

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: do laboratório ao campo**

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

Matheus Rakes

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

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 01/03/2021

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 Moraes, 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 (DT_{50}) 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 <i>Telenomus podisi</i> em diferentes temperaturas.....	49
Tabela 2. Tempo letal (TL ₁₀ e TL ₅₀) de diferentes inseticidas registrados para a cultura da soja para indivíduos adultos de <i>Telenomus podisi</i> , sob diferentes temperaturas.	50
Tabela 3. Efeitos subletais sobre o parasitismo (geração F ₀), quando insetos adultos de <i>Telenomus podisi</i> foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.....	51
Tabela 4. Efeitos subletais sobre a emergência (geração F ₁), quando insetos adultos de <i>Telenomus podisi</i> 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 F ₁), quando insetos adultos de <i>Telenomus podisi</i> foram expostos à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.	53
Tabela 6. Efeitos sobre a emergência quando pupas de <i>Telenomus podisi</i> 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 <i>Telenomus podisi</i>	92
Tabela 2. Mortalidade de adultos de <i>Telenomus podisi</i> 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 F ₀) de <i>Telenomus podisi</i>	94
Tabela 4. Efeitos subletais de agrotóxicos utilizados em arroz irrigado, sobre a emergência e razão sexual (geração F ₁) de <i>Telenomus podisi</i>	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 <i>Telenomus podisi</i> , 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 consequentemente 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. limbiventris* (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)

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

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

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

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

Autor correspondente:

Matheus Rakes,
Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), 96010-900, Pelotas,
Rio Grande do Sul, Brasil.
e-mail: matheusrakes@hotmail.com

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

Palavras-chave: Manejo Integrado de Pragas; Controle Químico; Controle Biológico; Mudanças climáticas; Seletividade.

1. Introdução

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Materiais e métodos

2.1. Insetos

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

2.2. Inseticidas

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

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

2.3. Bioensaios

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

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

2.3.1. Bioensaios sobre adultos de *T. podisi*

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

2.3.2.1. Efeitos letais (toxicidade aguda)

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

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

2.3.2.2. Efeitos subletais

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

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

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

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

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

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

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

2.4. Análise estatística e classificação da toxicidade

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

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

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

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

3. Resultados

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

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

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

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

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

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

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

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

Quanto aos efeitos causados na proporção de machos e fêmeas originados (geração F₁), clorraniliprole, clorfenapir e metoxifenozone+espinetoram não ocasionaram efeitos significativos em nenhuma das temperaturas avaliadas (15 °C: kw= 0,96958; df= 3, 76; 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) (Tabela 5).

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

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

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

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

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

4. Discussão

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Referências

- Abbes K, Biondi A, Kurtulus A, Ricupero M, Russo A, Siscaro G, Chermiti B, Zappalà, L, 2015. Combined non-target effects of insecticide and high temperature on the parasitoid *Bracon nigricans*. PloS ONE, 10, e0138411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138411>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) Agrofit. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acessado em 03 janeiro2021.
- Biondi A, Mommaerts V, Smagghe G, Vinuela E, Zappala L, Desneux N, 2012. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. Pest Manag. Sci, 68, 1523-1536. <https://doi.org/10.1002/ps.3396>
- Brugger KE, Cole PG, Newman IC, Parker N, Scholz B, Suvagia P, Walker G, Hammond TG, 2010. Selectivity of chlorantraniliprole to parasitoid wasps. Pest Manag. Sci., 66, 1075-1081. <https://doi.org/10.1002/ps.19773>
- Bueno AdF, Braz ÉC, Favetti BM, França-Neto JdB, Silva GV, 2020. Release of the egg parasitoid *Telenomus podisi* to manage the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros*, in soybean production. Crop Protec., 137, 105310. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105310>
- Candolfi MP, Blümel S. Forster R, Bakker FM, Grimm C, Hassan SA, Heimbach U, Mead-Briggs MA, Reber B, Schmuck R, Vogt H, 2000. Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods. International Organization for Biological and

Integrated Control of Noxious Animals and Weeds, West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS), Gent.

Carvalho GA, Grützmacher AD, Passos LC, Oliveira RL, 2019. 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, pp 469-478.

Casida JE, Durkin KA, 2013. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 99-117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>

Chapman RF, Simpson SJ, Douglas A. The insects structure and function, 2013. Fifth edition. Cambridge University Press, New York USA.

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: 26 jan. 2021.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>

FAO, 2021. FAOSTAT [www document]. URL www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize

- 496 Farias PM, Klein JT, Sant'Ana J, Redaelli LR, Grazia J, 2012. First records of *Glyphepomis*
497 *adroguensis* (Hemiptera, Pentatomidae) and its parasitoid, *Telenomus podisi* (Hymenoptera,
498 Platygastridae), 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

Hannig GT, Ziegler M, Marçon PG, 2009. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. Pest Manag. Sci., 65, 969-974.
<https://doi.org/10.1002/ps.1781>

Harwood AD, You J, Lydy MJ, 2009. Temperature as a toxicity identification evaluation tool for pyrethroid insecticides: toxicokinetic confirmation. Environ. Toxicol. Chem. 28, 1051-1058. <https://doi.org/10.1897/08-291.1>

Hassan SA, Halsall N, Gray AP, Kuehner C, Moll M, Bakker FM, Roembke J, Yousef A, Nasr F, Abdelgader H, (2000) A laboratory method to evaluate the side effects of plant protection products on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). In: Candolfi MP, Blümel S. Forster R, Bakker FM, Grimm C, Hassan SA, Heimbach U, Mead-Briggs MA, Reber B, Schmuck R, Vogt H (Eds.). Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods. Gent: IOBC/WPRS. pp 107-119.

