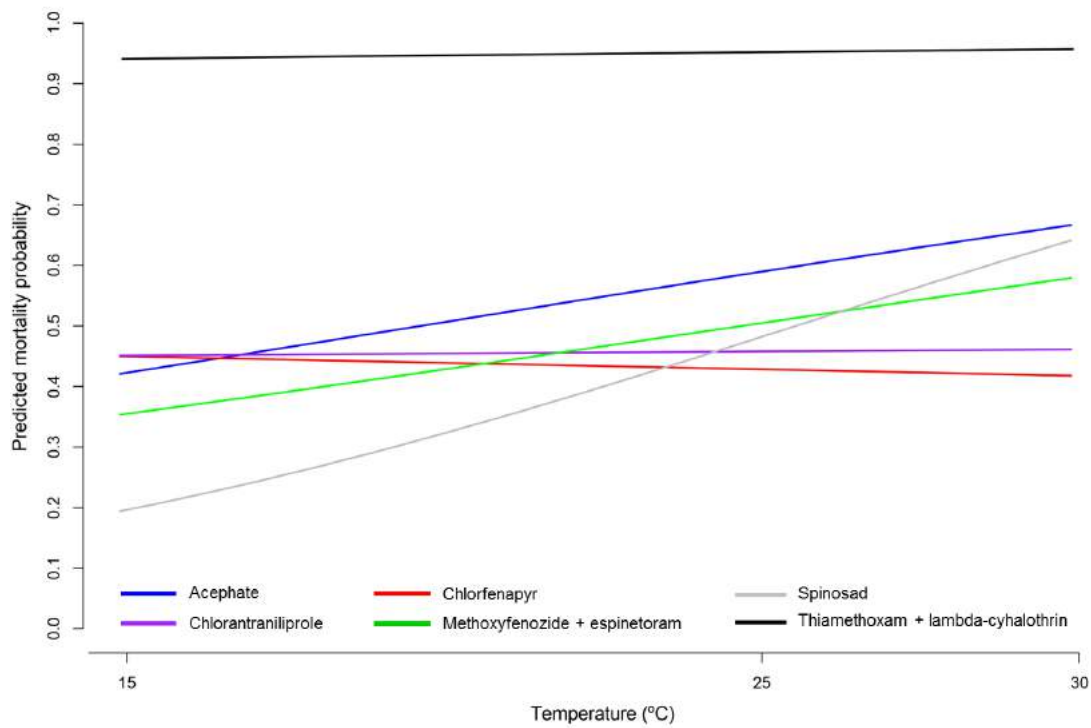
706 **Figura 1.** Mortalidade de adultos de *Telenomus podisi* quando expostos a inseticidas

707 registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.



708

709 **Figura 2.** Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase adulta de *Telenomus podisi* foi
 710 exposta a inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25 e 30
 711 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).



712

713 **Figura 3.** Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase de pupa de *Telenomus podisi*
 714 foi exposta à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25
 715 e 30 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).

3.Artigo 2

Efeitos residuais e persistência foliar de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado sobre o parasitoide de ovos *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae)

*Artigo redigido nas normas da revista "Chemosphere" (versão em Português)

1 **Efeitos residuais e persistência foliar de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado sobre**
2 **o parasitoide de ovos *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae)**

3
4
5 Matheus Rakes^{1*}, Rafael Antonio Pasini², Máira Chagas Morais¹, Renato Zanella³, Osmar
6 Damian Prestes³, Daniel Bernardi¹, Anderson Dionei Grützmacher¹.

7
8 ¹Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, Rio Grande
9 do Sul, Brasil.

10 ²Centro de Educação Rigorandense (CESURG), Sarandi, Rio Grande do Sul, Brasil.

11 ³Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio
12 Grande do Sul, Brasil.

13
14 ***Autor correspondente:***

15 Matheus Rakes,

16 Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), 96010-900, Pelotas,
17 Rio Grande do Sul, Brasil.

18 e-mail: matheusrakes@hotmail.com

19 Fone:+55 54 99924-9838

20
21 ***ORCID:***

22 Matheus Rakes: <https://orcid.org/0000-0003-1876-5717>

23 Rafael Antonio Pasini: <https://orcid.org/0000-0003-1223-9302>

24 Máira Chagas Morais: <https://orcid.org/0000-0001-9966-2431>

25 Renato Zanella: <http://orcid.org/0000-0002-5971-1785>

26 Osmar Damian Prestes: <https://orcid.org/0000-0002-6012-7172>

27 Daniel Bernardi: <https://orcid.org/0000-0003-4495-2575>

28 Anderson Dionei Grützmacher: <http://orcid.org/0000-0002-5464-9337>

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42 **Resumo**

43 Objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos letais e subletais de azoxystrobin, cyhalofop-butyl
44 e thiametoxam após pulverização em plantas de arroz, em casa de vegetação, sobre o parasitoide
45 de ovos *Telenomus podisi*, bem como a cinética de degradação desses compostos ao longo do
46 tempo. Para isso, os agrotóxicos foram pulverizados em 50 e 100% da concentração máxima
47 registrada para a cultura (MFRC). Aos 0, 5, 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos
48 (DAAT), *T. podisi* foi exposto a folhas contendo resíduos secos dos pesticidas. Nestas mesmas
49 datas, folhas de arroz de cada tratamento foram coletadas e armazenadas para posterior
50 determinação dos resíduos dos pesticidas empregando UHPLC–MS/MS. Com base nos
51 resultados de mortalidade, parasitismo, emergência e razão sexual de *T. podisi*, os efeitos foram
52 agrupados através de um coeficiente de redução (E_x) e classificados de acordo com a escala da
53 International Organization for Biological and Integrated Control (IOBC). O fungicida
54 azoxystrobin (na 50 e 100% MFRC) foi o único classificado como inócuo (Classe 1) em todas
55 as datas de avaliação, para *T. podisi*. O herbicida cyhalofop-butyl, foi classificado como
56 levemente nocivo (Classe 2) à *T. podisi* até os 5 DAAT. Já o inseticida thiametoxam (na 50 e
57 100% MFRC), até os 5 DAAT foi classificado como nocivo (Classe 4) sobre *T. podisi*, enquanto
58 aos 10 DAAT, sua dose máxima foi enquadrada na classe 2. Quanto aos resíduos, as
59 concentrações iniciais (0 DAAT) de azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam na 100%
60 MFRC em folhas de arroz foram de 102,14, 210,09 e 36,93 mg kg⁻¹, respectivamente. Em 50%
61 MFRC, os resíduos iniciais estavam a aproximadamente metade dos extraídos na 100% MFRC.
62 Os tempos de meia-vida estimados (DT_{50}) foram de aproximadamente 17, 4 e 5 dias para
63 azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam, respectivamente. Ainda, ao correlacionar os
64 valores de E_x e os resíduos extraídos, verificou-se uma correlação positiva entre estes fatores.
65 Por fim, esses resultados são informações úteis para o sucesso do Manejo Integrado de Pragas
66 (MIP), uma vez que tal conhecimento possibilita a integração do controle químico ao biológico.

67

68 **Palavras-chave:** Controle químico; Meia-vida de degradação; Controle Biológico; Inimigo
69 natural; *Oryza sativa*;

70

71 **1.Introdução**

72 Os parasitoides de ovos da família Platygasteridae estão entre os mais importantes
73 agentes de controle biológico de pentatomídeos-praga em diferentes cultivos (Godoy et al 2005,
74 Farias et al 2012, Idalgo et al 2013). Dentre estes, *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera:
75 Platygasteridae) ganha destaque no Brasil, por ser encontrado do Centro-Oeste (Medeiros et al.
76 1997) ao extremo Sul (Farias et al. 2012). Assim como, devido a elevada eficiência de
77 parasitismo, possui potencial de liberação em 36 milhões de hectares (Parra, 2019). O uso de
78 *T. podisi* por meio de liberações inundativas (Sørensen et al. 2012; Parra, 2019) ou pela
79 conservação dos seus serviços ecológicos (Torres & Bueno, 2018) se mostra uma alternativa
80 extremamente importante para o sucesso do Manejo Integrado de Pragas (MIP) de diversos
81 cultivos agrícolas (Turchen et al. 2015; Stecca et al. 2018; Zantedeschi et al. 2018), como é o
82 caso da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) (Pazini et al. 2016; Pazini et al. 2017a).

83 A orizicultura é de grande importância econômica para o Brasil, visto que, fora o
84 continente asiático, o país é o maior polo de produção (FAOSTAT, 2020), predominantemente
85 com a utilização do sistema de cultivo irrigado por inundação, que abrange aproximadamente
86 1,6 milhão de hectares (CONAB, 2020). No entanto, a produtividade potencial do arroz tem
87 sido normalmente afetada por alguns fatores bióticos ao longo do ciclo da cultura (Santos et al.
88 2006; Reunião, 2018). Dentre estes fatores, destacam-se a brusone (*Magnaphorte oryzae* B.
89 Couch) (Dean et al. 2012), o capim-arroz (*Echinochloa* spp.) (Andres et al. 2007; Olajumoke
90 et al. 2016) e os artrópodes-praga (*Oebalus* sp. e *Tibraca limbativentris* Stal, 1860) (Hemiptera:
91 Pentatomidae) (Santana et al. 2018; Weber et al. 2020) pelas elevadas perdas que causam a
92 cultura.

93 Logo, para evitar maiores perdas mediante a ação desses fatores bióticos, a utilização de
94 agrotóxicos (fungicida – azoxystrobin; herbicida - cyhalofop-butyl e inseticida –thiametoxam)
95 têm se tornado frequente em áreas de produção de arroz (Martins et al. 2009; Hirooka & Ishii,

96 2013; Marchesi & Chauhan, 2019). Entretanto, o uso generalizado desses pesticidas pode
97 ocasionar efeitos deletérios significativos sobre populações de *T. podisi* (Pazini et al. 2016;
98 Pazini et al. 2017a; Zantedeschi et al. 2018) que, geralmente, são mais suscetíveis que a praga
99 (Desneux et al. 2007; Bueno et al. 2017; Pazini et al. 2019), reduzindo assim seu desempenho
100 como agentes de controle (Carvalho et al. 2019).

101 Com base neste cenário, um dos primeiros passos para desenvolver uma estratégia de
102 MIP, buscando aliar o controle químico ao biológico (conservativo ou inundativo), é avaliar a
103 toxicidade de inseticidas, herbicidas e fungicidas sobre o parasitoide (Bueno et al. 2017; Torres
104 & Bueno, 2018; Carvalho et al. 2019). Até o momento, a maioria destes estudos focou em
105 bioensaios de efeitos letais imediatos sobre *T. podisi* em condições de laboratório, por meio de
106 diferentes métodos de exposição: contato com superfícies de vidro contaminadas (Turchen et
107 al. 2015; Pazini et al. 2016; Pazini et al. 2017a; Stecca et al. 2018; Zantedeschi et al. 2018),
108 contato com papel filtro contaminado por imersão (Bayram et al. 2010) e aplicação via torre de
109 Potter (Silva et al. 2018). Contudo, sabe-se que a toxicidade do produto se comporta de maneira
110 distinta quando avaliada em condições de laboratório (utilizando superfícies de vidro, por
111 exemplo) e em casa-de-vegetação (utilizando o contato via folhas tratadas) (Stefanello Júnior
112 et al. 2012; Pasini et al. 2017; Pazini et al. 2017b; Morales et al. 2019).

113 Além disso, os pesticidas podem induzir a diversos efeitos subletais (principalmente
114 sobre características biológicas) em indivíduos que sobrevivem à exposição a um composto
115 tóxico em baixa concentração e ainda, deixar efeitos adversos sobre a progênie (Desneux et al.
116 2007; Biondi et al. 2013; Ricupero et al. 2020). Logo, esses estudos não devem ser feitos
117 somente medindo a toxicidade imediata, mas também a permanência do agrotóxico nas folhas
118 da cultura e seus efeitos sobre os insetos ao decorrer do tempo.

119 Em contraste, pouca informação está disponível acerca dos efeitos adversos de
120 agrotóxicos utilizados no atual sistema produtivo orizícola sobre populações de *T. podisi*

121 (Pazini et al. 2016; Pazini et al. 2017a; Pazini et al. 2017b). Ainda, até o momento, nenhum
122 estudo documentou a relação entre a concentração do resíduo do pesticida ao passar do tempo
123 e os efeitos deletérios a este parasitoide. Partindo desse pressuposto, objetivou-se neste estudo
124 avaliar os possíveis efeitos letais e subletais de ingredientes ativos amplamente utilizados em
125 cultivos de arroz-irrigado (azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam) após pulverização
126 foliar, em casa de vegetação, sobre o parasitoide de ovos *T. podisi*, bem como a cinética de
127 degradação desses compostos ao longo do tempo.

128

129 **2. Material e métodos**

130

131 *2.1. Material vegetal e condições ambientais*

132 Plantas de arroz (cultivar BRS Querência) foram cultivadas em baldes plásticos
133 (capacidade 25 L), contendo solo classificado como Planossolo Háplico eutrófico típico,
134 comuns em arrozais irrigados por inundação no Sul do Brasil. Dez dias após a emergência das
135 plântulas, iniciou-se o manejo da irrigação, ao qual foi constituída por uma lâmina d'água de
136 2,5 cm de altura. Assim como, as demais práticas de manejo (ex. adubação) seguiram as
137 recomendações técnicas para o manejo da cultura no sul do Brasil (Reunião, 2018).

138 As plantas foram mantidas em casa de vegetação, com ventilação natural e cobertura de
139 plástico. A transmitância média da cobertura plástica à radiação solar global foi de 76%.
140 Durante a realização do experimento (dia 26 de fevereiro de 2020 a 17 de março de 2020),
141 períodos considerados apropriados para cultivo do arroz irrigado, as temperaturas (máxima e
142 mínima) registradas foram de 45,4 e 16,9°C, respectivamente. Enquanto a umidade relativa do
143 ar máxima foi de 87% e a mínima de 26%.

144

145 *2.2. Insetos*

146 Os insetos utilizados nos bioensaios foram provenientes de uma criação massal mantida
147 no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas da Universidade Federal de Pelotas (LabMIP /
148 UFPel, RS, Brasil), sob condições controladas de: Temperatura: $25\pm 1^\circ\text{C}$; UR: $70\pm 10\%$ e
149 fotofase: 14 h. Utilizou-se ovos do hospedeiro alternativo *Euschistus heros* (Fabricius)
150 (Hemiptera: Pentatomidae) e adultos de aproximadamente 24 h de idade do parasitoide de ovos
151 *T. podisi*, conforme adaptações de Peres e Correa-Ferreira (2004) e Silva et al. (2008).

152

153 2.3. Agrotóxicos

154 Foram avaliados três agrotóxicos (Tabela 1) registrados e amplamente utilizados no
155 cultivo de arroz irrigado no Brasil (Brasil, 2020). Cada agrotóxico foi aplicado na concentração
156 máxima registrada em bula (MFRC) para a cultura do arroz (100% MFRC) e, com metade dessa
157 concentração (50% MFRC).

158 Cada tratamento, foi constituído por nove plantas de arroz, totalizando 63 plantas,
159 cultivadas conforme descrito acima. Os agrotóxicos foram pulverizados em estágio vegetativo
160 V8, correspondente à formação do colar na oitava folha do colmo principal (Counce et al.,
161 2000), utilizando um pulverizador manual Guarany® Ultrajet 500 mL, até o ponto de
162 escorrimento nas folhas. No tratamento controle as plantas foram pulverizadas com água
163 destilada.

164 As plantas permaneceram ao ar livre para permitir a evaporação do excesso de calda.
165 Diariamente, após a aplicação dos tratamentos, realizou-se o desbaste de folhas novas, para
166 evitar que, durante a realização dos experimentos, uma folha que não houvesse recebido o
167 tratamento fosse coletada.

168

169 2.4. Bioensaios de efeito residual sobre *T. podisi*

170 Os efeitos residuais dos agrotóxicos testados foram avaliados através do contato tarsal
171 do parasitoide em folhas tratadas, seguindo a metodologia descrita por Wang et al. (2008) e
172 Soares et al. (2019), com adaptações para a espécie em estudo. Estes bioensaios foram
173 conduzidos em laboratório sob condições controladas (Temperatura: $25\pm 1^\circ\text{C}$; UR: $70\pm 10\%$;
174 Fotofase: 14: 10 [L:D] h).

175 Para tanto, folhas de arroz de cada grupo tratado foram removidas das plantas (ao acaso),
176 periodicamente aos (0 (6 h após aplicação dos tratamentos), 5, 10 e 20 dias após aplicação dos
177 tratamentos (DAAT)) e, lâminas foliares de 7,0 x 1,5 cm foram cortadas com tesoura. Duas
178 lâminas de folhas, dos respectivos tratamentos, foram inseridas em 1,5 mL de ágar a 1%,
179 dispensado no fundo de um tubo de vidro de fundo chato (8.0 x 1,5 cm), para manter a turgidez
180 da folha. Após a solidificação do ágar, cinco casais adultos de *T. podisi* (~ 24 h de idade) foram
181 liberados em cada tubo. Como fonte alimentar, uma gotícula de mel foi adicionada em cada
182 uma das lâminas foliares no tubo para garantir o contato do inseto com a superfície
183 contaminada. Para evitar que os insetos ficassem retidos nas extremidades do tubo, os mesmos
184 foram fechados na parte inferior com um papel de coloração preta e, a parte superior fechada
185 com um tecido preto do tipo voile. Para cada tratamento foram utilizadas cinco repetições,
186 sendo cada repetição composta por um tubo de vidro contendo duas lâminas foliares,
187 totalizando 25 casais de *T. podisi* por tratamento.

