

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO CONJUNTA DOS FUNGICIDAS PIRACLOSTROBINA E METCONAZOL SOBRE O CICLO BIOLÓGICO DE UM LEPIDÓPTERO

INGRID MOREIRA FABRES¹; LARISSA PASQUALOTT²; JUAREZ ALVES³;
DANIEL BERNARDI⁴; LUIZ ERNESTO COSTA-SCHMIDT⁵; CRISTIANO AGRA
ISERHARD⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – ingrid.fabres@ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – pasqualottolarissa@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – alvesjuarez01@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – daniel.bernardi@ufpel.edu.br*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – luiz.ernesto@ufpel.edu.br*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – cristiano.agra.iserhard@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A participação brasileira no mercado global de agrotóxicos representou, em 2020, US\$ 12,1 bilhões em vendas (ROCHA; ALVAREZ, 2023), reflexo de um crescimento de 280% nas duas décadas anteriores acompanhado pela liberação recorde de novos produtos a partir de 2019. O uso desses compostos impacta organismos não-alvo, contamina solos e corpos d’água, compromete ecossistemas (terrestres e aquáticos) e reduz a biodiversidade (SANTOS, 2020; LOPES; ALBUQUERQUE, 2018; BLANCO, 2023). Neste trabalho, avaliamos os efeitos de dois fungicidas sobre um organismo modelo não-alvo: a piraclostrobina, do grupo das estrobilurinas, fungicida amplamente usado e altamente tóxico e persistente no ambiente (PRESTES; *et al.*, 2013); e o metconazol, que inibe a biossíntese de ergosterol nos fungos, sendo considerado muito perigoso ao meio ambiente.

A Ordem Lepidoptera desempenha um papel crucial como bioindicadora, refletindo a saúde e equilíbrio dos ecossistemas. Estudar suas fases iniciais de vida, enquanto larvas e pupas, é vital para compreender os efeitos dos impactos ambientais, visto que essas fases são sensíveis a mudanças nas condições do ambiente e à contaminação de seus recursos alimentares. Estressores como poluição, uso de pesticidas e alterações climáticas desafiam estes organismos em seu desenvolvimento até a vida adulta, com efeitos muitas vezes desconhecidos. Monitorar o desenvolvimento dessas etapas fornece informações importantes sobre a qualidade ambiental e possíveis ameaças aos ecossistemas, permitindo a implementação de medidas de conservação e manejo sustentável (GERLACH; SAMWAYS; PRYKE, 2013).

O objetivo do trabalho foi analisar os efeitos que o uso de fungicidas podem causar sobre os ciclos de desenvolvimento em uma espécie modelo de Lepidoptera, desde sua etapa larval até sua emergência ao final da fase de pupa, usando exemplares de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) expostos a diferentes concentrações de piraclostrobina e metconazol combinados. Nossa hipótese é que a exposição aos fungicidas afetará negativamente o desenvolvimento de *S. frugiperda*, causando mortalidade de forma dose-dependente, influenciando a latência e comprometendo a conclusão das diferentes fases do ciclo de vida, desde a fase larval até a emergência dos adultos.

2. METODOLOGIA

Spodoptera frugiperda, a lagarta-do-cartucho, é amplamente distribuída nas Américas. Sua escolha como modelo partiu de características de sua história de vida que permitissem uma abordagem experimental em laboratório: a espécie possui ciclo de vida curto e bem descrito, além de possuir protocolos de criação em laboratório já estabelecidos. Apesar de ser uma espécie de interesse econômico, nosso foco na *S. frugiperda* é por ser um lepidóptero, onde os efeitos sobre este organismo poderiam ser extrapolados para demais espécies da ordem.