Holmstrup M, Bindesbol AM, Oostingh GJ, Duschl A, Scheil V, Kohler HR, Loureiro S, Soares AMVM, Ferreira ALG, Kienle C, Gerhardt A, Laskowski R, Kramarz PE, Bayley M, Svedsen C, Spurgeon DJ, 2010. Interactions between effects of environmental chemicals and natural stressors: A review. Sci Total Environ 408, 3746-3762,
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.067>

Karl TR, Trenberth KE, 2003. Modern global climate change. Sci, 302, 1719-1723.
<https://doi.org/10.1126/science.1090228>

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

- 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: Platygasteridae) 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 Platygasteridae). 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.: Platygasteridae). 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, Bevilacqua 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, Moraes 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, Zironi Filho DM, 2018. Impact of
651 insecticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera:
652 Platygasteridae). *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 basal*. *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 basal* 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
tiametoxam + lambda- cialotrina	Neonicotinoides (4A) + Piretroides (3A)	Engeo Pleno	250
espinosade	Espinosinas (5)	Tracer	60
metoxifenozone + espinetoram	Diacilhidrazinas (18) + Espinosinas (5)	Intrepid Edge	200
clorfenapir	Pirroles (13)	Pirate	1200
clorantraniliprole	Diamidas (28)	Premio	150
acefato	Organofosforados (1B)	Orthene	1000

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

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.

Inseticidas	Inclinação ± SE	TL ₁₀ (IC 95%) ^a	TL ₅₀ (IC 95%) ^a	χ ² b (d.f.) ^c
15 °C				
tiametoxam + lambda-cialotrina	3,98 ± 0,23	0,10 (0,08 – 0,15)	0,64 (0,61 – 0,69)	9,78 (4)
espinosade	3,76 ± 0,45	2,1 (1,9 – 2,2)	4,8 (4,5 – 5,1)	7,11 (8)
metoxifenozone + espinetoram	3,10 ± 0,19	2,3 (2,0 – 2,5)	11,2 (10,3 – 11,8)	4,20 (7)
clorfenapir	-	-	-	-
clorantraniliprole	-	-	-	-
acefato	3,44 ± 0,17	2,1 (1,8 – 2,4)	5,3 (4,8 – 5,7)	4,12 (8)
25 °C				
tiametoxam + lambda-cialotrina	-	-	-	-
espinosade	3,05 ± 0,21	1,1 (0,9 – 1,3)	1,9 (1,7 – 2,2)	9,4 (6)
metoxifenozone + espinetoram	2,45 ± 0,33	6,7 (6,4 – 6,9)	-	8,1 (6)
clorfenapir	2,98 ± 0,40	5,4 (4,9 – 5,7)	24,6 (21,3 – 27,8)	6,7 (5)
clorantraniliprole	-	-	-	-
acefato	3,54 ± 0,12	0,8 (0,6 – 1,0)	1,2 (1,0 – 1,4)	5,7 (6)
30 °C				
tiametoxam + lambda-cialotrina	-	-	-	-
espinosade	4,01 ± 0,24	1,2 (1,1 – 1,4)	1,9 (1,4 – 2,2)	4,3 (8)
metoxifenozone + espinetoram	2,43 ± 0,10	6,2 (5,9 – 6,5)	-	6,8 (7)
clorfenapir	3,14 ± 0,10	4,3 (3,9 – 4,9)	26,5 (24,2 – 28,6)	8,1 (9)
clorantraniliprole	-	-	-	-
acefato	3,71 ± 0,29	0,5 (0,4 – 0,9)	1,3 (1,1 – 1,4)	7,8 (5)

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

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.

Tratamento	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
metoxifenozone + espinetoram	6,90±0,97 b	53,22	2	9,10±1,08 b	45,67	2	9,05±0,62 c	46,29	2
clorfenapir	12,55±1,01 a	1,35	1	12,45±1,21 ab	25,67	1	10,55±1,36 bc	37,38	2
clorantraniliprole	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		
gl	3, 76			3, 76			3, 76		
p-valor	< 0.0000001			= 0.0002432			< 0.0000001		

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 de Bonferroni). * Número médio de ovos parasitados (P) em cada tratamento. #Porcentagem de redução de parasitismo (PR) em comparação ao controle; ¹Classes IOBC: 1- inócuo (PR<30%), 2- levemente nocivo (30%≤ PR≤79%), 3- moderadamente nocivo (80%≤ PR≤99%), 4- nocivo (PR>99%).

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.

Tratamento	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
metoxifenozone + espinetoram	4,70±0,95 b	53,92	2	7,10±1,03 b	43,20	2	6,40±0,44 b	44,10	2
clorfenapir	9,05±0,90 a	11,27	1	8,90±0,96 ab	28,80	1	7,60±1,09 ab	33,62	2
clorantraniliprole	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		
gl	3, 76			3, 76			3, 76		
p-valor	= 0,00028218			= 0,002091			= 0,001429		

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 de Bonferroni). * Número médio de parasitóides emergidos (E) em cada tratamento. #Percentagem de redução de emergência (ER) em comparação ao controle. ¹ Classes IOBC: 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.

Tratamento	Temperaturas		
	15 °C	25 °C	30 °C
Razão sexual ($\bar{x} \pm SE$)			
metoxifenozone + espinetoram	0,89±0,03 ^{ns}	0,85±0,02 ^{ns}	0,81±0,02 ^{ns}
clorfenapir	0,88±0,02	0,87±0,02	0,76±0,06
clorantraniliprole	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
gl	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.