188 Para a determinação do efeito residual letal sobre *T. podisi*, a mortalidade dos insetos
189 foi contabilizada as 24 e 48 h após a liberação dos insetos no interior do tubo. Parasitoides
190 incapazes de se mover após serem estimulados com um pincel de ponta fina foram considerados
191 mortos. Decorridas 24 h após o contato dos insetos com os tratamentos, uma cartela
192 confeccionada com papel cartolina contendo 150 ovos frescos (~24 h) do hospedeiro *E. heros*
193 foi ofertada, em cada tubo, para parasitismo durante 24 h, conforme metodologia proposta por
194 Pazini et al. (2019). Após esse período, as cartelas foram removidas e transferidas

195 individualmente para tubos de vidro não contaminados para a determinação dos efeitos
196 residuais subletais (taxa de ovos parasitados pelas fêmeas (geração F₀), taxa de emergência e
197 razão sexual dos parasitoides (geração F₁).

198

199 *2.5. Extração e determinação dos resíduos de pesticidas*

200 *2.5.1. Amostragem foliar*

201 A amostragem foliar ocorreu periodicamente aos 0 (6 h após aplicação dos tratamentos),
202 5, 10 e 20 DAAT. Cada amostra consistiu na retirada de aproximadamente 10 g de folhas,
203 aleatoriamente nas repetições, do mesmo tratamento. As amostras coletadas foram
204 imediatamente identificadas, transportadas ao laboratório e congeladas a -18° C para posterior
205 análise.

206 *2.5.2. Reagentes e padrões*

207 Acetonitrila (MeCN), ácido fórmico, formiato de amônio, sulfato de magnésio anidro
208 (MgSO₄) and cloreto de sódio (NaCl), todos de grau analítico, foram obtidos na J. T. Baker
209 (Phillipsburg, NJ, USA). Os padrões sólidos de thiametoxam, azoxystrobin e cyhalofop-butyl
210 foram obtidos da LGC Standards (Augsburg, Germany), com a maior pureza disponível. As
211 soluções padrões estoque individuais a 1000 mg L⁻¹ e uma mistura de trabalho intermediária a
212 10 mg L⁻¹ foram preparadas em acetonitrila e armazenadas a -18 °C.

213 *2.5.3. Preparação de amostra*

214 Para a preparação da amostra, seguiu-se os procedimentos descritos por Viera et al.
215 (2017). A homogeneização das plantas foi realizada utilizando um processador de alimentos
216 modelo VariMix (Fagor, Espanha) com gelo seco, a fim de evitar a degradação dos compostos.
217 A preparação da amostra se baseou no procedimento QuEChERS (Quick, Easy, Cheap,
218 Effective, Rugged and Safe) onde 3 g de amostra foliar foram pesados em um tubo de
219 polipropileno (PP) do tipo Falcon de 50 mL (CRAL—Articles for Laboratory Ltda.). Após, foi

220 adicionado 10 mL de acetonitrila contendo 5% (v/v) de ácido fórmico e o tubo foi agitado em
221 vórtex por 1 min. Para a etapa de partição, uma mistura de 1,5 g de NaCl e 4,0 g de MgSO₄ foi
222 utilizada e o tubo foi agitado em vórtex por 1 min e centrifugado por 8 min a 2600 g. Na etapa
223 de limpeza, 2 mL do sobrenadante foi transferida para um tubo PP de 15 mL, que continha 300
224 mg de MgSO₄, 50 mg de C18 e 10 mg de graphitized carbon black (GCB). Após, o tubo foi
225 agitado em vórtex por 1 min, seguido por centrifugação a 2600 g por 8 min. Por fim, o extrato
226 foi filtrado através de um filtro de seringa de náilon de 0,2 µm e diluído cinco vezes com água
227 ultrapura antes da análise por cromatografia líquida de ultra-alta eficiência acoplada à
228 espectrometria de massas em série (UHPLC-MS/MS).

229 *2.5.4. Análise UHPLC-MS/MS*

230 Thiametoxam, azoxystrobin e cyhalofop-butyl foram quantificados pela técnica
231 UHPLC-MS/MS em um sistema Waters (Milford, MA, EUA) equipado com cromatógrafo
232 líquido de bomba binária Acquity UPLC™, espectrômetro de massas triplo quadrupolo Xevo
233 TQ™ MS/MS, amostrador automático, controlador de temperatura de coluna e software de
234 aquisição de dados MassLynx V4.1. O nitrogênio foi obtido com um gerador Peak Scientific
235 (Inchinnan, Scotland) modelo NM30L-MS e o gás argônio 6.0, usado como gás de colisão, foi
236 da White Martins (Rio de Janeiro, Brasil). Para a separação cromatográfica foi usada uma
237 coluna Acquity UPLC™ BEH C18 (50 × 2.1 mm, tamanho de partícula de 1.7 µm), mantida a
238 40 °C. O espectrômetro de massas foi operado no modo de monitoramento de reação
239 selecionada (SRM) usando a transição mais intensa para quantificação e a segunda mais intensa
240 para identificação. Os parâmetros de MS foram otimizados pela infusão de soluções de
241 pesticidas individuais diretamente no espectrômetro de massa.

242 As condições UHPLC-MS/MS foram as seguintes: tensão capilar 2 kV, temperatura de
243 dessolvatação 500 °C, vazão do nitrogênio (gás de dessolvatação) 600 L h⁻¹, vazão do spray 80
244 L h⁻¹, vazão de argônio (gás de colisão) 0,15 mL min⁻¹, temperatura da fonte 150 °C e volume

245 de injeção 10 μL , conforme proposto por Rizzetti et al. (2016) e Viera et al. (2017). O
246 instrumento foi operado utilizando uma fonte de ionização por electrospray (ESI) no modo
247 positivo. A fase móvel consistiu de (A) água e (B) metanol, ambos contendo ácido fórmico
248 0,1% (v/v) e formiato de amônio 5 mmol L^{-1} . O gradiente da fase móvel começou em 5% de B
249 e permaneceu constante até 0,25 min, aumentando linearmente para atingir 100% de B em 7,5
250 min (mantido 0,75 min), retornando a 5% de B em 8,81 min (mantido 1,19 min). A vazão foi
251 mantida constante em 0,25 mL min^{-1} e o tempo total de execução foi 10 min.

252 Para a quantificação foram elaboradas curvas analíticas a partir de soluções padrão para
253 cada princípio ativo preparadas no extrato branco da matriz.

254 Foi utilizado uma centrífuga refrigerada NT 825 (Piracicaba, Brazil), agitador vortex
255 QL-901 Microtecnica (Curitiba, Brazil), uma balança analítica modelo UX-420H from
256 Shimadzu (Kyoto, Japan) e micropipetas automáticas de capacidade variável.

257 2.5.5. Validação do método

258 Para avaliar o procedimento desenvolvido para análise de resíduos dos pesticidas em
259 folhas de arroz, o método foi validado seguindo as diretrizes de SANTE (2015), para os
260 parâmetros: seletividade, efeito de matriz, linearidade, limites de detecção (LOD e LOQ) e
261 precisão (intradiária e interdiária). A seletividade foi avaliada comparando os cromatogramas
262 obtidos por injeções dos extratos de folhas de arroz sem resíduos dos agrotóxicos. A exatidão
263 e a precisão (intradiária e interdiária) do método foram avaliadas em termos de ensaios de
264 recuperação (70-120% de recuperação) e, para a precisão, com o desvio padrão relativo (RSD
265 $\leq 20\%$). Os limites de quantificação (LOQ) do método foram estabelecidos como os níveis mais
266 baixos de fortificação que apresentaram exatidão e precisão adequadas. Os limites de detecção
267 (LOD) do método foram obtidos dividindo o valor do LOQ por 3.

268

269 2.6. Análise de dados e classificação da toxicidade

270 Os dados dos bioensaios de efeito letal e subletal sobre *T. podisi* foram, primeiramente,
 271 analisados em relação à normalidade e homogeneidade da variância, utilizando o teste de
 272 Shapiro-Wilk e o teste de Bartlett, respectivamente. Quando essas premissas não foram
 273 atendidas, realizou-se a análise de variância não paramétrica (ANOVA) de Kruskal-Wallis, e
 274 as médias comparadas pelo teste de Dunn com correção de Bonferroni, a 5% de probabilidade
 275 de erro. Para os dados em que se assumiu normalidade e homogeneidade das variâncias, foi
 276 realizada ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0, 05$). As análises
 277 estatísticas foram realizadas com o software R versão 4.0.2 (R Development Core Team, 2020).

278 Além disso, para fornecer um único resultado, incluindo o efeito letal (mortalidade) e
 279 subletal (redução de parasitismo, emergência e razão sexual), um Coeficiente de Redução (E_x)
 280 foi calculado adaptando as equações de Biondi et al. 2012 e Biondi et al. 2013.

$$281 \quad E_x = 100 \left\{ 1 - \left[\left(1 - \frac{E_{mx}}{100} \right) \left(1 - \frac{PR}{100} \right) \left(1 - \frac{ER}{100} \right) \left(1 - \frac{SR}{100} \right) \right] \right\}$$

282 Onde, E_{mx} é a mortalidade do tratamento; PR é a redução de parasitismo do tratamento em
 283 razão da testemunha; ER é a redução de emergência do tratamento em razão da testemunha; SR
 284 é a relação diferencial da razão sexual entre tratamento e testemunha.

$$285 \quad SR = 100 - \frac{SR_x \cdot 100}{SR_c}$$

286 Onde, SR_x é a razão sexual média do tratamento X e SR_c é a razão sexual média registrada no
 287 tratamento controle. Depois disso, os valores de E_x obtidos foram classificados de acordo com
 288 as quatro categorias propostas pela *International Organization for Biological and Integrated*
 289 *Control* (IOBC), sendo elas: (1) inócuo, (2) levemente nocivo, (3) moderadamente nocivo e (4)
 290 nocivo correspondendo a reduções abaixo de 30%, entre 31 e 79%, entre 80 e 99% e acima de
 291 99%, respectivamente.

292 A cinética de degradação foliar de cada concentração dos ingredientes ativos testados
 293 foi determinada plotando a concentração do resíduo em função do tempo. Para isso, utilizou-se

294 as diretrizes propostas por Boesten et al. (2006), onde, um modelo simples de primeira ordem
 295 (diminuição exponencial) (SFO) foi ajustado. O ajuste do modelo e a estimativa dos intervalos
 296 de confiança para os parâmetros do modelo foram realizados por minimização de mínimos
 297 quadrados lineares, usando a função nls do software R versão 4.0.2 (R Development Core
 298 Team, 2020). A equação utilizada foi:

$$299 \quad M = M_0 e^{-kt}$$

300 Em que, M é a quantidade total do ingrediente ativo no tempo t; M₀ é a quantidade total do
 301 ingrediente ativo presente no tempo t=0 e; k é a taxa de degradação relativa. Os tempos de meia-
 302 vida de cada concentração dos compostos foram calculados com a seguinte equação:

$$303 \quad DT_{50} = \frac{\ln(2)}{k}$$

304 A relação entre a concentração dos resíduos dos pesticidas nas folhas de arroz e os
 305 valores de E_x sobre *T. podisi* foi realizada através do coeficiente de correlação de Pearson.

306

307 **3. Resultados**

308 *3.1. Efeitos residuais sobre T. podisi*

309 No bioensaio de efeito residual avaliando a letalidade sobre adultos de *T. podisi*, o
 310 fungicida azoxystrobin, nas concentrações testadas, não causou mortalidade no parasitoide em
 311 nenhuma das datas avaliadas (Tabela 2). Embora o herbicida cyhalofop-butyl tenha causado
 312 14% de mortalidade na concentração de 3937,50 mg a.i L⁻¹ (100% MFRC) aos 0 DAAT (mas
 313 não diferiu estatisticamente da testemunha) esse efeito desapareceu com o passar do tempo
 314 (Tabela 2). Em contraste, o inseticida thiametoxam causou mortalidades entre 70 e 100% até
 315 os 5 DAAT, em ambas concentrações aplicadas, diferindo estatisticamente dos demais
 316 tratamentos (0 DAAT: H=32,3795, df= 6, 28, p<0,0001; 5 DAAT: H=33,2429, df= 6, 28,
 317 p<0,0001) (Tabela 2). Ainda, a atividade residual letal do thiametoxam reduziu
 318 subsequentemente, visto que, aos 10 DAAT apenas a concentração correspondente a 100%

319 MFRC (187,50 mg a.i L⁻¹) causou mortalidade de 10% dos insetos, diferindo significativamente
320 dos demais tratamentos (H=26,25, df= 6, 28, p<0,0001) (Tabela 2). Aos 20 DAAT não foi
321 observado mortalidade de insetos em nenhum dos tratamentos avaliados (Tabela 2).

322 A contaminação das fêmeas de *T. podisi*, da geração F₀, pelo contato com as folhas de
323 arroz contaminadas com tratamentos analisados acarretou em efeitos subletais (na redução de
324 parasitismo) significativos aos 0, 5 e 10 DAAT (0 DAAT: F=128,65, df= 6, 28, p<0,0001; 5
325 DAAT: F=117,91, df= 6, 28, p<0,0001; 10 DAAT: F=9,74, df= 6, 28, p<0,0001) (Tabela 3). O
326 fungicida a base de azoxystrobin, aos 0 DAAT, na 100% MFRC (49,8 ovos parasitados) e o
327 herbicida cyhalofop-butyl (50,2 ovos parasitados) causaram significativas reduções no
328 parasitismo, 21,69 e 21,06%, respectivamente, em relação a testemunha (Tabela 3). Ainda, os
329 efeitos sobre o parasitismo causado pelo cyhalofop-butyl persistiu até os 5 DAAT, onde o
330 número de ovos parasitados por *T. podisi* foi de 47,8 e 48,4, na 100 e 50% MFRC,
331 respectivamente, sendo significativamente inferior o número de ovos parasitados no tratamento
332 controle (60,6) (Tabela 3). Já o inseticida thiametoxam, aos 0, 5 e 10 DAAT, na 50 e 100%
333 MFRC, apresentou número de ovos parasitados significativamente inferior quando comparado
334 aos tratamentos controle das respectivas datas, demonstrando reduções de parasitismo entre 100
335 e 17,55% (Tabela 3). Em contraste, aos 20 DAAT, não foi verificada redução significativa
336 (F=1,66, df= 6, 28, p=0,9988) no número de ovos parasitados após o contato com os tratamentos
337 quando comparado ao tratamento controle (Tabela 3).

338 Em relação ao efeito sobre a progênie (geração F₁), apenas o inseticida thiametoxam aos
339 0 e 5 DAAT ocasionou efeitos significativos na redução de emergência (100% de redução)
340 quando os insetos foram expostos ao contato em ambas concentrações avaliadas (100% MFRC
341 - F= 71,96, df= 6, 28, p<0,0001 e 50% MFRC - F= 54,44, df= 6, 28, p<0,0001) (Tabela 4). Em
342 contraste, os ingredientes ativos azoxystrobin e cyhalofop-butyl em ambas as concentrações e

343 tempos de avaliações não ocasionaram efeitos significativos no número de insetos emergidos
344 quando comparados ao tratamento controle (Tabela 4).

345 Quanto aos efeitos causados na proporção de machos e fêmeas originados (geração F₁),
346 aos 0 ($\chi^2= 85,00$, $df= 4, 22$, $p= 0,2266$), 10 ($\chi^2= 0,59$, $df= 6, 28$, $p=0,7360$) e 20 DAAT ($\chi^2=$
347 $0,27$, $df= 6, 28$, $p=0,9443$), os tratamentos azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam, na
348 maioria das avaliações, não ocasionaram efeitos significativos na razão sexual dos adultos
349 emergidos. Entretanto, vale ressaltar que cyhalofop-butyl (mesmo não diferindo da testemunha
350 aos 0 DAAT) apresentou uma maior proporção de emergência de insetos machos, efeito que
351 foi agravado aos 5 DAAT, diferindo estatisticamente da testemunha nesta data ($\chi^2= 100,20$, $df=$
352 $4, 22$, $p<0,0001$) (Tabela 4).

353

354 3.2. Coeficiente de redução (E_x) e classificação da IOBC

355 Os coeficientes de redução E_x para azoxystrobin quando aplicado na concentração de 50
356 ou 100% MFRC, apresentou todos os valores de $E_x < 30\%$. De acordo com as categorias
357 propostas pela IOBC, esse fungicida foi classificado como inócuo (classe 1) sobre *T. podisi* em
358 todos os tempos avaliados (Tabela 5). Em contrapartida, o herbicida cyhalofop-butyl na máxima
359 concentração recomenda ($3937,50 \text{ mg a.i L}^{-1}$) proporcionou valores de E_x de 38,22% (0 DAAT)
360 e 33,74% (5 DAAT) sobre *T. podisi*, sendo classificado como levemente nocivo (classe 2)
361 (Tabela 5). Ainda, aos 5 DAAT, cyhalofop-butyl na 50% MFRC foi enquadrado na classe 2.
362 Esse efeito desapareceu em resíduos com 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos,
363 classificando-se como inócuo (Classe 1) (Tabela 5). No entanto, o inseticida thiametoxam
364 apresentou valores de E_x superiores a 99%, classificando-se como nocivo (classe 4) aos 0 e 5
365 DAAT, nas duas concentrações avaliadas, sobre *T. podisi* (Tabela 5). Em adição a isso, a
366 toxicidade de thiametoxam sobre o parasitoide foi classificada como levemente nociva (Classe

367 2) aos 10 DAAT na concentração equivalente a 100% MFRC ($E_x = 34,27\%$) (Tabela 5). Aos 20
368 DAAT, ambas as concentrações de thiametoxam foram inócuas (Classe 1) (Tabela 5).