Tratamento	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
tiametoxam + lambda-cialotrina	2,00±0,89c	93,15	3	3,00±0,70d	90,38	3	1,00±0,44e	96,42	3
espinosade	22,60±2,54ab	22,60	1	26,00±1,22b	16,67	1	9,60±0,92d	65,71	2
metoxifenozone + espinetoram	20,80±0,96b	28,77	1	22,20±1,01bc	28,85	1	14,80±2,33cd	47,14	2
clorfenapir	22,80±2,22ab	21,92	1	24,60±1,12bc	21,15	1	22,20±1,06b	20,71	1
clorantianiliprole	20,80±1,24b	28,77	1	24,00±0,89bc	23,08	1	20,00±1,09bc	28,57	1
acefato	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		
gl	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%≤ER≤79%), 3- moderadamente nocivo (80%≤ER≤99%), 4- nocivo (ER>99%).

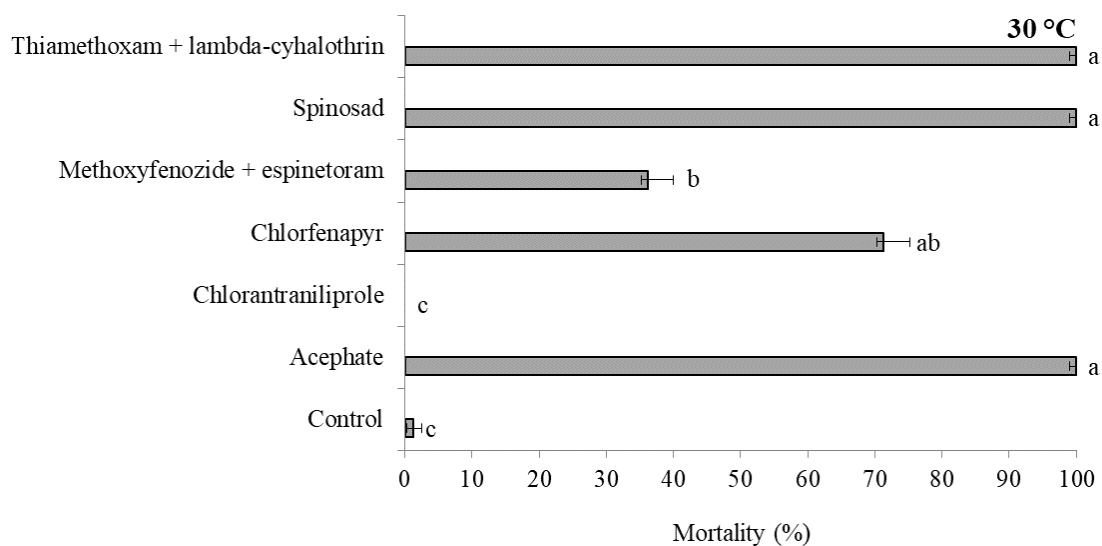
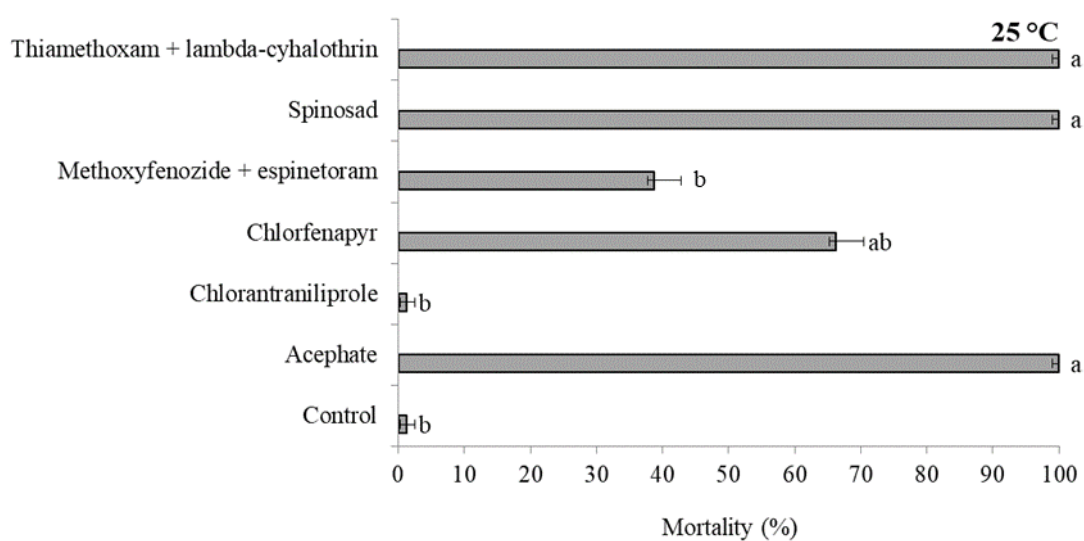
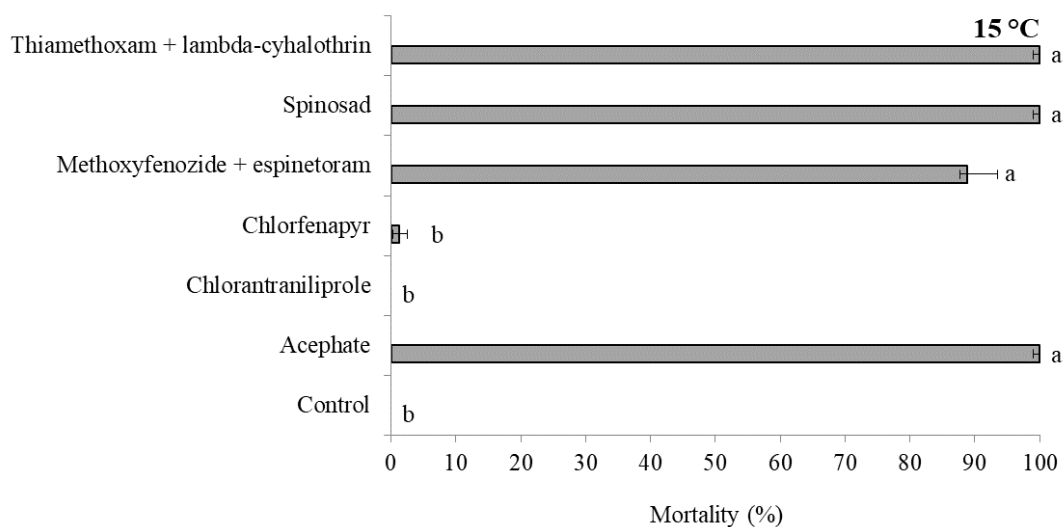


Figura 1. Mortalidade de adultos de *Telenomus podisi* quando expostos a inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas.

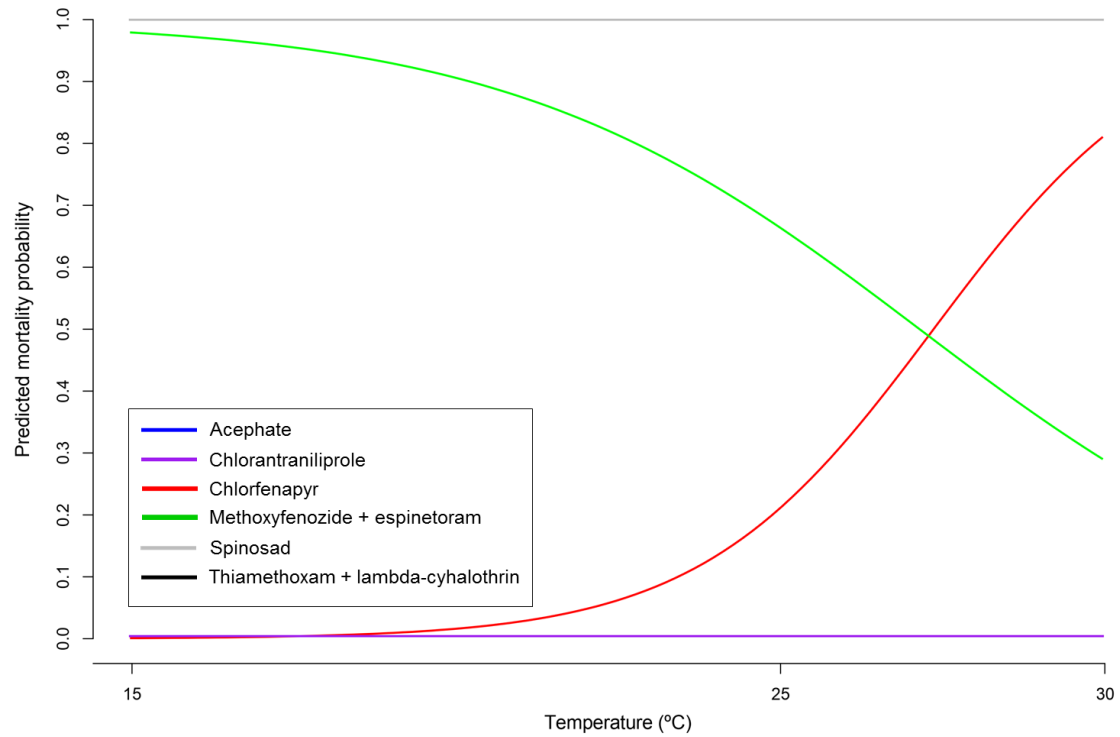


Figura 2. Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase adulta de *Telenomus podisi* foi exposta a inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25 e 30 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).

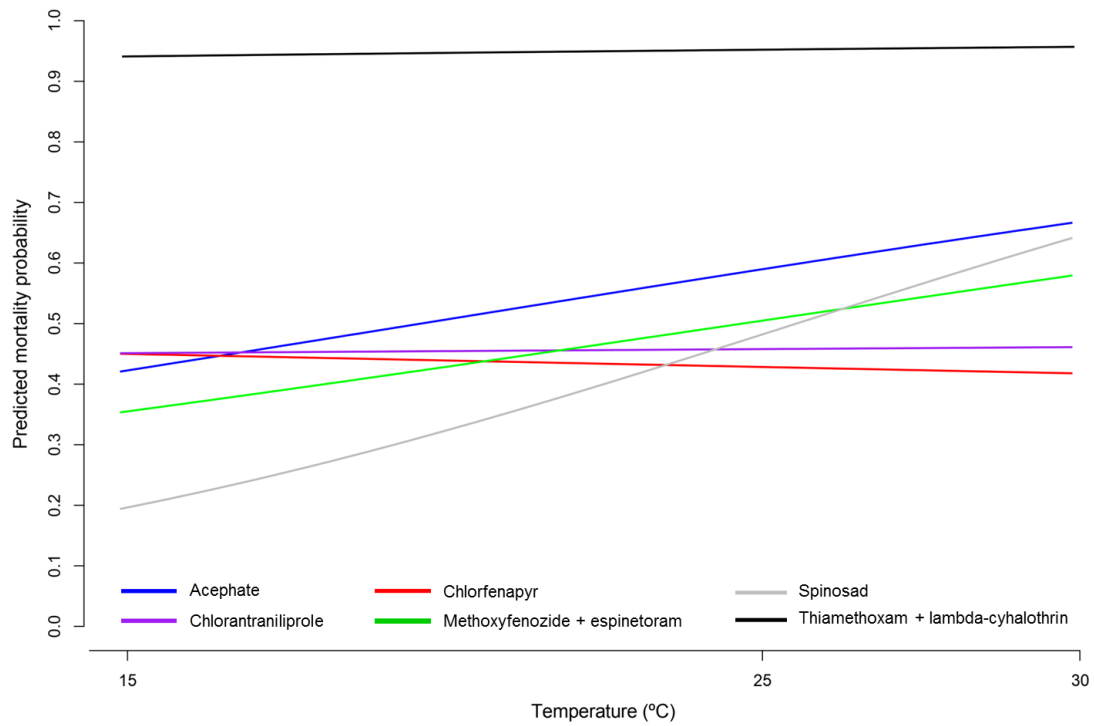


Figura 3. Probabilidade de mortalidade prevista quando a fase de pupa de *Telenomus podisi* foi exposta à inseticidas registrados para a cultura da soja, em diferentes temperaturas (15, 25 e 30 °C) (modelo logístico misto com interceptação aleatória).