369

370 3.3. *Quantificação de resíduos dos pesticidas nas folhas*

371 A validação do método constatou que o LOQ foi de $0,016 \text{ mg kg}^{-1}$ para thiametoxam e
372 azoxystrobin e de $0,083 \text{ mg kg}^{-1}$ para cyhalofop-butyl. Portanto, o LOD do método foi de $0,005$
373 mg kg^{-1} para thiametoxam e azoxystrobin, e de $0,025 \text{ mg kg}^{-1}$ para cyhalofop-butyl.

374 A concentração dos resíduos presentes nas folhas de arroz reduziu para todos os
375 agrotóxicos após a aplicação com o passar do tempo (Figura 1). O fungicida formulado a base
376 de azoxystrobin apresentou concentrações iniciais (0 DAAT) de $102,14 \text{ mg kg}^{-1}$ quando
377 aplicado a 100% MFRC ($500 \text{ mg a.i L}^{-1}$) e $52,72 \text{ mg kg}^{-1}$ a 50% MFRC ($250 \text{ mg a.i L}^{-1}$) e
378 reduziram de forma regular até $46,10$ e $22,47 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, nos resíduos de 20
379 DAAT (Figura 1A).

380 Para cyhalofop-butyl, aos 0 DAAT, as concentrações iniciais dos resíduos foram de
381 $210,09 \text{ mg kg}^{-1}$ (100% MFRC) e $113,66 \text{ mg kg}^{-1}$ (50% MFRC) (Figura 1B). Vale destacar que,
382 entre 0 e 5 DAAT, as plantas que receberam aplicação de 100% MFRC ($3937,50 \text{ mg a.i L}^{-1}$)
383 apresentaram uma degradação de 82%, equivalendo-se a $36,16 \text{ mg kg}^{-1}$ aos 5 DAAT. Já quando
384 aplicado na 50% MFRC, neste mesmo período, a dissipação entre 0 e 5 DAAT foi de
385 aproximadamente 46%, equivalendo-se a $60,44 \text{ mg kg}^{-1}$ aos 5 DAAT. Decorridos 20 DAAT,
386 os resíduos caíram para $8,94 \text{ mg kg}^{-1}$ (100% MFRC) e $3,88 \text{ mg kg}^{-1}$ (50% MFRC) (Figura 1B).

387 Já o inseticida thiametoxam, aproximadamente 6 h após a aplicação (0 DAAT) na
388 concentração correspondente a 100% MFRC ($187,50 \text{ mg a.i L}^{-1}$) o resíduo extraído foi de $36,93$
389 mg kg^{-1} e, quando aplicado na 50% MFRC a concentração extraída foi de $17,41 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura
390 1C). Contudo, aos 5 DAAT, ocorreu uma redução de aproximadamente 70 e 62% na
391 concentração de thiametoxam, equivalendo-se a $11,00 \text{ mg kg}^{-1}$ (100% MFRC) e $6,50 \text{ mg kg}^{-1}$

392 (50% MFRC), respectivamente (Figura 1C). Após 20 DAAT, os resíduos de thiametoxam
393 foram de 3,51 e 0,52 mg kg⁻¹, na 100 e 50% MFRC, respectivamente (Figura 1C).

394 Ajustando o modelo de degradação de primeira ordem (SFO) individualmente para
395 azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam, podemos observar diferenças significativas
396 quanto ao parâmetro k para azoxystrobin 100% MRFC ($p= 0,0116$), cyhalofop-butyl 50%
397 MRFC ($p= 0,002175$) e 100% MRFC ($p= 0,05992$) e, thiametoxam 50% MRFC ($p= 0,02782$)
398 e 100% MRFC ($p= 0,04536$). Os resultados relativos ao tempo de meia vida (DT_{50}) para
399 azoxystrobin foi de aproximadamente 17 dias (intervalo de confiança: $14,74 < DT_{50} < 18,89$)
400 (Figura 1A). De cyhalofop-butyl foi de aproximadamente 4 dias (intervalo de confiança: $3,93$
401 $< DT_{50} < 4,49$) e, 5 dias para thiametoxam (intervalo de confiança: $3,77 < DT_{50} < 6,48$) (Figura
402 1B e C).

403

404 *3.4. Correlação entre a concentração dos resíduos dos pesticidas e o coeficiente de redução*
405 *(E_x)*

406 Para os três tratamentos (azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam), as correlações
407 entre a concentração dos resíduos foliares e o coeficiente de redução (E_x), obtidas após o
408 agrupamento das concentrações amostradas nas datas e seus respectivos valores de E_x ,
409 evidenciaram que, os efeitos letais e subletais avaliados sobre *T. podisi* estão correlacionados à
410 concentração do resíduo presente nas folhas (Figura 2). Azoxystrobin ($r= 0,81282$; $p=0,01$),
411 cyhalofop-butyl ($r= 0,71421$; $p=0,04$) e thiametoxam ($r= 0,6338$; $p=0,09$) apresentaram
412 correlações positivas moderadas (Figura 2A, B e C).

413 Para cyhalofop-butyl e thiametoxam, a extrapolação da linha de regressão sugere que
414 concentrações foliares abaixo de 120 e 6 mg.kg⁻¹, respectivamente, não causam efeitos
415 significativos aos insetos ($E_x < 30\%$ (inócuos segundo a IOBC)) (Figura 2B e C). Enquanto que,

416 para azoxystrobin não foi verificado efeitos ($E_x > 30\%$) sobre *T. podisi* em nenhuma
417 concentração extraída (Figura 2A).

418

419 **4. Discussão**

420 Para que ocorra a integração eficiente do controle biológico e químico em um programa
421 de MIP, é necessário o conhecimento dos efeitos (agudos, crônicos e transgeracionais) dos
422 agrotóxicos em artrópodes benéficos (Bueno et al. 2017; Torres & Bueno, 2018; Carvalho et
423 al. 2019), bem como em quais concentrações esses efeitos são causados (Müller, 2018). Deste
424 modo, no presente estudo, comprovamos os efeitos residuais letais e subletais dos agrotóxicos
425 azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam sobre duas gerações de *T. podisi*, importante
426 parasitoide de ovos de pentatomídeos-praga que infestam a cultura do arroz irrigado no Brasil
427 e, determinamos as concentrações de resíduos foliares em plantas de arroz em diferentes dias
428 após a pulverização.

429 Sabe-se que o controle químico é essencial na agricultura brasileira e, que além dos
430 inseticidas, os herbicidas e fungicidas (mesmo apresentando alvos de controle diferentes em
431 relação aos inseticidas), também podem afetar negativamente o desempenho de parasitoides de
432 ovos (Bueno et al. 2017; Carvalho et al. 2019; Rakes et al. 2020), incluindo *T. podisi* (Turchen
433 et al. 2015; Pazini et al. 2016; Zantedeschi et al. 2018). Contudo, especificamente no cultivo
434 orizícola, aplicações de herbicidas, como é o caso de cyhalofop-butyl, após a emergência do
435 arroz são consideradas práticas frequentes em cultivos irrigados no Sul do Brasil, objetivando
436 principalmente o controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) no período pré-inundação das
437 lavouras (Andres et al. 2007).

438 No presente estudo, cyhalofop-butyl quando aplicado diretamente sobre o tecido vegetal
439 na maior concentração recomendada em bula, efeitos significativos (Classe 2) sobre o
440 parasitoide são observados por um período de até 5 dias. A observação desses efeitos sobre o

441 parasitoide pode estar relacionada à características químicas desse composto, visto que,
442 cyhalofop-butyl possui um coeficiente de partição octanol-água (Kow) considerado alto (log
443 Kow = 3,31) (PubChem, 2021), tornando-o extremamente lipofílico e, quando em contato com
444 os insetos a ligação com a camada cuticular é facilitada (Chapman, 2013). Além disso, como
445 ingredientes inertes e tipos de sais são protegidos como propriedade de manufatura e não estão
446 especificados no rótulo, esses compostos presentes na formulação de herbicidas podem agravar
447 os efeitos deletérios em inimigos naturais (Giolo et al. 2005; Magano et al. 2013; Pasini et al.
448 2017).

449 Em adição a isso, a ação residual de alguns herbicidas utilizados em gramíneas já foi
450 relatada por Pasini et al. (2017) sobre o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley
451 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), evidenciando a ocorrência de efeitos adversos num
452 período inferior a 5 dias. Sobre *T. podisi*, Pazini et al. (2017b), relatou cyhalofop-butyl como
453 inofensivo, quando utilizado em volume de calda de 200 L ha⁻¹, em testes de toxicidade aguda
454 sobre placas de vidro.

455 Além disso, como medida de proteção do cultivo orizícola, a utilização de fungicidas
456 (azoxystrobin) e inseticidas (thiametoxam) é usual em lavouras de arroz irrigado para o controle
457 simultâneo de brusone (*M. oryzae*) e de percevejos como *T. limbativentris* e *Oebalus* spp.
458 (Rakes et al. 2017). Logo, considerando que a maior parte das pulverizações com fungicidas
459 em arrozais irrigados ocorrem no estágio do emborrachamento tardio das plantas (até 5% da
460 emissão das panículas) (Counce et al. 2000; Bordin et al. 2016), torna-se importante a utilização
461 de produtos menos danosos a *T. podisi*. Visto que, essa época coincide com a maior ocorrência
462 de pentatomídeos-praga neste sistema produtivo (Seidel et al. 2020, Weber et al. 2020) e,
463 conseqüentemente o aumento da população do parasitoide (Farias et al. 2012), fazendo com
464 que ocorra a conservação desses inimigos naturais no campo (Carvalho et al. 2019).

465 Pazini et al. (2017b) ao estudarem os efeitos agudos de azoxystrobin sobre *T. podisi*,
466 quando contaminados com resíduos frescos em placas de vidro, verificaram reduções no
467 parasitismo de aproximadamente 26% em relação a testemunha. No entanto, segundo nossa
468 pesquisa, ao considerar o coeficiente de redução (E_x), que determina de forma geral todos os
469 possíveis efeitos deletérios causados, a aplicação isolada de azoxystrobin, seguindo as
470 recomendações da bula do fabricante para a cultura do arroz não prejudicaria o potencial do
471 controle biológico inundativo e/ou conservativo de ovos de percevejos com *T. podisi*.

472 Em contrapartida, nossos resultados demonstraram que o inseticida a base de
473 thiametoxam possui elevada toxicidade a *T. podisi* (Classe 4 até 5 DAAT). Visto que,
474 inseticidas neurotóxicos atuam em mecanismos de transmissão axonal e sináptica dos impulsos
475 nervosos (Casida & Durkin, 2013). Logo, como existe semelhança no modo de transmissão dos
476 impulsos nervosos entre diferentes filos de animais, esses inseticidas geralmente são
477 classificados como compostos mais agressivos (Amarasekare et al. 2016). Especificamente para
478 *T. podisi*, até o momento, apenas a toxicidade aguda (de curto prazo) de compostos com essas
479 características foi descrita. Zantedeschi et al. (2018) relataram que os inseticidas do grupo
480 químico dos neonicotinóides causaram redução no parasitismo de *T. podisi* superiores a 97%.
481 Especificamente para thiametoxam, resultados semelhantes foram relatados por Turchen et al.
482 (2015), onde verificaram mortalidade de 100% de fêmeas de *T. podisi* expostas a resíduos de
483 até 5 dias.

484 Em adição a isso, efeitos residuais de inseticidas neurotóxicos foram observados em
485 períodos superiores a 30 dias sobre diversos agentes de controle biológico (Stefanello Júnior,
486 2012; Morales et al. 2019; Pasini et al. 2020; Ricupero et al. 2020). Contudo, vale ressaltar que
487 em grande parte dos estudos que verifica a ação residual de pesticidas sobre inimigos naturais
488 apenas um efeito é levado em consideração (ex.: mortalidade, parasitismo, fecundidade, etc.),
489 fazendo com que algumas vezes o número de dias possa ser subestimado ou superestimado

490 (Biondi et al. 2012; Biondi et al. 2013). Diante disso, em nossa pesquisa, visando considerar
491 todos os possíveis efeitos, utilizamos os valores do coeficiente de redução (E_x) para determinar
492 o número de dias em que efeitos significativos sobre o inimigo natural podem ser observados.

493 Embora após a pulverização de pesticidas nas plantas, os produtos químicos (incluindo
494 compostos de ingredientes ativos e agregados da formulação) degradam-se com o tempo
495 (Müller, 2018), é sabido que inimigos naturais quando sobreviventes a exposição a agrotóxicos
496 em baixas doses também podem sofrer danos expressivos (Desneux et al. 2007; Pazini et al.
497 2019). No entanto, em grande parte dos bioensaios de efeitos residuais sobre inimigos naturais,
498 onde a contaminação do inseto ocorre diretamente sobre as folhas da cultura, durante um
499 período de tempo, as sub-concentrações presentes não são quantificadas (Stefanello Junior et
500 al. 2012; Pasini et al. 2017), impossibilitando o conhecimento da correlação entre estes fatores.
501 Em vista disso, incrementou-se no presente estudo, a determinação e dissipação dos resíduos
502 presentes nas folhas de arroz cultivados em casa de vegetação de azoxystrobin, cyhalofop-butyl
503 e thiametoxam.

504 A partir disso, descobrimos que em condições de casa de vegetação, as concentrações
505 de resíduos de azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam em folhas de arroz diminuíram, e
506 apresentaram valores de DT_{50} estimados em 17, 4 e 5 dias, respectivamente. Essas taxas de
507 degradação são pouco mais lentas e/ou similares do que as descritas em outros estudos.
508 Entretanto, sabe-se que a persistência foliar de agrotóxicos está relacionada a diversos fatores,
509 como: condições climáticas, tipo de aplicação, dosagem, espécie (metabolismo vegetal), idade
510 da folha (Jacobsen et al., 2015) e local de cultivo (Wu et al. 2014).

511 Para azoxystrobin, que apresentou o DT_{50} mais longo no presente estudo, os resultados
512 mostraram-se semelhantes aos descritos por Itoiz et al. (2012), que determinaram os resíduos
513 de azoxystrobin em folhas de alface e estimaram a DT_{50} em 11,2 dias, quando aplicado na
514 concentração de 1000 mg.L^{-1} . Já cyhalofop-butyl extraído de folhas de arroz cultivadas em

515 condições de campo, em três diferentes regiões da China, aplicado na dose de 203 g de i.a ha⁻¹
516 teve a DT₅₀ estimada em aproximadamente 1,5 dias (Wu et al. 2014). Ainda, Wang et al. (2013)
517 ao estudarem os resíduos de thiametoxam em folhas verdes de tabaco, verificaram que aos 5
518 DAAT a dissipação deste composto foi de aproximadamente 65% e estimou a DT₅₀ em 4,4 dias.

519 Entretanto, vale ressaltar que segundo nossos resultados, quando correlacionada a taxa
520 de dissipação dos pesticidas aos valores de E_x sobre *T. podisi* comprovamos que, mesmo com
521 uma correlação positiva, compostos após passar seu período de DT₅₀ ainda causam efeitos
522 significativos ao inseto e conseqüentemente aos seus serviços como agentes de controle
523 biológico. Por fim, a avaliação dos efeitos residuais dos agrotóxicos sobre inimigos naturais
524 muitas vezes é relegada a um segundo plano (Pasini et al. 2020). Entretanto, deve ser
525 considerada em estudos de seletividade, pois fornece resultados sobre a duração da atividade
526 nociva aos artrópodes benéficos. Assim, a determinação da persistência foliar de azoxystrobin,
527 cyhalofop-butyl e thiametoxam em folhas de arroz e da atividade residual sobre *T. podisi*
528 demonstrada com nossos resultados, fornece informações úteis para o sucesso do MIP, uma vez
529 que tal conhecimento possibilita a integração do controle químico ao biológico.

530

531 **Referências**

532

533 Amarasekare, K.G., Shearer, P.W., Mills, N.J., 2016. Testing the selectivity of pesticides effects
534 on natural enemies in laboratory bioassays. *Biol. Control*, 102, 7-16.
535 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.015>

536

537 Andres, A., Freitas, G.D., Concenço, G., Melo, P.T.B.S., Ferreira, F.A., 2007. Desempenho do
538 cultivar de arroz BRS-Pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) submetidos a quatro

539 épocas de entrada d'água após aplicação de doses reduzidas de herbicidas. *Planta Daninha*, 25,
540 859-867.

541

542 Bayram, A., Salerno, G., Onofri, A., Conti, E., 2010. Sub-lethal effects of two pyrethroids on
543 biological parameters and behavioral responses to host cues in the egg parasitoid *Telenomus*
544 *busseolae*. *Biol. Control*, 53, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.09.012>

545

546 Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G., Zappalà, L., 2012. Using organic-certified rather than
547 synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects
548 of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere*, 87, 803-812.
549 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.082>

550

551 Biondi, A., Zappalà, L., Stark, J.D., Desneux, N., 2013. Do biopesticides affect the
552 demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects?.
553 *PLoS One*, 8, e76548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076548>

554

555 Boesten JJTI, Aden K, Beigel C, Beulke S, Dust M, Dyson JS, Fomsgaard IS, Jones RL,
556 Karlsson S, Van der Linden AMA, Richter O, Magrans JO, Soulas G, 2006. The Final Report
557 of the Work Group on Degradation Kinetics of FOCUS (Forum for the Coordination of
558 Pesticide Fate Models and Their Use). Guidance Document on Estimating Persistence and
559 Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration
560 Sanco/10058/2005. version 2.0, June 2006

561

- 562 Bordin, L.C., Casa, R.T., Marcuzzo, L.L., Bogo, A., Zancan, R.L., 2016. Efeito da aplicação de
563 fungicidas no controle de doenças foliares de arroz irrigado e sua relação com o rendimento
564 industrial. *Summa Phytopathol*, 42, 85–88. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2012>
565
- 566 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2020) Agrofit.
567 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acessado em 05 fevereiro
568 2020.
569
- 570 Bueno, A.D.F., Carvalho, G.A., Santos, A.C.D., Sosa-Gómez, D.R., Silva, D.M.D., 2017.
571 Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field
572 recommendation. *Cienc. Rural*, 47, e20160829 <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160829>
573
- 574 Carvalho, G.A., Grützmacher, A.D., Passos, L.C., Oliveira, R.L., 2019. Physiological and
575 ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects. In: Souza B, Vázquez L,
576 Marucci R (Eds.) *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems*. Springer,
577 Cham, pp 469-478.
578
- 579 CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos,
580 décimo segundo levantamento, setembro 2020. Brasília: Conab, 2020. Disponível em: <
581 <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>>. Acesso em: 18 nov. 2020.
582
- 583 Casida, J.E., Durkin, K.A., 2013. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and
584 secondary effects. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 99-117. [https://doi.org/10.1146/annurev-ento-](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645)
585 [120811-153645](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645)
586

- 587 Chapman, R.F., Simpson, S.J., Douglas, A., The insects structure and function, 2013. Fifth
588 edition. Cambridge University Press, New York USA.
589
- 590 Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchell, A., 2000. A uniform, objective, and adaptive system for
591 expressing rice development. *Crop. Sci.*, 40, 436-443.
592 <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>
593
- 594 Dean, R., Van Kan, J.A., Pretorius, Z.A., Hammond-Kosack, K.E., Di Pietro, A., Spanu, P.D.,
595 Rudd, J.J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J., Foster, G.D., 2012. The Top 10 fungal
596 pathogens in molecular plant pathology. *Mol. Plant. Pathol.*, 13, 414–430.
597 <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>
598
- 599 Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M., 2007. The sublethal effects of pesticides on
600 beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52, 81-106.
601 <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
602
- 603 FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics division. Food
604 and agricultural commodities production/Countries by commodity, Rome, Italy, 2020.
605 Disponível em:
606 http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity Acesso em: 18 nov. 2020.
607
- 608 Farias, P.M., Klein, J.T., Sant’Ana, J., Redaelli, L.R., Grazia, J., 2012. First records of
609 *Glyphepomis adroguensis* (Hemiptera, Pentatomidae) and its parasitoid, *Telenomus podisi*
610 (Hymenoptera, Platygasteridae), on irrigated rice fields in Rio Grande do Sul, Brazil. *Rev. Bras.*
611 *Entomol.*, 56, 383-384. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262012005000044>

612

613 Giolo, F.P., Grützmacher, A.D., Procópio, S.O., Manzoni, C.G., Lima, C.A.B., Nörnberg, S.D.,
614 2005. Side-effects of glyphosate formulations on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera:
615 Trichogrammatidae). *Planta Daninha*, 23, 457-462. [http://dx.doi.org/10.1590/S0100-](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000300009)
616 [83582005000300009](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000300009)

617

618 Godoy, K.B., Galli, J.C., Ávila, C.J., 2005. Parasitismo em ovos de percevejos da soja
619 *Euschistus heros* (Fabricius) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) em
620 São Gabriel do Oeste, MS. *Cienc. Rural*, 35, 455-458. [http://dx.doi.org/10.1590/S0103-](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000200034)
621 [84782005000200034](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000200034)

622

623 Hirooka, T., Ishii, H., 2013. Chemical control of plant diseases. *J. Gen. Plant Pathol*, 79, 390-
624 401. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0470-6>

625

626 Idalgo, T.D.N., Sant'Ana, J., Redaelli, L.R., Pires, P.D. da S., 2013. Parasitismo de ovos de
627 *Tibraca limbativentris* Stål (Hemiptera: Pentatomidae) em lavoura de arroz irrigado, Eldorado
628 do Sul, RS. *Arq. Inst. Biol*, 80, 453-456.

629

630 Itoiz, E.S., Fantke, P., Juraske, R., Kounina, A., Vallejo, A.A., 2012. Deposition and residues
631 of azoxystrobin and imidacloprid on greenhouse lettuce with implications for human
632 consumption. *Chemosphere*, 89, 1034-1041.

633 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.066>

634

- 635 Jacobsen, R.E., Fantke, P., Trapp, S., 2015. Analysing half-lives for pesticide dissipation in
636 plants. SAR QSAR Environ. Res., 26, 325-342.
637 <https://doi.org/10.1080/1062936X.2015.1034772>
638
- 639 Magano, D.A., Krolow, I.R.C., Grützmacher, A.D., Panozzo, L.E., Armas, F.S., Zimmer, M.,
640 2013. Efeitos secundários de herbicidas aplicados em soja sobre *Trichogramma pretiosum*.
641 Pesq. Agropec. Gaúcha 19, 49–56.
642
- 643 Marchesi, C., Chauhan, B.S., 2019. The efficacy of chemical options to control *Echinochloa*
644 *crus-galli* in dry-seeded rice under alternative irrigation management and field layout. Crop.
645 Prot., 118, 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.016>
646
- 647 Martins, J.F.S., Barrigossi, J.A.F., Oliveira, J.V., Cunha, U.S., 2009. Situação do manejo
648 integrado de insetos-praga na cultura do arroz no Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado,
649 2009. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 290).
650
- 651 Medeiros, M.A., Schimidt, F.V.G., Loiacono, M.S., Carvalho, V.F., Borges, M., 1997.
652 Parasitismo e predação em ovos de *Euschistus heros* (Fab.) (Heteroptera: Pentatomidae) no
653 Distrito Federal, Brasil. An. Soc. Entomol. Brasil, 26, 397-401.
654 <http://dx.doi.org/10.1590/S0301-80591997000200026>
655
- 656 Morales, S.I., Martínez, A.M., Figueroa, J.I., Campos-García, J., Gómez-Tagle, A., Lobit, P.,
657 Smagghe, G., Pineda, S., 2019. Foliar persistence and residual activity of four insecticides of
658 different mode of action on the predator *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae).
659 Chemosphere, 235, 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.163>

660

661 Müller, C., 2018. Impacts of sublethal insecticide exposure on insects - Facts and knowledge
662 gaps. *Basic. Appl. Ecol.*, 30, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.05.001>

663

664 Olajumoke, B., Juraimi, A.S., Uddin, M., Husni, M.H., Alam, M., 2016. Competitive ability of
665 cultivated rice against weedy rice biotypes: A review. *Chil. J. Agric. Res.*, 76, 243-252. doi:
666 <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000200015>.

667

668 Paiva, A.C.R., Beloti, V.H., Yamamoto, P.T., 2018. Sublethal effects of insecticides used in
669 soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ecotoxicology* 27, 448-456.
670 <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1909-5>

671

672 Parra, J.R.P., 2019. Controle Biológico na Agricultura Brasileira. *Entomol. Commun*, 1,
673 ec01002. <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec0100>

674

675 Pasini, R.A., Grützmacher, A.D., Spagnol, D., Armas, F.S., Normberg, A.V., Carvalho, A.J.S.,
676 2017. Residual action of pesticides sprayed on corn plants on *Trichogramma pretiosum*. *Rev.*
677 *Ceres*, 64, 242-249. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764030004>

678

679 Pasini, R.A., Rakes, M., Castilhos, R.V., Armas, F.S., Pazini, J.B., Zantedeschi, R.,
680 Grützmacher, A.D., 2020. Residual action of five insecticides on larvae and adults of the
681 neotropical predators *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) and *Eriopis connexa*
682 (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecotoxicology*, <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02314-0>.

683

- 684 Pazini, J.B., Grützmacher, A.D., Martins, J.F.S., Pasini, R.A., Rakes, M., 2016. Selectivity of
685 pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma pretiosum*. Pesqui.
686 Agropecu. Trop., 46, 327-335. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640844>
687
- 688 Pazini, J.B., Pasini, R.A., Seidel, E.J., Rakes, M., Martins, J.F.S., Grützmacher, A.D., 2017a.
689 Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead
690 (Hymenoptera: Platygasteridae). Ecotoxicology, 26, 782-791. [https://doi.org/10.1007/s10646-](https://doi.org/10.1007/s10646-017-1809-0)
691 [017-1809-0](https://doi.org/10.1007/s10646-017-1809-0)
692
- 693 Pazini, J.B., Pasini, R.A., Rakes, M., Armas, F.S., Seidel, E.J., Martins, J.F.S., Grützmacher,
694 A.D., 2017b. Toxicity of pesticide tank mixtures from rice crops against *Telenomus podisi*
695 Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae). Neotrop. Entomol., 46, 461-470.
696 <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0483-5>
697
- 698 Pazini, J.B., Padilha, A.C., Cagliari, D., Bueno, F.A., Rakes, M., Zotti, M.J., Martins, J.F.S.,
699 Grützmacher, A.D., 2019. Differential impacts of pesticides on *Euschistus heros* (Hem.:
700 Pentatomidae) and its parasitoid *Telenomus podisi* (Hym.: Platygasteridae). Sci. Rep., 9, 6544.
701 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42975-4>
702
- 703 Peres, W.A.A., Corrêa-Ferreira, B.S., 2004. Methodology of mass multiplication of *Telenomus*
704 *podisi* Ash. and *Trissolcus basalus* (Woll.) (Hymenoptera: Platygasteridae) on eggs of *Euschistus*
705 *heros* (Fab.) (Hemiptera: Pentatomidae). Neotrop. Entomol., 33, 457-462.
706 <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000400010>
707

708 PubChem. National Center for Biotechnology Information (2021). PubChem Compound
709 Summary for CID 180089, Cyhalofop-butyl. Retrieved January 20, 2021
710 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cyhalofop-butyl>.

711

712 R Development Core Team. (2020) R - A language and environment for statistical computing.
713 version 3.6.2. <http://r-project.org> Accessed 01 October 2020.

714

715 Rakes, M., Grützmacher, A.D., Pazini, J.B., Pasini, R.A., Schaedler, C.E., 2017.
716 Physicochemical compatibility of agrochemical mixtures in spray tanks for paddy field rice
717 crops. *Planta Daninha*, 35, e017165185, <https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100090>.

718

719 Rakes, M., Pasini, R.A., Morais, M.C., Araújo, M.B., Pazini, J.B., Seidel, E.J., Bernardi, D.,
720 Grützmacher, A.D., 2020. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A
721 pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. *Ecotox. Environ.*
722 *Safe.*, 208, 111504, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111504>.

723

724 Reunião Técnica Da Cultura do Arroz Irrigado. 2018. Farroupilha. Arroz irrigado:
725 recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Cachoeirinha: SOSBAI (32) 209 p.

726

727 Ricupero, M., Desneux, N., Zappalà, L., Biondi, A., 2020. Target and non-target impact of
728 systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. *Chemosphere*, 247,
729 125728. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125728>

730

- 731 Rizzetti, T.M., Kemmerich, M., Martins, M.L., Prestes, O.D., Adaime, M.B., Zanella, R., 2016.
732 Optimization of a QuEChERS based method by means of central composite design for pesticide
733 multiresidue determination in orange juice by UHPLC-MS/MS. Food Chem., 196, 25-33.
734 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.010>
735
- 736 Santana, M.V., Macedo, R.D.S., Santos, T.T.M.D., Barrigossi, J.A., 2018. Economic injury
737 levels and economic thresholds for *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae) on paddy
738 rice based on insect-days. J. Econ. Entomol, 111, 2242-2249.
739 <https://doi.org/10.1093/jee/toy208>
740
- 741 SANTE, EUROPEAN COMMISSION, 2015. Guidance document on analytical quality control
742 and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed Document
743 SANTE/11945/2015.
744
- 745 Santos, A.B., Stone, L.F., Vieira, N.R.A., 2006. A cultura do arroz no Brasil. 2^a ed. ampl. -
746 Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 1000 p.
747
- 748 Seidel, E.J., Pazini, J.B., Tomazella, V.L.D., Vieira, A.M.C., Silva, F.F., Martins, J.F.S.,
749 Barrigossi, J.A.F., 2020. Predicting rice stem stink bug population dynamics based on
750 GAMLSS Models. Environ Entomol, 49, 1145-1154. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa091>
751
- 752 Silva, C.C., Laumann, R.A., Blassioli, M.C., Pareja, M., Borges, M., 2008. *Euschistus heros*
753 mass rearing technique for the multiplication of *Telenomus podisi*. Pesq. Agropec. Bras, 43,
754 575-580. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500004>
755

- 756 Silva, G.V., Bueno, A.F., Favetti, B.M., Neves, P.M.O.J., 2018. Selectivity of
757 chlorantraniliprole and lambda-cyhalothrin to the egg parasitoid *Telenomus podisi*
758 (Hymenoptera: Platygasteridae). *Semin. Ciênc. Agrar*, 39, 549-564.
759 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n2p549>
760
- 761 Soares, M.A., Campos, M.R., Passos, L.C., Carvalho, G.A., Haro, M.M., Lavoie, A.V., Biondi,
762 A., Zappalà, L., Desneux, N., 2019. Botanical insecticide and natural enemies: a potential
763 combination for pest management against *Tuta absoluta*. *J. Pest Sci*, 92, 1433-1443.
764 <https://doi.org/10.1007/s10340-018-01074-5>
765
- 766 Sørensen, J.G., Addison, M.F., Terblanche, J.S., 2012. Mass-rearing of insects for pest
767 management: challenges, synergies and advances from evolutionary physiology. *Crop Prot*, 38,
768 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.023>
769
- 770 Stecca, C.S., Bueno, A.F., Pasini, A., Silva, D.M., Andrade, K., Zironi Filho, D.M., 2018.
771 Impact of insecticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Telenomus podisi*
772 (Hymenoptera: Platygasteridae). *Neotrop. Entomol*, 47, 281-291.
773 <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0552-9>
774
- 775 Stefanello Júnior, G.J., Grützmacher, A.D., Spagnol, D., Pasini, R.A., Bonez, C., Moreira, D.C.,
776 2012. Persistence of pesticides used in corn field to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*
777 Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Cienc. Rural*,
778 <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000100004>.
779

- 780 Torres, J.B., Bueno, A.D.F., 2018. Conservation biological control using selective insecticides–
781 a valuable tool for IPM. Biol. Control, 126, 53-64.
782 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>
783
- 784 Turchen, L.M., Golin, V., Butnariu, A.R., Guedes, R.N., Pereira, M.J., 2015. Lethal and
785 sublethal effects of insecticides on the egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera:
786 Platygasteridae). J. Econ. Entomol. 109, 84-92. <https://doi.org/10.1093/jee/tov273>
787
- 788 Viera, M.S., Rizzetti, T.M., de Souza, M.P., Martins, M.L., Prestes, O.D., Adaime, M.B.,
789 Zanella, R., 2017. Multiresidue determination of pesticides in crop plants by the quick, easy,
790 cheap, effective, rugged, and safe method and ultra-high-performance liquid chromatography
791 tandem mass spectrometry using a calibration based on a single level standard addition in the
792 sample. J. Chromatogr. A, 1526, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.10.048>
793
- 794 Wang, H.Y., Yang, Y., Su, J.Y., Shen, J.L., Gao, C.F., Zhu, Y.C., 2008. Assessment of the
795 impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Pang et Wang) (Hymenoptera: Mymanidae),
796 an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). Crop
797 Prot., 27, 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.08.004>
798
- 799 Wang, X., Xiang, Z., Yan, X., Sun, H., Li, Y., Pan, C., 2013. Dissipation rate and residual fate
800 of thiamethoxam in tobacco leaves and soil exposed to field treatments. B. Environ. Contam.
801 Tox., 91, 246-250. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1043-2>
802

- 803 Weber, N.C., Redaelli, L.R., Santos, E.M.D., Werner, F.M., 2020. Quantitative and qualitative
804 damages of *Oebalus poecilus* on irrigated rice in southern Brazil. Rev. Ceres, 67, 126-132.
805 <https://doi.org/10.1590/0034-737x202067020005>
806
- 807 Wu, J., Wang, K., Zhang, Y., Zhang, H., 2014. Determination and study on dissipation and
808 residue determination of cyhalofop-butyl and its metabolite using HPLC-MS/MS in a rice
809 ecosystem. Environ. Monit. Assess., 186, 6959-6967. [https://doi.org/10.1007/s10661-](https://doi.org/10.1007/s10661-014-3902-7)
810 [014-3902-7](https://doi.org/10.1007/s10661-014-3902-7)
811
- 812 Zantedeschi, R., Grützmacher, A.D., Pazini, J.B., Bueno, F.A., Machado, L.L., 2018.
813 Selectivity of pesticides registered for soybean crop on *Telenomus podisi* and *Trissolcus*
814 *basalis*. Pesqui. Agropecu. Trop, 48, 52-58. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4850348>

815 **Tabela 1.** Agrotóxicos, ingredientes ativos, formulações e concentrações, utilizados para
 816 determinação da persistência foliar em arroz e bioensaios de efeito residual *em Telenomus*
 817 *podisi*.