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)

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

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

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

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

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

Autor correspondente:

Matheus Rakes,

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

e-mail: matheusrakes@hotmail.com

Fone: +55 54 99924-9838

ORCID:

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

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

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

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

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

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

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

Resumo

Objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos letais e subletais de azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam após pulverização em plantas de arroz, em casa de vegetação, sobre o parasitoide de ovos *Telenomus podisi*, bem como a cinética de degradação desses compostos ao longo do tempo. Para isso, os agrotóxicos foram pulverizados em 50 e 100% da concentração máxima registrada para a cultura (MFRC). Aos 0, 5, 10 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT), *T. podisi* foi exposto a folhas contendo resíduos secos dos pesticidas. Nestas mesmas datas, folhas de arroz de cada tratamento foram coletadas e armazenadas para posterior determinação dos resíduos dos pesticidas empregando UHPLC–MS/MS. Com base nos resultados de mortalidade, parasitismo, emergência e razão sexual de *T. podisi*, os efeitos foram agrupados através de um coeficiente de redução (E_x) e classificados de acordo com a escala da International Organization for Biological and Integrated Control (IOBC). O fungicida azoxystrobin (na 50 e 100% MFRC) foi o único classificado como inócuo (Classe 1) em todas as datas de avaliação, para *T. podisi*. O herbicida cyhalofop-butyl, foi classificado como levemente nocivo (Classe 2) à *T. podisi* até os 5 DAAT. Já o inseticida thiametoxam (na 50 e 100% MFRC), até os 5 DAAT foi classificado como nocivo (Classe 4) sobre *T. podisi*, enquanto aos 10 DAAT, sua dose máxima foi enquadrada na classe 2. Quanto aos resíduos, as concentrações iniciais (0 DAAT) de azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam na 100% MFRC em folhas de arroz foram de 102,14, 210,09 e 36,93 mg kg⁻¹, respectivamente. Em 50% MFRC, os resíduos iniciais estavam a aproximadamente metade dos extraídos na 100% MFRC. Os tempos de meia-vida estimados (DT₅₀) foram de aproximadamente 17, 4 e 5 dias para azoxystrobin, cyhalofop-butyl e thiametoxam, respectivamente. Ainda, ao correlacionar os valores de E_x e os resíduos extraídos, verificou-se uma correlação positiva entre estes fatores. Por fim, esses resultados são informações úteis para o sucesso do Manejo Integrado de Pragas (MIP), uma vez que tal conhecimento possibilita a integração do controle químico ao biológico.

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

1.Introdução

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Material e métodos

2.1. Material vegetal e condições ambientais

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

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

2.2. Insetos

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

2.3. Agrotóxicos

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

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

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

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

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

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

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

individualmente para tubos de vidro não contaminados para a determinação dos efeitos residuais subletais (taxa de ovos parasitados pelas fêmeas (geração F_0), taxa de emergência e razão sexual dos parasitoides (geração F_1).

2.5. Extração e determinação dos resíduos de pesticidas

2.5.1. Amostragem foliar

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

2.5.2. Reagentes e padrões

Acetonitrila (MeCN), ácido fórmico, formiato de amônio, sulfato de magnésio anidro (MgSO_4) and cloreto de sódio (NaCl), todos de grau analítico, foram obtidos na J. T. Baker (Phillipsburg, NJ, USA). Os padrões sólidos de thiametoxam, azoxystrobin e cyhalofop-butyl foram obtidos da LGC Standards (Augsburg, Germany), com a maior pureza disponível. As soluções padrões estoque individuais a 1000 mg L^{-1} e uma mistura de trabalho intermediária a 10 mg L^{-1} foram preparadas em acetonitrila e armazenadas a -18°C .

2.5.3. Preparação de amostra

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

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

2.5.4. Análise UHPLC-MS/MS

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

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

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

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

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

2.5.5. Validação do método

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

2.6. Análise de dados e classificação da toxicidade

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M = M_0 e^{-kt}$$

Em que, M é a quantidade total do ingrediente ativo no tempo t; M_0 é a quantidade total do ingrediente ativo presente no tempo $t=0$ e; k é a taxa de degradação relativa. Os tempos de meia-vida de cada concentração dos compostos foram calculados com a seguinte equação:

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

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

3. Resultados

3.1. Efeitos residuais sobre *T. podisi*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. Quantificação de resíduos dos pesticidas nas folhas

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

A concentração dos resíduos presentes nas folhas de arroz reduziu para todos os agrotóxicos após a aplicação com o passar do tempo (Figura 1). O fungicida formulado a base de azoxystrobin apresentou concentrações iniciais (0 DAAT) de $102,14 \text{ mg kg}^{-1}$ quando 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 reduziram de forma regular até $46,10$ e $22,47 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, nos resíduos de 20 DAAT (Figura 1A).