Nome comercial	Ingrediente Ativo (%)	Grupo químico	Concentração (mg a.i. L ⁻¹)	
			50%	100%
Priori	Azoxystrobin (25)	Fungicida		
		Estrobilurina	250,00	500,00
Clincher	Cyhalofop-butyl (18)	Herbicida		
		Aryloxyphenoxy propionato	1968,75	3937,50
Actara 250WG	Thiamethoxam (25)	Inseticida		
		Neonicotinoide	93,75	187,50

818

819 **Tabela 2.** Mortalidade de adultos de *Telenomus podisi* após 48 horas de exposição às folhas de
 820 arroz tratadas com diferentes idades.

Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)			
		0 DAAT	5 DAAT	10 DAAT	20 DAAT
		% Mortalidade ($\bar{x} \pm SE$)			
Azoxystrobin	250,00	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00 ^{ns}
	500,00	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00
Cyhalofop-butyl	1968,75	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00
	3937,50	14,00±5,00 ab	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00
Thiametoxam	93,75	100,00±0,00 a	70,00±4,40 a	0,00±0,00 b	0,00±0,00
	187,50	100,00±0,00 a	82,00±3,70 a	10,00±3,10 a	0,00±0,00
Controle	0	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00 b	0,00±0,00
H		32,3795	33,2429	26,25	-
df		6, 28	6, 28	6, 28	-
p-valor		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-

821 * Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste post-hoc (Dunn
 822 com correção de Bonferroni) de Kruskal-Wallis (Kw). ^{ns} não significativo pelo teste Kw ($p>0.05$).

823 **Tabela 3.** Efeitos subletais de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado sobre o parasitismo (geração F₀) de *Telenomus podisi*.

Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)							
		0 DAAT		5 DAAT		10 DAAT		20 DAAT	
		P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#	P ($\bar{x} \pm SE$)*	PR(%)#
Azoxystrobin	250,00	56,80±2,35 ab	10,69	58,00±3,22 ab	4,29	63,80±1,46 a	0,00	66,20±2,74 ^{ns}	0,59
	500,00	49,80±3,02 b	21,69	56,40±3,05 ab	6,93	63,20±1,28 a	0,94	66,80±3,96	1,77
Cyhalofop-butyl	1968,75	54,00±1,41 ab	15,09	48,40±3,40 b	20,79	57,80±1,90 ab	9,40	68,00±1,92	0,00
	3937,50	50,20±4,17 b	21,06	47,80±1,31 b	21,12	56,20±2,10 ab	11,91	67,80±2,70	0,00
Thiametoxam	93,75	0,00±0,00 c	100,00	0,00±0,00 c	100,00	52,60±1,36 bc	17,55	66,40±2,94	1,18
	187,50	0,00±0,00 c	100,00	0,00±0,00 c	100,00	49,40±1,28 c	22,57	67,20±1,98	2,07
Controle	0	63,60±2,46 a	-	60,60±3,14 a	-	63,80±2,93 a	-	67,60±2,73	-
F		128,65		117,91		9,74		1,66	
df		6, 28		6, 28		6, 28		6, 28	
p-valor		<0.0001		<0.0001		<0.0001		0.9988	

824 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F post-hoc (Tukey). * Número médio de ovos parasitados (P) em cada tratamento.

825 #Porcentagem de redução do parasitismo (PR) em comparação ao controle; ^{ns} não significativo pelo teste F ou χ^2 ($p>0.05$).

826

827 **Tabela 4.** Efeitos subletais de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado, sobre a emergência e razão sexual (geração F₁) de *Telenomus podisi*

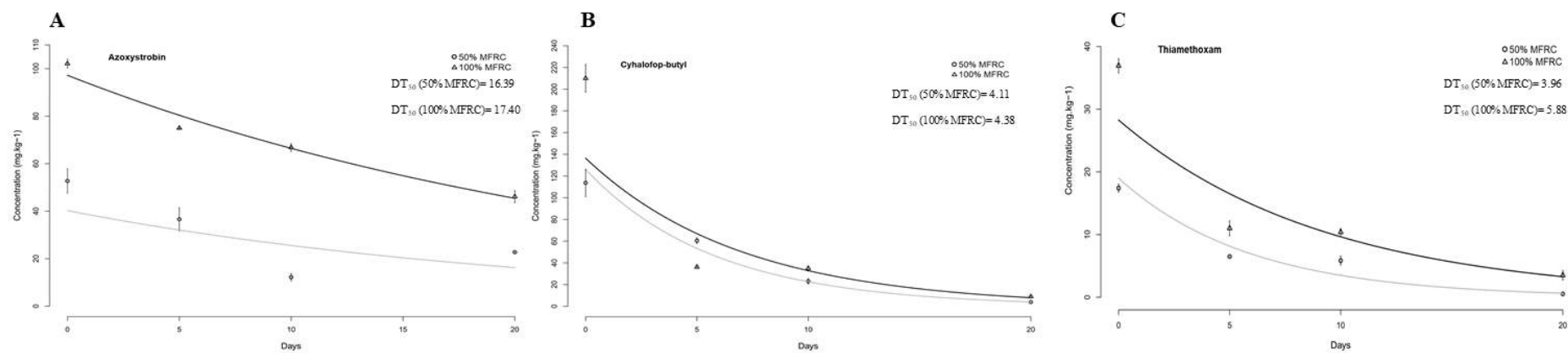
Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)											
		0 DAAT			5 DAAT			10 DAAT			20 DAAT		
		E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	SR ¹ ±SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	SR ¹ ± SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	SR ¹ ± SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%)#	SR ¹ ± SE
Azoxystrobin	250,00	41,20±3,49 a	0,96	0,85±0,03 ^{ns}	41,00±0,70 a	0,96	0,77±0,01 a	49,20±0,48 ^{ns}	0,00	0,83±0,01 ^{ns}	47,80±2,33 ^{ns}	4,78	0,82±0,01 ^{ns}
	500,00	40,60±2,37 a	2,40	0,83±0,07	40,40±2,74 a	2,41	0,76±0,01 a	49,80±1,15	0,00	0,81±0,01	50,80±3,99	0,00	0,80±0,01
Cyhalofop-butyl	1968,75	40,40±2,40 a	2,88	0,79±0,02	41,20±1,65 a	0,48	0,67±0,01 b	50,40±1,16	0,00	0,82±0,01	50,80±1,62	0,00	0,80±0,01
	3937,50	41,20±3,15 a	0,96	0,80±0,02	41,00±0,94 a	0,97	0,67±0,01 b	48,80±1,42	0,00	0,81±0,01	51,00±1,22	0,00	0,81±0,01
Thiametoxam	93,75	0,00±0,00 b	100,00	-	0,00±0,00 b	100,00	-	47,00±1,04	2,89	0,82±0,01	48,80±1,85	2,78	0,82±0,01
	187,50	0,00±0,00 b	100,00	-	0,00±0,00 b	100,00	-	46,20±1,49	4,54	0,82±0,01	48,20±2,22	3,98	0,82±0,01
Controle	0	41,60±2,31 a	-	0,86±0,01	41,80±2,08 a	-	0,79±0,01 a	48,40±2,11	-	0,83±0,02	50,20±3,12	-	0,81±0,02
F ou χ^2		71,96		85,00	361,12		100,20	1,22		0,59	0,93		0,27
df		6, 28		4, 22	6, 28		4, 22	6, 28		6, 28	6, 28		6, 28
p-valor		<0,0001		0,2266	<0,0001		<0,0001	0,3234		0,7360	0,9988		0,9443

828 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F post-hoc (Tukey). * Número médio de parasitóides emergidos (E) em cada
829 tratamento. #Porcentagem de redução de emergência (ER) em comparação com o controle; ¹Razão sexual (SR); ^{ns} não significativo pelo teste F ou χ^2 ($p>0.05$).

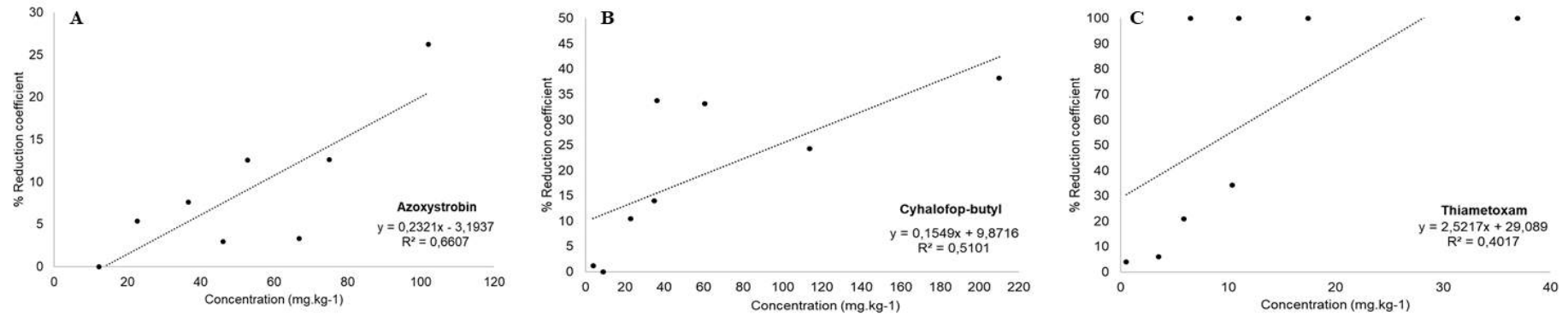
830 **Tabela 5.** Coeficiente de redução E_x estimados para os efeitos na mortalidade, parasitismo,
 831 emergência e razão sexual de agrotóxicos utilizados em arroz sobre *Telenomus podisi*, e classes
 832 de toxicidade da IOBC.

Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)			
		0 DAAT	5 DAAT	10 DAAT	20 DAAT
% Coeficiente de redução E_x / (Classes da IOBC) [#]					
Azoxystrobin	250,00	12,57 (1)	7,60 (1)	0,00 (1)	5,34 (1)
	500,00	26,22 (1)	12,61 (1)	3,31 (1)	2,97 (1)
Cyhalofop-butyl	1968,75	24,23 (1)	33,13 (2)	10,48 (1)	1,23 (1)
	3937,50	38,22 (2)	33,74 (2)	14,02 (1)	0,00 (1)
Thiametoxam	93,75	100,00 (4)	100,00 (4)	20,89 (1)	3,92 (1)
	187,50	100,00 (4)	100,00 (4)	34,27 (2)	5,96 (1)
Controle	0	-	-	-	-

833 [#]Classes da IOBC: 1- inócuo ($E_x < 30\%$), 2- levemente nocivo ($30\% \leq E_x \leq 79\%$), 3- moderadamente nocivo ($80\% \leq$
 834 $E_x \leq 99\%$), 4- nocivo ($E_x > 99\%$).



835 **Figura 1.** Resíduos dos agrotóxicos ((A) azoxystrobin, (B) cyhalofop-butyl e (C) thiamethoxam) extraídos das folhas de arroz em diferentes
 836 tempos. As cores preta e cinza correspondem a 100 e 50% do MFRC aplicado, respectivamente. Os pontos de dados representam a concentração
 837 média de resíduos em diferentes momentos de amostragem. As linhas representam a cinética de degradação do tratamento correspondente, ajustada
 838 por uma regressão exponencial em um modelo simples de primeira ordem (SFO).



839 **Figura 2.** Regressão linear entre o coeficiente de redução (E_x) sobre *Telenomus podisi* e os resíduos das concentrações de (A) azoxystrobin, (B)
 840 cyhalofop-butyl e (C) thiametoxam presentes nas folhas de arroz.

4.Artigo 3

Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do arroz irrigado sobre o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae).

*Artigo redigido nas normas da revista "Phytoparasitica" (versão em Português)

1 **Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do arroz irrigado sobre o**
2 **parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)**
3 **em condições de campo**

4

5 Matheus Rakes^{1*}, Rafael Antonio Pasini², Máira Chagas Morais¹, Mikael Bolke Araújo¹,
6 José Bruno Malaquias³, Daniel Bernardi¹, Anderson Dionei Grützmacher¹.

7

8 ¹Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, Rio
9 Grande do Sul, Brasil.

10 ²Centro de Ensino Superior Riograndense (CESURG), Sarandi, Rio Grande do Sul,
11 Brasil.

12 ³Departamento de Bioestatística, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu,
13 Brasil.

14

15 ***Autor correspondente:***

16 Matheus Rakes,

17 Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), CEP 96010-
18 900, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.

19 e-mail: matheusrakes@hotmail.com

20 Fone: +55 54 99924-9838

21

22

23

24

25 Resumo

26 Avaliamos a toxicidade em condições de campo, de inseticidas registrados para a cultura
27 do arroz irrigado e, previamente reportados como nocivos em laboratório e semi-campo
28 sobre o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera:
29 Trichogrammatidae). Os experimentos foram conduzidos durante as safras 2019/20 e
30 2020/21, em lavouras de arroz, no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul,
31 Brasil. Seguindo as recomendações da *International Organization for Biological and*
32 *Integrated Control* (IOBC), em parcelas experimentais de 64 m² foi aplicado quatro
33 inseticidas (lambda-cialotrina, tiametoxam, tiametoxam+lambda-cialotrina e zeta-
34 cipermetrina). Posteriormente, seguindo as instruções do rótulo do fabricante liberamos
35 inudativamente *T. pretiosum*. Para a verificação das taxas de parasitismo, aos 1, 2, 4 e 6
36 dias após a liberação (DAL) dos parasitoides foi realizado a ofertas de ovos do hospedeiro
37 alternativo *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Após a averiguação do
38 número de ovos parasitados nas respectivas datas de oferta, agrupamos esses dados em
39 um coeficiente de redução (E_x) a fim de prover um único resultado dos efeitos dos
40 inseticidas sobre *T. pretiosum*. Para ambas safras avaliadas 2019/20 e 2020/21, foi
41 verificado que aos 2 DAL, foram verificadas as maiores taxas de parasitismo. Em
42 contrapartida, a partir dos 4 DAL não foram observadas taxas de parasitismo. Os
43 inseticidas lambda-cialotrina, tiametoxam e zeta cipermetrina foram classificados como
44 moderadamente nocivos (Classe 3); tiametoxam + lambda-cialotrina foi classificado
45 como nocivo (Classe 4). Logo, concluímos que, mesmo ocasionando efeitos inferiores
46 aos obtidos em laboratório por outros autores, esses inseticidas não devem ser utilizados
47 dentro de um programa de MIP.

48

49 **Palavras-chave:** Controle Químico; Controle Biológico; Manejo Integrado de Pragas;
50 Inimigos Naturais; Seletividade de agrotóxicos; *Oryza sativa*.

51 1. Introdução

52 No Brasil, o cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) é de grande importância econômica
53 e social, visto que com uma produção superior a 11 milhões de toneladas o País é o maior
54 produtor do cereal fora do continente asiático (FAOSTAT, 2020). Aproximadamente,
55 80% da produção nacional provém de campos irrigados por inundação, que abrangem
56 aproximadamente 1,1 milhões de hectares na região Sul do País, onde o estado do Rio
57 Grande do Sul responde por mais de 70% da produção brasileira de arroz (CONAB,
58 2021). Entretanto, apesar da alta produtividade, as lavouras de arroz estão sujeitas a ação
59 de diversos fatores bióticos e, dentre estes, destacam-se os artrópodes-praga devido as
60 significativas perdas econômicas que ocasionam (Heinrichs & Muniappan, 2017;
61 Reunião, 2018).

62 Diante disso, a principal forma de supressão populacional destas pragas é pela
63 utilização do controle químico, com inseticidas sintéticos (Heinrichs & Muniappan,
64 2017). Entretanto, o uso generalizado dessa estratégia de controle, muitas vezes sem
65 considerar os alicerces do Manejo Integrado de Pragas (MIP) pode acarretar em diversos
66 problemas, como o desequilíbrio populacional dos insetos benéficos, que funcionam
67 como agentes de controle natural (Bueno et al. 2017; Torres & Bueno, 2018; Carvalho et
68 al. 2019).

69 Os parasitoides de ovos da família Trichogrammatidae estão entre os principais
70 agentes de controle biológico de lepidópteros-praga em diversos cultivos e, estão dentro
71 do maior programa de controle biológico do mundo (Bueno et al. 2012; Pazini et al. 2016;
72 Parra, 2019; Parra & Coelho, 2019; Rakes et al. 2020). Dentre estes, *Trichogramma*
73 *pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) ganha destaque, visto que somente
74 no Estado do Rio Grande do Sul, a espécie está inserida em um programa que abrange 20
75 mil ha (Rio Grande do Sul, 2014). Além disso, *T. pretiosum* é eficiente no parasitismo de
76 ovos da lagarta-da-folha *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

77 (Bueno et al. 2010) e lagarta-da-panícula, *Pseudaletia* spp. (Lepidoptera: Noctuidae)
78 (Foerster et al. 2015), importantes artrópodes-praga no sistema produtivo orizícola
79 (Busato et al. 2002; Reunião, 2018).

80 Apesar do controle biológico ser de elevada importância, por possibilitar a
81 regulação das populações de artrópodes-praga, o controle químico, pela rapidez, em
82 muitas ocasiões é essencial (Carvalho et al. 2019). Com base neste cenário, para
83 desenvolver um programa atendendo as premissas do MIP, aliando de forma eficiente o
84 controle biológico ao químico, o primeiro passo a ser avaliado é a seletividade dos
85 pesticidas sobre o parasitoide (Bueno et al. 2017; Torres & Bueno, 2018; Carvalho et al.
86 2019). Para isso, a *International Organization for Biological and Integrated Control*
87 (IOBC) apresenta uma metodologia sequencial padronizada que envolve testes de
88 laboratório, semi-campo e campo, a fim de prover suficiente informação para classificar
89 o efeito adverso de um agrotóxico em um organismo benéfico (Candolfi et al. 2000;
90 Hassan & Abdelgader, 2001).

91 Seguindo essas diretrizes, Rakes et al. (2020) compilaram em um banco de dados
92 os resultados de aproximadamente 20 estudos, totalizando mais de 380 agrotóxicos
93 utilizados em diversos cultivos no Brasil, quanto a sua seletividade sobre os estádios
94 imaturos e adulto de *T. pretiosum* em condições de laboratório. Em adição a isso, em
95 condições de semi-campo a toxicidade de agrotóxicos sobre *T. pretiosum* já foi relatada
96 por Giolo et al. (2008), Nörnberg et al (2011), Stefanello Júnior et al. (2012) e Pasini et
97 al. (2017).

98 No entanto, muitos fatores podem interferir na toxicidade de um ingrediente ativo,
99 (Jacobsen et al. 2015), fazendo com que a toxicidade do composto seja reduzida. Logo,
100 estudos em condições de campo são necessários (Hassan & Abdelgader, 2001).
101 Entretanto, até o momento nenhum estudo avaliou a compatibilidade de agrotóxicos sobre
102 o parasitoide em condições de campo.

103 Aliado a isso, para o sistema produtivo orizícola, pouca informação sobre o
104 assunto está disponível, visto que apenas Pazini et al. (2016) estudaram os efeitos
105 deletérios de 24 agrotóxicos à *T. pretiosum* em condições de laboratório e, constataram
106 uma elevada toxicidade de inseticidas da classe dos piretroides e neonicotinoides.
107 Partindo desse pressuposto, objetivou-se neste estudo avaliar a toxicidade, em condições
108 de campo, de ingredientes ativos utilizados na cultura do arroz previamente reportados
109 como nocivos em laboratório e semi-campo sobre o parasitoide de ovos *T. pretiosum*.

110

111 **2. Material e métodos**

112 Os experimentos foram realizados em dois anos agrícolas de cultivo de arroz
113 [2019/20 (1) e 2020/21 (2)], em um talhão sistematizado com nivelamento da superfície
114 do solo com uma área total de aproximadamente 10.000 m², localizado no município de
115 Capão-do-Leão, RS, Brasil (latitude 31°44'13.3"S, longitude 52°28'37,0"O). A área é
116 circundada por uma vegetação densa e por canais de captação de água para irrigação, sem
117 outros cultivos agrícolas em torno (Figura 1A). O tipo de solo é Planossolo Háplico
118 eutrófico típico, comuns em arrozais irrigados por inundação no Sul do Brasil. O clima
119 da região é do tipo "Cfa", subtropical, temperado quente, com chuvas bem distribuídas e
120 estações bem definidas, segundo classificação de Köppen-Geiger.

121 A área experimental foi semeada em solo seco, com aproximadamente 80 kg/ha
122 de sementes de arroz da cultivar de ciclo médio IRGA 424CL, seguindo as
123 recomendações técnicas da cultura para o sul do Brasil (Reunião, 2018). Os experimentos
124 foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com cinco tratamentos
125 (inseticidas) e quatro repetições (parcelas). Cada parcela foi constituída por uma área de
126 8,0 × 8,0 metros (64 m² de área útil). O espaçamento entre parcelas utilizado foi de 5
127 metros, com a finalidade de reduzir a probabilidade de dispersão do parasitoide *T.*
128 *pretiosum* e evitar a contaminação entre tratamentos, totalizando 4200 m² de área

129 experimental (Figura 1A), seguindo as indicações propostas pela IOBC (Hassan &
130 Abdelgader, 2001).

131 Foram utilizadas quatro formulações comerciais de inseticidas (tratamentos)
132 registrados para a cultura do arroz irrigado (Brasil, 2021), previamente relatados como
133 nocivos (em condições de laboratório) sobre o parasitoide de ovos *T. pretiosum* (Pazini
134 et al. 2016) (Tabela 1). As aplicações dos inseticidas foram realizadas em período anterior
135 ao início da irrigação via inundação, quando as plantas estavam no período de
136 desenvolvimento vegetativo V₂-V₃, correspondente a formação do colar no colmo
137 principal de duas a três folhas expandidas (Counce et al. 2000).

138 Para a aplicação dos tratamentos utilizou-se um pulverizador costal pressurizado
139 a CO₂, com pressão constante mantida a 40 psi. A barra foi equipada com quatro pontas
140 XR 11002, espaçadas de 0,5 m, calibradas para aplicar um volume de calda de 200 L ha⁻¹
141 ¹. As condições ambientais médias durante a pulverização na primeira safra foram de:
142 Temperatura 29 °C; Umidade Relativa do ar 54% e velocidade do vento 2,7 km h⁻¹,
143 durante a safra dois: Temperatura 29,8 °C, umidade relativa do ar 46% e velocidade do
144 vento 3,1 km h⁻¹.

145 Decorridas 6 horas após a aplicação dos tratamentos, realizou-se a liberação
146 inundativa de *T. pretiosum*. Os insetos foram oriundos da empresa Promip – Manejo
147 Integrado de Pragas (Engenheiro Coelho, SP, Brasil), registrado como produto comercial
148 Trichomip-P. Para tanto, cartelas contendo ovos parasitados por *T. pretiosum* foram
149 distribuídas de maneira uniforme dentro da área experimental, seguindo as
150 recomendações do rótulo do fabricante (Figura 1B). Foram liberados o equivalente a
151 100.000 parasitoides/ha, seguindo as recomendações de registro para controle da lagarta-
152 do-cartucho (*S. frugiperda*) (Brasil, 2021).

153 Para a avaliação dos possíveis efeitos dos inseticidas sobre a capacidade de
154 parasitismo de *T. pretiosum*, realizou-se ofertas de ovos do hospedeiro alternativo

155 *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), provenientes de uma criação massal
156 mantida em laboratório, seguindo a metodologia descrita por Parra (1997). Para isso,
157 cartões confeccionados com papel cartolina (5,0 × 2,0 cm), com três círculos (1 cm de
158 diâmetro) contendo 250±50 ovos frescos (~12 horas) por círculo e inviabilizados de *E.*
159 *kuehniella* (Stein & Parra, 1987). Posteriormente, o papel cartolina foi colado em palitos
160 de bambu (30 cm de comprimento) e estes fixados ao solo, a uma profundidade de
161 aproximadamente 5 cm (Figura 1C). Em cada parcela experimental foram colocados oito
162 cartões contendo os ovos do hospedeiro, mediante a um caminhamento em X dentro da
163 parcela (Figura 1D). A oferta dos cartões contendo ovos do hospedeiro ocorreu aos 1, 2,
164 4 e 6 dias após a liberação (DAL) dos parasitoides, sendo que cada oferta permaneceu no
165 campo por um período de 24 horas. Posteriormente, os cartões foram retirados do campo,
166 identificados e armazenados em placas de Petri (9,0 x 1,5 cm) e levados ao laboratório,
167 sob condições controladas de: Temperatura: 25±1° C; UR: 70±10% e fotofase: 14 h, para
168 verificação do número de ovos parasitados.

169 Ressalta-se que, previamente ao início dos bioensaios, realizou-se, em área total,
170 ofertas de ovos de *E. kuehniella*, seguindo a mesma metodologia acima descrita, para
171 avaliar a presença de parasitoides ocorrendo naturalmente na área. Contudo, não foi
172 observado taxas de parasitismo, em nenhuma das duas safras, indicando a ausência do
173 controle biológico natural.

174 Os dados foram analisados com um modelo linear generalizado do tipo quase-
175 Poisson. A qualidade do ajuste do modelo foi verificada com uso de um gráfico meio
176 normal com o pacote hnp (Moral et al. 2017) do R Core Team (2020). As médias foram
177 contrastadas por meio da função glht (Hothorn et al. 2008) do programa do R Core Team
178 (2020). A redução no parasitismo em comparação a testemunha foi calculada pela
179 equação $RP (\%) = [(1 - V_t / V_c) * 100]$, em que: RP é a porcentagem de redução no

180 parasitismo; V_t é o parasitismo médio para o tratamento e V_c é o parasitismo médio da
181 testemunha.

182 Além disso, para fornecer um único resultado dos efeitos dos inseticidas sobre *T.*
183 *pretiosum* em condições de campo, que englobasse a redução de parasitismo ocasionada
184 durante as datas de avaliação, nas duas safras, um coeficiente de redução (E_x) foi
185 calculado (ver Biondi et al. 2013 para equação). Com base nos valores de E_x , os
186 inseticidas foram classificados de acordo com as normas da IOBC para condições de
187 campo (Hassan & Abdelgader, 2001) em: classe 1: inofensivo ($E_x < 25\%$); classe 2: pouco
188 tóxico ($25\% \leq E_x \leq 50\%$); classe 3: moderadamente tóxico ($51\% \leq E_x \leq 75\%$); classe 4:
189 tóxico ($E_x > 75\%$).

190

191 **3. Resultados**

192 Durante a primeira safra (2019/20), verificou-se diferença significativa entre os
193 tratamentos estudados ($F=5,3582$, $df=4, 55$, $p = 0,0002599$) (Tabela 2). Ao 1 DAL apenas
194 o inseticida tiametoxam (34 ovos parasitados) não diferiu significativamente da
195 testemunha (56,25 ovos parasitados) (Tabela 2). Os inseticidas zeta-cipermetrina (4,75
196 ovos parasitados), tiametoxam + lambda-cialotrina (8,75 ovos parasitados) e lambda-
197 cialotrina (15,50 ovos parasitados) apresentaram os menores valores de parasitismo,
198 diferindo estatisticamente da testemunha (Tabela 2). Já aos 2 e 4 DAL, as parcelas
199 tratadas com zeta-cipermetrina apresentaram os maiores índices de parasitismo, com
200 92,00 e 9,00 ovos parasitados, respectivamente, não diferindo dos tratamentos controle
201 (Tabela 2). Em contraste, nestas mesmas datas de avaliação, as parcelas em que houve a
202 aplicação da mistura de tiametoxam + lambda-cialotrina foi observado os menores índices
203 de parasitismo (45,75 e 5,50 ovos parasitados, respectivamente), sendo
204 significativamente inferiores a testemunha (Tabela 2). Aos 6 DAL, não foi verificado
205 parasitismo em nenhum dos tratamentos (Tabela 2).

206 Resultados semelhantes foram observados durante a safra 2020/21, onde
207 verificou-se diferenças significativas entre os tratamentos estudados ($F=23,442$, $df=4$, 35,
208 $p < 0,00001$) (Tabela 3). Ao 1 DAL, todos os inseticidas testados apresentaram número
209 de ovos parasitados significativamente inferior quando comparados a testemunha (Tabela
210 3). Entretanto, mesmo diferindo significativamente do tratamento controle (88 ovos
211 parasitados), o inseticida tiametoxam (51,25 ovos parasitados) foi o que obteve o maior
212 índice de parasitismo nesta data (Tabela 3). Em contraste, parcelas tratadas com lambda-
213 cialotrina ocasionaram os menores índices de parasitismo (2,75 ovos parasitados),
214 diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 3). Assim como na safra 1,
215 aos 2 DAL, zeta-cipermetrina (109,50 ovos parasitados) não diferiu significativamente
216 do tratamento controle (118,25 ovos parasitados) (Tabela 3). Porém, nesta data, os
217 inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina e tiametoxam ocasionaram os menores
218 números de ovos parasitados, com 48,50 e 57,50, respectivamente (Tabela 3). Em adição,
219 aos 4 e 6 DAL não foi verificado parasitismo (Tabela 3). Vale ressaltar que, nos dois anos
220 de experimento, a oferta aos 2 DAL foi que a obteve as maiores taxas de parasitismo de
221 *T. pretiosum* e que, após os 4 DAL o parasitismo na área é reduzido a zero (Tabelas 2 e
222 3).

223 Os coeficientes de redução (E_x) para tiametoxam, zeta cipermetrina e lambda-
224 cialotrina apresentaram valores de 52,87, 55,5 e 68,59%, respectivamente, portanto foram
225 classificados segundo a IOBC como moderadamente nocivos (Classe 3) (Figura 2). Já a
226 mistura de tiametoxam + lambda-cialotrina foi classificada como nociva (Classe 4), com
227 $E_x > 75\%$ (Figura 2). Os valores de redução de parasitismo para cada inseticida nas
228 diferentes datas de avaliação são demonstrados no Material Suplementar 1.

229

230 4. Discussão

231 Aplicações de inseticidas após a emergência do arroz e antes do período de pré-
232 inundação das lavouras são consideradas práticas frequentes em arrozais irrigados no Sul
233 do Brasil para o manejo *S. frugiperda*, que é exatamente o período em que o inseto é mais
234 prejudicial à cultura (Rakes et al., 2017; Reunião, 2018). Assim como, é considerado o
235 período em que ocorrem as liberações inundativas e/ou com a maior densidade
236 populacional natural dos parasitoides nas áreas de produção. Com entrada da água da
237 irrigação nas lavouras e após o estágio vegetativo do arroz, o ataque da lagarta-da-
238 panícula se inicia, e ocorre primeiro nas bordaduras ou taipas e nas partes mais secas da
239 lavoura (Reunião, 2018), fazendo com que o parasitoide seja eficiente em sua regulação.

240 Desse modo, para que a ocorra a integração eficiente do controle químico e
241 biológico dentro de um programa de MIP, faz-se necessário estudar a compatibilidade de
242 agrotóxicos sobre a entomofauna benéfica (Bueno et al. 2017; Carvalho et al. 2019). Até
243 o momento apenas experimentos em condições de laboratório e semi-campo foram
244 realizados para avaliar efeitos de inseticidas sobre insetos benéficos. Frente a necessidade
245 de obter informações sobre a classificação do efeito adverso de agrotóxicos sobre
246 inimigos naturais, desenvolvemos experimentos em condições de campo e comprovamos
247 os efeitos sobre o parasitismo de *T. pretiosum* após a aplicação de inseticidas utilizados
248 na cultura do arroz irrigado.

249 De acordo com os resultados encontrados, foi verificado que os inseticidas
250 tiametoxam, lambda-cialotrina e zeta cipermetrina e a mistura tiametoxam + lambda-
251 cialotrina foram classificados como moderadamente nocivos e nocivo, após promoverem
252 redução na taxa de parasitismo de adultos de *T. pretiosum* quando liberados de forma
253 inundativa no campo. Esses inseticidas já foram relatados apresentando elevada
254 toxicidade sobre *T. pretiosum*, ocasionando 100% de redução de parasitismo quando
255 comparados ao tratamento controle em condições de laboratório (Pazini et al. 2016).

256 Ainda, Stefanello Júnior et al. (2012) demonstraram que lambda-cialotrina e a mistura de
257 tiametoxam + lambda-cialotrina apresentaram persistência biológica sobre adultos de *T.*
258 *pretiosum*, ocasionando efeitos significativos por um período superior a 30 dias, quando
259 avaliados sobre folhas de milho em condições de semi-campo.

260 Estes compostos possuem ação neurotóxica sobre insetos e, através dos impulsos
261 nervosos, atuam nos mecanismos de transmissão sináptica e na neurotransmissão axonal
262 modulando os canais de sódio (Casida & Durkin, 2013; Sparks & Nauen, 2015). Uma vez
263 que o mecanismo de impulsos no sistema nervoso é semelhante em diferentes ordens de
264 insetos, os inseticidas neurotóxicos geralmente são classificados como compostos menos
265 seletivos aos inimigos naturais (Amarasekare et al. 2016). Em situação de campo, mesmo
266 que classificados como moderadamente nocivos (lamba-cialotrina, tiametoxam e zeta-
267 cipermetrina) e nocivo (tiametoxam+lambda-cialotrina) os índices de toxicidade
268 encontrados foram inferiores a aqueles descritos em laboratório. A menor toxicidade em
269 situação de campo pode estar associada a uma maior degradação dos compostos mediante
270 a ação das condições climáticas (por exemplo – temperatura e radiação solar), assim
271 como, relacionados a aplicação do produto, dosagem e metabolismo vegetal (Jacobsen et
272 al. 2015).