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Discussão

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Referências

- Amarasekare, K.G., Shearer, P.W., Mills, N.J., 2016. Testing the selectivity of pesticides effects on natural enemies in laboratory bioassays. *Biol. Control*, 102, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.015>
- Andres, A., Freitas, G.D., Concenço, G., Melo, P.T.B.S., Ferreira, F.A., 2007. Desempenho do 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/safras>>. 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., Loíacono, 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 basalis* (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

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

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

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

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

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

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

- 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. 2ª 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

Torres, J.B., Bueno, A.D.F., 2018. Conservation biological control using selective insecticides—
a valuable tool for IPM. Biol. Control, 126, 53-64.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>

Turchen, L.M., Golin, V., Butnariu, A.R., Guedes, R.N., Pereira, M.J., 2015. Lethal and
sublethal effects of insecticides on the egg parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera:
Platygastridae). J. Econ. Entomol. 109, 84-92. <https://doi.org/10.1093/jee/fov273>

Viera, M.S., Rizzetti, T.M., de Souza, M.P., Martins, M.L., Prestes, O.D., Adaime, M.B.,
Zanella, R., 2017. Multiresidue determination of pesticides in crop plants by the quick, easy,
cheap, effective, rugged, and safe method and ultra-high-performance liquid chromatography
tandem mass spectrometry using a calibration based on a single level standard addition in the
sample. J. Chromatogr. A, 1526, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.10.048>

Wang, H.Y., Yang, Y., Su, J.Y., Shen, J.L., Gao, C.F., Zhu, Y.C., 2008. Assessment of the
impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Pang et Wang) (Hymenoptera: Mymanidae),
an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). Crop
Prot., 27, 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.08.004>

Wang, X., Xiang, Z., Yan, X., Sun, H., Li, Y., Pan, C., 2013. Dissipation rate and residual fate
of thiamethoxam in tobacco leaves and soil exposed to field treatments. B. Environ. Contam.
Tox., 91, 246-250. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1043-2>

- 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	azoxistrobina (25)	Fungicida Estrobilurina	250,00	500,00
Clincher	cialofope-butílico (18)	Herbicida Aryloxyphenoxy propionato	1968,75	3937,50
Actara 250WG	tiametoxam (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 ($\bar{x} \pm SE$)			
Azoxistrobina	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
Cihalofope- butílico	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
Tiametoxam	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	-
gl		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(%) [#]
Azoxistrobina	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
Cihalofop- butílico	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
Tiametoxam	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	
gl		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*

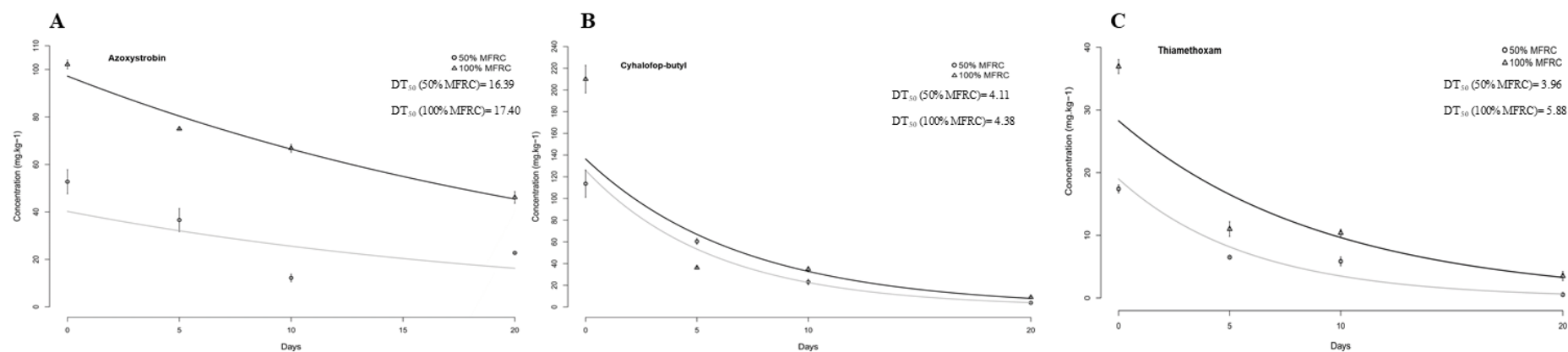
Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)											
		0 DAAT			5 DAAT			10 DAAT			20 DAAT		
		E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%) [#]	SR ¹ ±SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%) [#]	SR ¹ ± SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%) [#]	SR ¹ ± SE	E ($\bar{x} \pm SE$)*	ER(%) [#]	SR ¹ ± SE
Azoxistrobina	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
Cialofope- butílico	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
Tiametoxam	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
gl		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 ($p>0,05$).

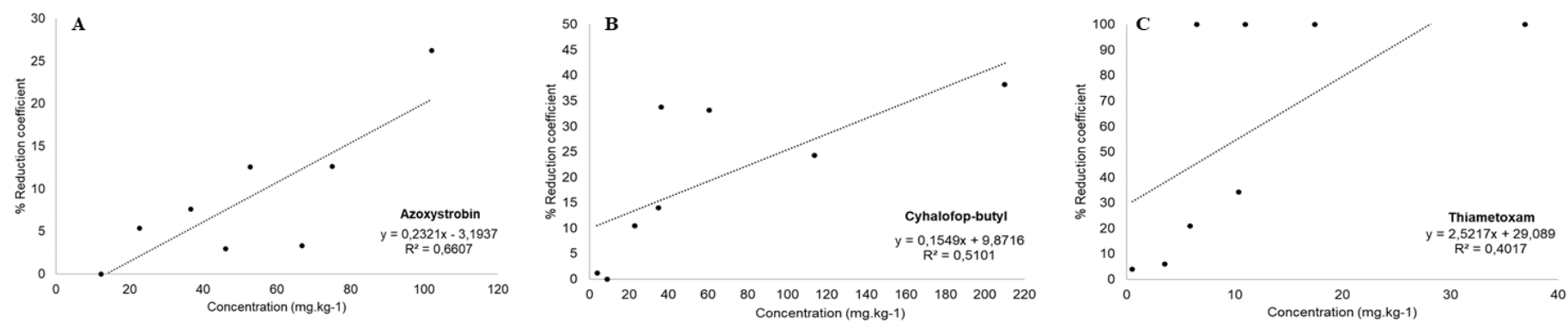
830 **Tabela 5.** Coeficiente de redução E_x estimados para os efeitos na mortalidade, parasitismo,
 831 emergência e razão sexual de agrotóxicos utilizados em arroz sobre *Telenomus podisi*, e classes
 832 de toxicidade da IOBC.