273 Além disso, os insetos podem reduzir a oviposição quando em contato com plantas
274 contaminadas com agrotóxicos (Fernandes et al. 2010), já que os inseticidas podem
275 ocasionar efeitos repelentes mediante “irritações” pela ação no sistema nervoso central
276 ou periférico fazendo com que, devido a chance de escolha os indivíduos evitem essas
277 áreas (Longley & Jepson, 1996; Fernandes et al. 2010; Pazini et al. 2017; Paiva et al.
278 2018). Fato não observado em bioensaios de seletividade em laboratório, onde os
279 inimigos naturais são submetidos a condições extremas, ou seja, com o máximo contato
280 aos agrotóxicos e sem chance de escolha e/ou fuga das áreas de contaminação (Hassan et
281 al. 2000).

282 Ao verificarem um possível efeito repelente Paiva et al. (2018) concluíram que
283 inseticidas a base de lambda-cialotrina e tiametoxam, assim como a mistura formulada
284 (tiametoxam + lambda-cialotrina) reduziram significativamente o número de ovos
285 parasitados por *T. pretiosum* em laboratório. Ainda, esses autores concluíram que o
286 parasitismo foi menor para lambda-cialotrina do que para a mistura formulada, indicando
287 que o composto pertencente a classe dos piretroides é o maior responsável pelo efeito
288 repelente. Este fato pode estar relacionado a efeitos causados na orientação olfativa,
289 resultando na menor capacidade de encontrar seus hospedeiros (Desneux et al. 2007).
290 Com base em nossos resultados, o efeito deletério da mistura de pronto uso de tiametoxam
291 + lambda-cialotrina foi maior, logo em nossas condições há a possibilidade da ocorrência
292 de sinergismo.

293 Ainda é válido ressaltar que, em liberações inundativas, seguindo as
294 recomendações do rótulo do fabricante, *T. pretiosum* é colocado no campo em sua fase
295 de pupa, pouco antes do início da emergência (Brasil, 2021). Logo, considerando que
296 após a emergência (aproximadamente até 24 horas de idade) há a necessidade de cópula
297 (Pratissoli et al. 2004), explicamos os maiores valores de parasitismo encontrados aos 2
298 DAL e, de forma geral, na segunda safra, na qual os insetos foram liberados em estágio
299 mais avançado. Em adição a isso, parasitoides adultos podem migrar e inclusive aumentar
300 em número em áreas de refúgio, onde os inseticidas não são pulverizados (Schellhorn et
301 al. 2008). Esse fator pode estar relacionado a não ocorrência do parasitismo após aos 4
302 DAL no presente estudo, visto que, no cultivo do arroz, onde os parasitoides foram
303 liberados, não ocorria a presença de flores para a alimentação destes, corroborando com
304 as recomendações do fabricante da necessidade de uma segunda liberação três dias após
305 a primeira.

306 Para fins de utilização em um programa de MIP, as informações obtidas nesse
307 trabalho apresentam-se como uma etapa de extrema importância e pioneira na

308 identificação da compatibilidade de agrotóxicos a inimigos naturais em condições de
309 campo. Assim sendo, concluímos que para *T. pretiosum*, os inseticidas lambda-cialotrina,
310 tiametoxam e zeta-cipermetrina são moderadamente nocivos; e tiametoxam + lambda-
311 cialotrina é nocivo, logo, não devem ser priorizados considerando que não atendem aos
312 preceitos do MIP, visto que, devem ser preferidos os agrotóxicos que se classificaram
313 como inócuos ou levemente nocivos. Ainda, seguindo as recomendações da IOBC,
314 concluímos que a toxicidade destes produtos em condições de campo não é
315 expressivamente menor do quando testados em laboratório ou semi-campo.

316

317

318 **Referências**

319

320 Amarasekare, K.G., Shearer, P.W., Mills, N.J. (2016). Testing the selectivity of pesticides
321 effects on natural enemies in laboratory bioassays. *Biological Control*, 102, 7-16.

322 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.015>

323

324 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) Agrofit.

325 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acessado em 03
326 [janeiro2021](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

327

328 Biondi, A., Zappalà, L., Stark, J.D., Desneux, N. (2013). Do biopesticides affect the
329 demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal
330 effects?. *PLoS One*, 8, e76548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076548>

331

332 Bueno, R.C.O.D.F., Bueno, A.d.F., Parra, J.R.P., Vieira, S.S., Oliveira, L.J.D. (2010).

333 Biological characteristics and parasitism capacity of *Trichogramma pretiosum* Riley

334 (Hymenoptera, Trichogrammatidae) on eggs of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)
335 (Lepidoptera, Noctuidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 54, 322-327.

336 <https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000200016>

337

338 Bueno, A.d.F., Sosa-Gómez, D.R., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F., Bueno, R.C.O.F.
339 (2012). Inimigos naturais das pragas da soja. In: Hoffmann-campo CB, Corrêa-Merreira
340 BS, Moscardi F (Eds.), *Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*.
341 Embrapa, Brasília, pp. 493-630

342

343 Bueno, A.d.F., Carvalho, G.A., Santos, A.C.D., Sosa-Gómez, D.R., Silva, D.M.D.
344 (2017). Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research
345 and field recommendation. *Ciência Rural*, 47, e20160829 <https://doi.org/10.1590/0103->

346 [8478cr20160829](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160829)

347

348 Bueno, A.d.F., Braz, É.C., Favetti, B.M., França-Neto, J.d.B., Silva, G.V. (2020). Release
349 of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug,
350 *Euschistus heros*, in soybean production. *Crop Protection*, 137, 105310.

351 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105310>

352

353 Busato, G.R., Grützmacher, A.D., Garcia, M.S., Giolo, F.P., Martins, A.F. (2002).
354 Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera:
355 Noctuidae) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho
356 e do arroz irrigado. *Neotropical Entomology*, 31, 525-529.

357 <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000400003>

358

359 Candolfi, M.P., Blümel, S., Forster, R., Bakker, F.M., Grimm, C., Hassan, S.A.,
360 Heimbach, U., Mead-Briggs, M.A., Reber, B., Schmuck, R., Vogt, H. (2000). *Guidelines*
361 *to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods.*
362 *International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and*
363 *Weeds*, West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS), Gent.

364

365 Carvalho, G.A., Grützmacher, A.D., Passos, L.C., Oliveira, R.L. (2019).
366 Physiological and ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects.
367 In: Souza B, Vázquez L, Marucci R (Eds.) *Natural enemies of insect pests in*
368 *neotropical agroecosystems*. Springer, Cham, pp 469-478.

369

370 Casida, J.E., Durkin, K.A. (2013). Neuroactive insecticides: targets, selectivity,
371 resistance, and secondary effects. *Annual review of entomology*, 58, 99-117.
372 <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>

373

374 CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira:
375 grãos, v.8 - safra 2020/21, 4º levantamento, janeiro 2021. Brasília: Conab. Disponível
376 em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

377

378 Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchell, A. (2000). A uniform, objective, and adaptive
379 system for expressing rice development. *Crop Science*, 40, 436-443.

380 <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>

381

382 Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M. (2007). The sublethal effects of pesticides
383 on beneficial arthropods. *Annual review of entomology*, 52, 81-106.

384 <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>

385

386 FAO/STAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics
387 division. Food and agricultural commodities production/Countries by commodity, Rome,

388 Italy, 2020. Disponível em:

389 http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity Acesso em: 18 nov.
390 2020.

391

392 Fernandes, F.L., Bacci, L., Fernandes, M.S. (2010). Impact and selectivity of insecticides
393 to predators and parasitoids. *EntomoBrasilis*, 3, 1-10.

394

395 Foerster, M.R., Marchioro, C.A., Foerster, L.A. (2015). How *Trichogramma* survives
396 during soybean offseason in Southern Brazil and the implications for its success as a
397 biocontrol agent. *BioControl*, 60, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9616-5>

398

399 Giolo, F. P., Grützmacher, A. D., Manzoni, C. G., Fachinello, J. C., Grützmacher, D.
400 D., & Nörnberg, S. D. (2008). Persistência de agrotóxicos indicados na produção
401 integrada de pêssigo a *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera:
402 Trichogrammatidae). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30, 122-126.
403 <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000100023>

404

405 Hassan, S.A., Halsall, N., Gray, A.P., Kuehner, C., Moll, M., Bakker, F.M., Roembke, J.,
406 Yousef, A., Nasr, F., Abdelgader, H. (2000) A laboratory method to evaluate the side
407 effects of plant protection products on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym.,
408 Trichogrammatidae). In: Candolfi, M.P., Blümel, S., Forster, R., Bakker, F.M., Grimm,
409 C., Hassan, S.A., Heimbach, U., Mead-Briggs, M.A., Reber, B., Schmuck, R., Vogt, H.

410 (Eds.). *Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target*
411 *arthropods*. Gent: IOBC/WPRS. pp 107-119.

412

413 Hassan, S. A., Abdelgader, H. A sequential testing program to assess the effects of
414 pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae).
415 *IOBC/WPRS Bulletin*, 24, 71-81, 2001.

416

417 Heinrichs, E.A., Muniappan, R. (2017). IPM for tropical crops: rice. *CAB Reviews*, 12,
418 30, 1-30, 2017.

419

420 Hothorn, T., Bretz, F., Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric
421 models. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, 50, 346-
422 363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>

423

424 Jacobsen, R.E., Fantke, P., Trapp, S. (2015). Analysing half-lives for pesticide dissipation
425 in plants. *SAR QSAR Environmental Research*, 26, 325-342.

426 <https://doi.org/10.1080/1062936X.2015.1034772>

427

428 Longley, M., Jepson, P.C. (1996). Effects of honeydew and insecticide residues on the
429 distribution of foraging aphid parasitoids under glasshouse and field conditions.
430 *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 81, 189-198.

431

432 Moral, R.A., Hinde, J., Demétrio, C.G.B. (2017). half-normal plots and overdispersed
433 models in R: The hnp Package. *Journal of Statistical Software*, 81, 1-23.

434 <https://doi.org/10.18637/jss.v081.i10>

435

- 436 Nörnberg, S. D., Grützmacher, A. D., Kovaleski, A., Finatto, J. A., & Paschoal, M. D. F.
437 (2011). Persistência de agrotóxicos utilizados na produção integrada de maçã a
438 *Trichogramma pretiosum*. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 305-313.
439 <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000200011>
440
- 441 Paiva, A.C.R., Beloti, V.H., Yamamoto, P.T. (2018). Sublethal effects of insecticides
442 used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ecotoxicology*, 27, 448-456
443 <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1909-5>
444
- 445 Parra, J.R.P. Técnicas de criação de *Anagasta kuehniella*, hospedeiro alternativo para
446 produção de *Trichogramma*. In: Parra, J.R.P.; Zucchi, R.A. (Eds.). *Trichogramma e o*
447 *controle biológico aplicado*. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.121-150.
448
- 449 Parra, J.R.P. (2019). Controle Biológico na Agricultura Brasileira. *Entomological*
450 *Communications*, 1, ec01002. <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec0100>
451
- 452 Parra, J.R.P., Coelho, A. (2019). Applied biological control in Brazil: from laboratory
453 assays to field application. *Journal of Insect Science*, 19, 1-6.
454 <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey112>
455
- 456 Pasini, R. A., Grützmacher, A. D., Spagnol, D., Zantedeschi, R., & Friedrich, F. F. (2017).
457 Persistence of desiccant herbicides applied to transgenic maize on *Trichogramma*
458 *pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Revista Ciência*
459 *Agronômica*, 48, 175-181. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170020>
460

- 461 Pazini, J.B., Pasini, R.A., Seidel, E.J., Rakes, M., Martins, J.F.S., Grützmacher, A.D.,
462 (2017). Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi*
463 Ashmead (Hymenoptera: Platygastridae). *Ecotoxicology*, 26, 782-791.
464 <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1809-0>
465
- 466 Pazini, J.B., Grützmacher, A.D., Martins, J.F.S., Pasini, R.A., Rakes, M. (2016).
467 Selectivity of pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma*
468 *pretiosum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46, 327-335. [https://doi.org/10.1590/1983-](https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640844)
469 [40632016v4640844](https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640844)
470
- 471 Pratisoli, D., Zanuncio, J.C., Vianna, U.R., Andrade, J.S., Guimarães, E.D., Espindula,
472 M.C. (2004). Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma acacioi*
473 on eggs of *Anagasta kuehniella* at different temperatures. *Pesquisa Agropecuária*
474 *Brasileira*, 39, 193-196. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200014>
475
- 476 Rakes, M., Grützmacher, A.D., Pazini, J.B., Pasini, R.A., Schaedler, C.E. (2017).
477 Physicochemical compatibility of agrochemical mixtures in spray tanks for paddy field
478 rice crops. *Planta Daninha*, 35, e017165185, [https://doi.org/10.1590/s0100-](https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100090)
479 [83582017350100090](https://doi.org/10.1590/s0100-83582017350100090).
480
- 481 Rakes, M., Pasini, R.A., Morais, M.C., Araújo, M.B., Pazini, J.B., Seidel, E.J., Bernardi,
482 D., Grützmacher, A.D. (2020). Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma*
483 *pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest
484 Management. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111504,
485 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111504>.
486

- 487 R Development Core Team, 2020. R: a language and environment for statistical
488 computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Online: [http://www.r-](http://www.r-project.org/)
489 [project.org/](http://www.r-project.org/)
490
- 491 Reunião Técnica Da Cultura do Arroz Irrigado. (2018). Farroupilha. *Arroz irrigado:*
492 recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Cachoeirinha: SOSBAI (32)
493 209 p.
494
- 495 Rio Grande Do Sul. Estado inaugura Biofábrica em Montenegro. (2014). Disponível em:
496 <https://estado.rs.gov.br/estado-inaugura-biofabrica-em-montenegro>. Acesso em: 10 jan.
497 [2021](https://estado.rs.gov.br/estado-inaugura-biofabrica-em-montenegro)
498
- 499 Schellhorn, N. A., Bellati, J., Paull, C. A., & Maratos, L. (2008). Parasitoid and moth
500 movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology*, 9, 691-700.
501 <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.12.010>
502
- 503 Sparks, T.C., Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide
504 resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 121, 122-128.
505 <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
506
- 507 Stein, C. P., Parra, J. R. P. (1987). Uso da radiação ultravioleta para inviabilizar ovos de
508 *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. *Anais da*
509 *Sociedade Entomológica do Brasil*, 16, 229-233.
510
- 511 Stefanello Júnior, G. J., Grutzmacher, A. D., Spagnol, D., Pasini, R. A., Bonez, C., &
512 Moreira, D. C. (2012). Persistência de agrotóxicos utilizados na cultura do milho ao

- 513 parasitoide *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae).
514 *Ciência Rural*, 42, 17-23. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000100004>
515
516 Torres, J.B., Bueno, A.D.F. (2018). Conservation biological control using selective
517 insecticides—a valuable tool for IPM. *Biological Control*, 126, 53-64.
518 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>

519 **Tabela 1.** Inseticidas registrados para cultura do arroz, testados quanto aos seus efeitos
 520 sobre o parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em condição de campo.

Ingrediente ativo	Grupo químico (IRAC MoA)	Nome comercial	D.C. ¹
zeta-cipermetrina	Piretroide (3A)	Mustang 350 EC	40
tiametoxam+lambda- cialotrina	Neonicotinoide (4A) + Piretroide (3A)	Engeo Pleno	250
tiametoxam	Neonicotinoide (4A)	Actara	150
lambda-cialotrina	Piretroide (3A)	Karate Zeon 50 CS	150

521 ¹D.C. = Dosagem da formulação comercial (g ou mL. ha⁻¹).

522 **Tabela 2.** Parasitismo (número de ovos parasitados) de *Trichogramma pretiosum* quando
 523 insetos adultos foram contaminados com inseticidas registrados para cultura do arroz
 524 irrigado, em condições de campo, durante a safra 2019/20.

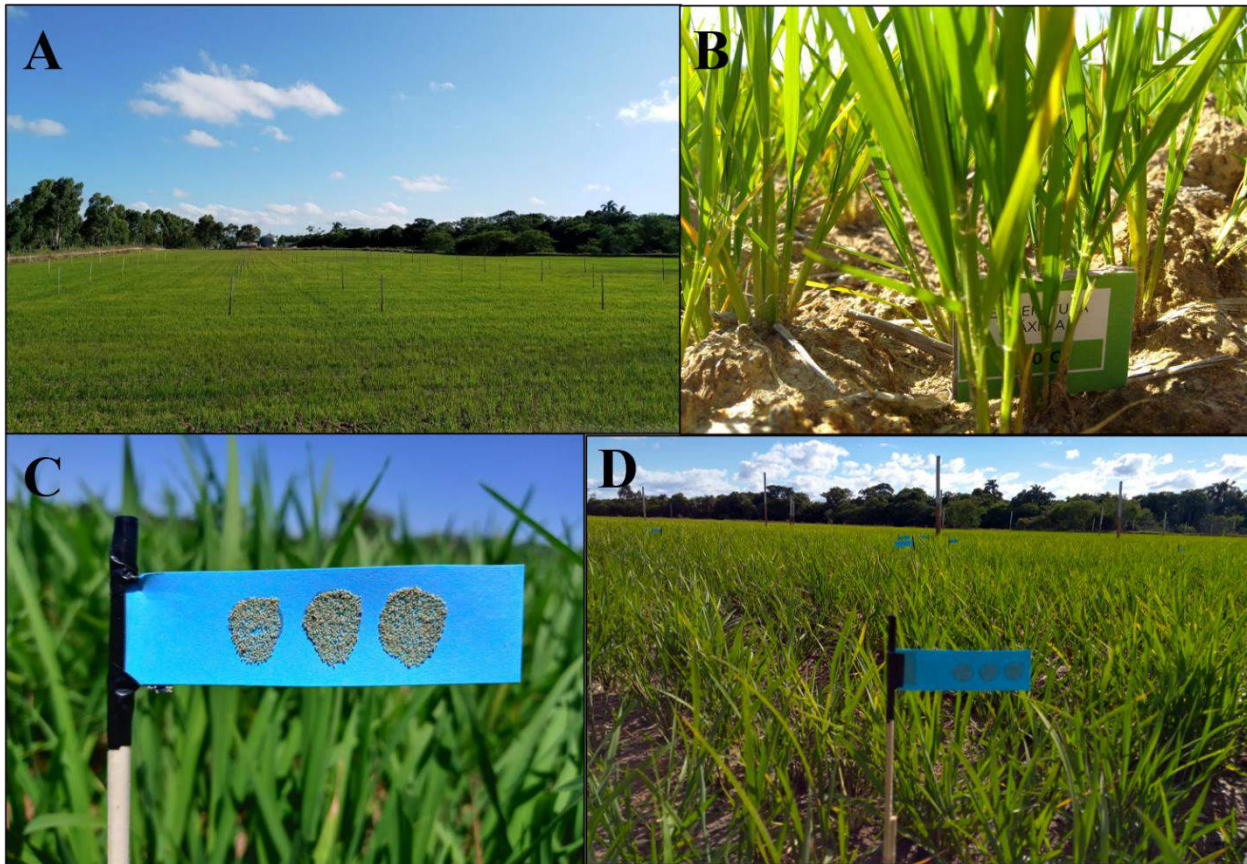
Tratamento	Dias Após a Liberação (DAL)			
	1	2	4	6
	Parasitismo ($\bar{x} \pm SE$)			
zeta-cipermetrina	4,75±2,92c	92,00±11,65ab	9,00±3,51ab	0,00±0,00
tiametoxam + lambda-cialotrina	8,75±2,05c	45,75±5,72c	5,50±3,88b	0,00±0,00
tiametoxam	34,00±11,03ab	63,00±12,36bc	4,00±2,61b	0,00±0,00
lambda-cialotrina	15,50±8,39bc	69,50±11,67bc	4,25±3,32b	0,00±0,00
Controle	56,25±10,29a	107,75±22,19a	40,75±10,92a	0,00±0,00

525 *Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pela função glht ($p < 0,01$).

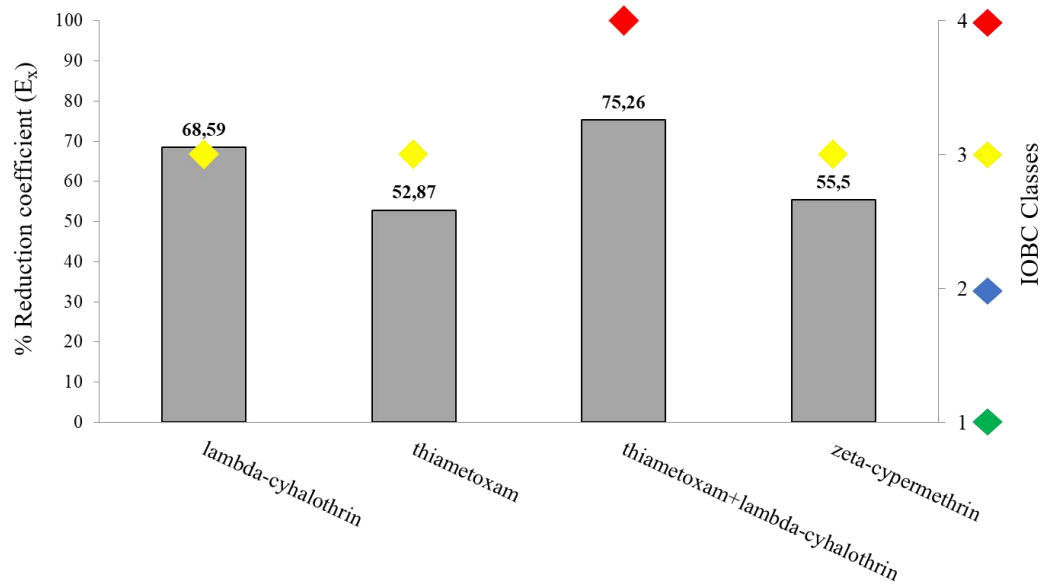
526 **Tabela 3.** Parasitismo (número de ovos parasitados) de *Trichogramma pretiosum* quando
 527 insetos adultos foram contaminados com inseticidas registrados para cultura do arroz irrigado,
 528 em condições de campo, durante a safra 2020/21.

Tratamento	Dias Após a Liberação (DAL)			
	1	2	4	6
	Parasitismo ($\bar{x} \pm SE$)			
zeta-cipermetrina	12,25±3,42c	109,50±10,53a	0,00±0,00	0,00±0,00
tiametoxam + lambda-cialotrina	17,25±3,83c	48,50±11,37c	0,00±0,00	0,00±0,00
tiametoxam	51,25±4,87b	57,50±6,99bc	0,00±0,00	0,00±0,00
lambda-cialotrina	2,75±2,13d	60,75±9,88b	0,00±0,00	0,00±0,00
Controle	88,00±10,55a	118,25±14,41a	0,00±0,00	0,00±0,00

529 *Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pela função glht ($p < 0,01$).



530 **Figura 1.** Detalhes do bioensaio em condições de campo com o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum*. (A) Área experimental implementada
531 com a cultura do arroz irrigado e detalhe da demarcação das parcelas; (B) Cartelas contendo os parasitoides utilizados na liberação inundativa no
532 interior de cada parcela; (C) Cartão contendo ovos do hospedeiro alternativo *Ephestia kuehniella* no interior da parcela; (D) Disposição dos cartões
533 na parcela experimental na parcela experimental.



534

535 **Figura 2.** Coeficiente de redução (E_x) ocasionado pela contaminação de adultos de
 536 *Trichogramma pretiosum* por inseticidas registrados na cultura do arroz irrigado.

537 *Classes IOBC: classe 1: inofensivo ($E_x < 25\%$); classe 2: pouco tóxico ($25\% \leq E_x \leq 50\%$);

538 classe 3: moderadamente tóxico ($51\% \leq E_x \leq 75\%$); classe 4: tóxico ($E_x > 75\%$).

539 **Material Suplementar 1.** Reduções de parasitismo (%) ocasionadas pela contaminação
 540 de *Trichogramma pretiosum* por inseticidas registrados na cultura do arroz irrigado,
 541 durante experimentos realizados nas safras 2019/20 e 2020/21.

Tratamento	Dias Após a Liberação (DAL)			
	1	2	4	6
Redução de Parasitismo (%)				
Safra 2019/20				
zeta-cipermetrina	91,55	14,61	77,91	-
tiametoxam + lambda-cialotrina	84,44	57,54	86,50	-
thiametoxam	39,55	41,53	90,18	-
lambda-cialotrina	72,44	35,49	89,57	-
Controle	-	-	-	-
Safra 2020/21				
zeta-cipermetrina	86,07	7,39	-	-
tiametoxam + lambda-cialotrina	80,39	67,44	-	-
thiametoxam	41,76	51,37	-	-
lambda-cialotrina	96,87	48,62	-	-
Controle	-	-	-	-

542

5. Conclusões

Para os agrotóxicos (ingrediente ativo) avaliados e nas condições em que foram realizados os bioensaios, conclui-se que:

No bioensaio em condições de laboratório, combinando os efeitos da temperatura a agrotóxicos sobre *T. podisi*:

- Quanto à toxicidade aguda, em insetos adultos o tempo letal para causar 10 e 50% (TL₁₀ e TL₅₀) de mortalidade foi significativamente menor para acefato, clorfenapir, espinosade e tiametoxam+lambdaciotalrina, conforme a temperatura aumentou de 15 para 30 °C. Ao contrário do que ocorreu para metoxifenoze+espinetoram, onde os menores TL foram encontrados a 15 °C.

- Ainda para a fase adulta, acefato, espinosade e tiametoxam+lambdaciotalrinha ocasionaram 100% de mortalidade acumulada independente da temperatura de exposição. Para clorfenapir a mortalidade de *T. podisi* foi acrescida em >60% conforme a temperatura subiu de 15 para 30 °C. Metoxifenoze+espinetoram ocasionaram mortalidades superiores a 80 e 35% a 15 e 30 °C, respectivamente. Clorantraniliprole se mostrou inócuo em todas as temperaturas avaliadas.

- No que diz respeito aos efeitos subletais das gerações consecutivas, apenas metoxifenoze+espinetoram (nas três temperaturas avaliadas) e clorfenapir (apenas a 30 °C) ocasionaram efeitos superiores a 30% na redução de parasitismo (RP) e emergência (RE).

- Quando a fase de pupa de *T. podisi* foi contaminada com as combinações de tratamentos, tiametoxam+lambdaciotalrina ocasionaram RE superiores a 90% em todas as temperaturas. Espinosade e metoxifenoze+espinetoram ocasionaram efeitos superiores a 30% somente

quando expostos a 30 °C, já acefato esses efeitos foram observados a partir de 25 °C.

Nos bioensaios em condições de semi-campo, através do efeito residual agrupado pelo coeficiente de redução (E_x) sobre *T. podisi* e pela determinação da persistência foliar:

- O fungicida azoxistrobina, foi classificado como inócuo em todas as datas de avaliação, mostrando-se seguro a *T. podisi*. Já o herbicida a base de cialofope-butílico mostrou-se como levemente nocivo até os 5 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT). O inseticida tiametoxam foi nocivo até os 5 DAAT sobre o parasitoide, este efeito foi reduzido até os 10 DAAT, sendo levemente nocivo, na maior concentração testada.

- Quanto aos resíduos, as concentrações iniciais (0 DAAT) de azoxistrobina, cialofope-butílico e tiametoxam quando aplicados na máxima concentração recomendada (100% MFRC) em folhas de arroz foram de 102,14, 210,09 e 36,93 mg kg⁻¹, respectivamente. Quando aplicados em 50% MFRC, os resíduos iniciais estavam a aproximadamente metade dos extraídos na 100% MFRC.

- Os tempos de meia-vida estimados (DT_{50}) sobre folhas de arroz foram de aproximadamente 17, 4 e 5 dias para azoxistrobina, cialofope-butílico e tiametoxam, respectivamente.

- Por fim, verificamos uma correlação positiva entre os efeitos causados sobre *T. podisi* (coeficiente de redução - E_x) e os resíduos extraídos e, que para cialofope-butílico e tiametoxam, concentrações foliares abaixo de 120 e 6 mg.kg⁻¹, respectivamente, não causam efeitos significativos aos insetos.

Nos bioensaios em condições de campo, liberando *T. pretiosum* de forma inundativa:

- Aos 2 DAL, foram verificadas as maiores taxas de parasitismo e, a partir dos 4 DAL o parasitismo se reduz a zero.

- Os inseticidas lambda-cialotrina, tiametoxam e zeta cipermetrina foram classificados segundo a IOBC como moderadamente nocivos (Classe 3) e, tiametoxam + lambda-cialotrina foi classificado como nocivo (Classe 4), logo não devem ser priorizados dentro de um programa de MIP aliando o controle químico ao biológico.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Agrofit. Disponível em:

http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 05 fev. 2020.

BUENO, A.d.F. et al. Inimigos naturais das pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B., CORRÊA-FERREIRA, B.S., MOSCARDI, F. (Eds.), **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga**. Embrapa, Brasília, 2012, p. 493-630.

BUENO, A.d.F. et al. Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural**, v. 47, n. e20160829, 2017.

CARVALHO, G.A., et al. Physiological and ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects. In: SOUZA, B.; VÁZQUEZ, L.; MARUCCI, R. (Eds.) **Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems**. Springer, Cham, 2019, p. 469-478.

COELHO JUNIOR, A.; PARRA, J.R.P. Effect of carbon dioxide (CO₂) on mortality and reproduction of *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879), in mass rearing, aiming at the production of *Trichogramma spp.* **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, p. 823-831, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v.8 - safra 2020/21, 4º levantamento, janeiro 2021. Brasília: Conab. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

CONCENÇÃO, G. et al. **Manejo da soja em terras baixas para alta produtividade**. Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E). Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218062/1/CIRCULAR-207.pdf> Acesso em 10 jan. 2021.

DEAN, R., et al. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v.13, p. 414–430, 2012.

FOERSTER, M.R.; MARCHIORO, C.A.; FOERSTER, L.A. How *Trichogramma* survives during soybean offseason in Southern Brazil and the implications for its success as a biocontrol agent. **BioControl**, v. 60, p. 1-11, 2015.

FORESTI, J. et al. Comportamento de oviposição de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho semente e simulação de controle. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v. 12, p. 78-84, 2013.

GASTAL, M. F. C. et al. Rotação e sucessão de culturas em áreas e várzea. In: GOMES, A. S.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**, Brasília, DF. Embrapa/MAPA, p.799-829, 2004

GODOY, K.B. et al. Parasitismo em ovos de percevejos da soja *Euschistus heros* (Fabricius) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae) em São Gabriel do Oeste, MS. **Ciência Rural**, v.35, p.455-458, 2005.

HEINRICHS, E. A.; MUNIAPPAN, R. IPM for tropical crops: rice. **CAB Reviews**, v. 12, n. 30, p. 1-30, 2017.

HIROOKA, T.; ISHII, H. Chemical control of plant diseases. **Journal of General Plant Pathology**, v. 79, p. 390-401, 2013

IDALGO, T.D.N. et al. Parasitismo de ovos de *Tibraca limbativentris* Stal (Hemiptera: Pentatomidae) em lavoura de arroz irrigado, Eldorado do Sul, RS. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.80, n.4, p.453-456, 2013.

LOU, Y.G. et al. Biological control of rice insect pests in China. **Biological Control**, v.6, p.8-20, 2013.

MARCHESI, C.; CHAUHAN, B.S. The efficacy of chemical options to control *Echinochloa crus-galli* in dry-seeded rice under alternative irrigation management and field layout. **Crop Protection**, v. 118, p. 72-78, 2019.

MARTINS, J.F. da S. et. al. **Situação do manejo integrado de insetos-praga na cultura do arroz no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 290).

MENEZES, V.G. et al. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. **Planta daninha**, v. 27, p. 1047-1052, 2009.

MORALES, S.I. et al. Foliar persistence and residual activity of four insecticides of different mode of action on the predator *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae). **Chemosphere**, v. 235, p. 76-83, 2019.

PACHECO, D.J.P.; CORRÊA-FERREIRA, B.S. Parasitismo de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae) em populações de percevejos pragas da soja. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, p.295-302, 2000.

PANIZZI, A.R. History and contemporary perspectives of the Integrated Pest Management of soybean in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 42, p. 119-127, 2013.

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

PARRA, J.R.P. Controle Biológico na Agricultura Brasileira. **Entomological Communications**, v. 1, p. ec01002, 2019.

PARRA, J.R.P.; COELHO JÚNIOR, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, p. 1-6, 2019.

PAZINI, J.B. et al. Selectivity of pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, p. 327-335, 2016.

PAZINI, J.B. et al. Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae). **Ecotoxicology**, v. 26, p. 782-791, 2017.

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

QUERINO, R.B.; ZUCCHI, R. A. Annotated checklist and illustrated key to the species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from South America. **Zootaxa**, v. 4656, n.2, p. 201-231, 2019.

RAKES, M. et al. Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest Management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111504, 2020.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 32., 2018, Farroupilha. **Arroz irrigado**: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2018. 205p.

RIO GRANDE DO SUL. Estado inaugura Biofábrica em Montenegro, 2014. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/estado-inaugura-biofabrica-em-montenegro>. Acesso em: 10 jan. 2021

SIQUEIRA, J.R. et al. Host preference of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1-5, 2012.

SOSA-GÓMEZ, D.R., et al. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. 3. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 100p. (Embrapa Soja. Documentos, 269).

SOUZA, B.; VÁZQUEZ, L.; MARUCCI, R. **Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems**, Springer: Cham, 2019, 536 p.

TORRES, J.B., BUENO, A.d.F. Conservation biological control using selective insecticides—a valuable tool for IPM. **Biological Control**, v. 126, p. 53-64, 2018.

VAN DRIESCHE, R. et al. **Control of pests and weeds by natural enemies**. Ames: Blackwell Publishing, 2008. 484 p.

VEDELAGO, A. et al. **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul**: Boletim Técnico nº 12. Cachoeirinha: Starprodutora, 2012, 48 p.

VERNETTI JÚNIOR et al. Sucessão de culturas de várzea implantadas nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 15, p. 37-42, 2009.

ZACHRISSON, B.; MARTINEZ, O. Bioecologia de *Telenomus podisi* (Ashmead) y *Trissolcus basalís* (Wollaston) (Himenoptera: Scelionidae), parasitoides oófagos de *Oebalus insularis* (Kulghast) (Heteroptera: Pentatomidae). **Tecnociencia**, v. 13, p. 65-76, 2011.

ZANTEDESCHI, R. et al. Selectivity of pesticides registered for soybean crop on *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalís*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 52-58, 2018a.

ZANTEDESCHI, R. et al. Toxicity of soybean-registered agrochemicals to *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalís* immature stages. **Phytoparasitica**, v. 46, p. 203-212, 2018b.