Tratamento	Concentração (mg a.i L ⁻¹)	Dias Após Aplicação dos Tratamentos (DAAT)			
		0 DAAT	5 DAAT	10 DAAT	20 DAAT
		% Coeficiente de redução <i>E_x</i> / (Classes da IOBC) [#]			
Azoxistrobina	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)
Cihalofope- butílico	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)
Tiametoxam	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) azoxystrobina, (B) cihalofope-butílico e (C) tiametoxam) 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) azoxistrobina, (B)
 840 cihalofope-butílico 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)

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

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

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

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

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

Autor correspondente:

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

e-mail: matheusrakes@hotmail.com

Fone: +55 54 99924-9838

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 parasitioide 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 inundativamente *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*.

1. Introdução

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

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

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

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

Apesar do controle biológico ser de elevada importância, por possibilitar a regulação das populações de artrópodes-praga, o controle químico, pela rapidez, em muitas ocasiões é essencial (Carvalho et al. 2019). Com base neste cenário, para desenvolver um programa atendendo as premissas do MIP, aliando de forma eficiente o controle biológico ao químico, o primeiro passo a ser avaliado é a seletividade dos pesticidas sobre o parasitoide (Bueno et al. 2017; Torres & Bueno, 2018; Carvalho et al. 2019). Para isso, a *International Organization for Biological and Integrated Control* (IOBC) apresenta uma metodologia sequencial padronizada que envolve 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).

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

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

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

2. Material e métodos

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

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

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

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

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

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

Além disso, para fornecer um único resultado dos efeitos dos inseticidas sobre *T. pretiosum* em condições de campo, que englobasse a redução de parasitismo ocasionada durante as datas de avaliação, nas duas safras, um coeficiente de redução (E_x) foi calculado (ver Biondi et al. 2013 para equação). Com base nos valores de E_x , os inseticidas foram classificados de acordo com as normas da IOBC para condições de campo (Hassan & Abdelgader, 2001) em: 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 ($E_x > 75\%$).

3. Resultados

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

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

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

4. Discussão

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Referências

- Amarasekare, K.G., Shearer, P.W., Mills, N.J. (2016). Testing the selectivity of pesticides effects on natural enemies in laboratory bioassays. *Biological Control*, 102, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.015>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) Agrofit. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acessado em 03 janeiro 2021.
- Biondi, A., Zappalà, L., Stark, J.D., Desneux, N. (2013). Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects?. *PLoS One*, 8, e76548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076548>
- Bueno, R.C.O.D.F., Bueno, A.d.F., Parra, J.R.P., Vieira, S.S., Oliveira, L.J.D. (2010). 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-](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160829)
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 FAOSTAT. 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 pêssgo 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
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.

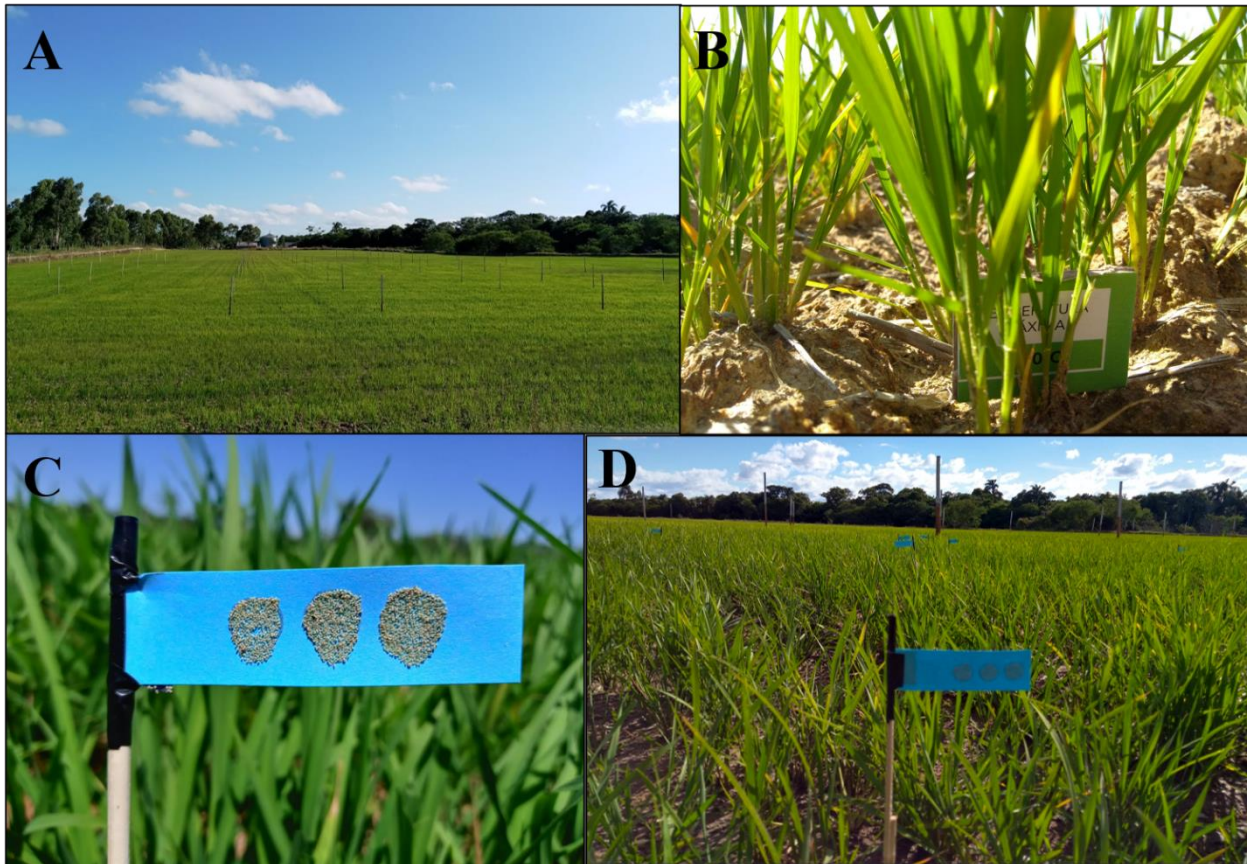
Tratamento	Dias Após a Liberação (DAL)			
	1	2	4	6
Parasitismo ($\bar{x} \pm SE$)				
zeta-cipermetrina	4,75±2,92c	92,00±11,65ab	9,00±3,51ab	0,00±0,00
tiametoxam + lambda-cialotrina	8,75±2,05c	45,75±5,72c	5,50±3,88b	0,00±0,00
tiametoxam	34,00±11,03ab	63,00±12,36bc	4,00±2,61b	0,00±0,00
lambda-cialotrina	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, na coluna, não diferem estatisticamente pela função glht ($p < 0,01$).

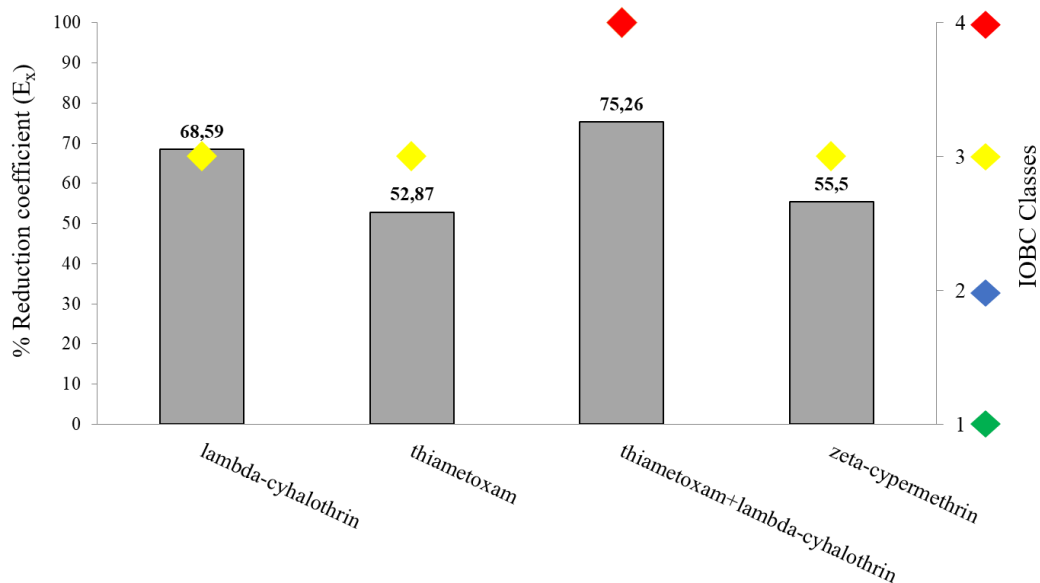
526 **Tabela 3.** Parasitismo (número de ovos parasitados) de *Trichogramma pretiosum* quando
 527 insetos adultos foram contaminados com inseticidas registrados para cultura do arroz irrigado,
 528 em condições de campo, durante a safra 2020/21.

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, na coluna. 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 *Ephesia 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 (%)				
Safr 2019/20				
zeta-cipermetrina	91,55	14,61	77,91	-
tiametoxam + lambda-cialotrina	84,44	57,54	86,50	-
tiametoxam	39,55	41,53	90,18	-
lambda-cialotrina	72,44	35,49	89,57	-
Controle	-	-	-	-
Safr 2020/21				
zeta-cipermetrina	86,07	7,39	-	-
tiametoxam + lambda-cialotrina	80,39	67,44	-	-
tiametoxam	41,76	51,37	-	-
lambda-cialotrina	96,87	48,62	-	-
Controle	-	-	-	-

542

5. Conclusões

No bioensaio em condições de laboratório (artigo 1), combinando os efeitos da temperatura a agrotóxicos sobre *T. podisi*, concluímos que, 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+lambda-cialotrina, 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. Em adição a isso, acefato, espinosade e tiametoxam+lambda-cialotrina 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. Clorantianiliprole se mostrou inócuo em todas temperaturas avaliadas.

Efeitos subletais foram observados apenas para 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). Por fim, quando a fase de pupa de *T. podisi* foi contaminada com as combinações de tratamentos, tiametoxam+lambda-cialotrina ocasionaram RE superiores a 90% em todas 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 (artigo 2), através do efeito residual agrupado pelo coeficiente de redução (E_x) sobre *T. podisi* e pela determinação da persistência foliar, verificamos que 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.

Quando os resíduos foram extraídos, 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. A partir disso, os tempos de meia-vida estimados (DT₅₀) 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 (artigo 3), liberando *T. pretiosum* de forma inundativa, constatamos que 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.

CONCENÇO, 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.