A escolha dos ingredientes ativos testados se deu pela ampla utilização em culturas agrícolas convencionais, administrados através do produto comercial Opera Ultra®. Para o experimento, estabelecemos cinco tratamentos com diferentes concentrações do fungicida (12,5%, 25%, 50%, 100% e 200%) tendo como referência a dose recomendada da bula do produto (1 L/ha, contendo 130 g de piraclostrobina e 80 g de metconazol por litro), além de um controle negativo (água) e um controle positivo (inseticida Premio Star®). As dosagens do estudo foram de 2,66 µL (200%), 1,33 µL (100%), 0,66 µL (50%), 0,33 µL (25%) e 0,16 µL (12,5%) para 0,2 ml de água. As concentrações foram obtidas por diluição sucessiva, sendo o preparo adaptado da metodologia de ARAÚJO *et al.* (2024).

Criamos 112 lagartas de *S. frugiperda* por tratamento desde seu primeiro instar em condições controladas ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) no Laboratório de Biologia de Insetos (LABIO; Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia, UFPel). A exposição das lagartas ao fungicida ocorreu pela ingestão de uma dieta artificial, ao longo de 15 dias, contaminada pelo fungicida (GREENE *et al.* 1976), seguido de uma alimentação com a mesma dieta, porém não contaminada.

Todos os registros foram realizados sobre as lagartas individualizadas, mantidas em placas de bioensaio até a fase de pupa, com avaliações diárias de mortalidade e desenvolvimento. Acompanhamos as fases de larva e pupa, considerando mortas as lagartas sem movimento ou escurecidas e pupas imóveis por dez dias. Após dois dias da pupação, transferimos os indivíduos para tubos de ensaio até a emergência, quando foram anotados data de eclosão.

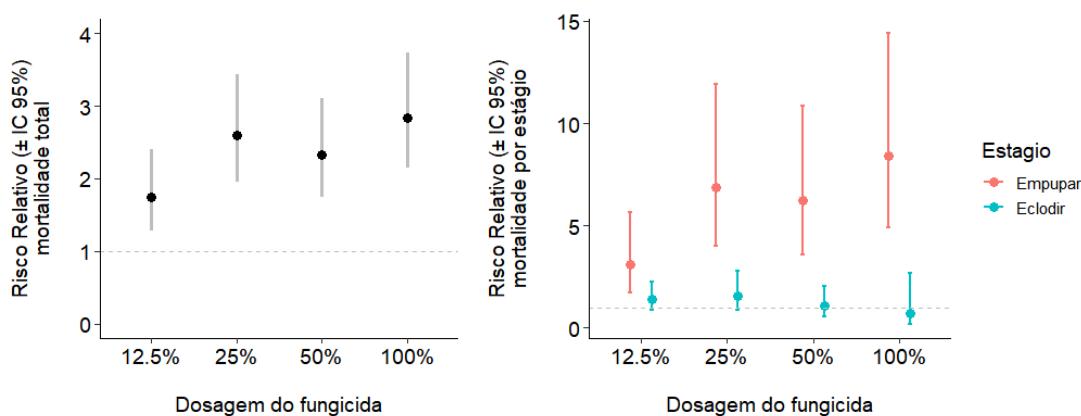
A progressão entre os estágios do ciclo de vida das lagartas nos diferentes grupos foi comparada ao controle negativo por meio do risco relativo (*relative risk* – RR), que quantifica a associação entre exposição e desfecho. Valores de RR superiores a 1 indicam maior chance de ocorrência do evento no grupo exposto. Adicionalmente, avaliamos a latência do desenvolvimento larval e pupal, expressa em dias, através de uma ANOVA de um fator (dosagem do fungicida). Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 784 indivíduos avaliados, 174 emergiram como adultos (79 fêmeas, 95 machos), onde todos os expostos à dose de 200% morreram na fase larval. A mortalidade foi diretamente proporcional à dose aplicada, mesmo na menor dose (12,5%) houve aumento significativo na mortalidade, sendo que o risco relativo foi estatisticamente similar entre todas as concentrações do fungicida (Figura 1A).

O efeito do fungicida foi mais expressivo sobre a taxa de empupamento das lagartas para todas as doses do fungicida (Figura 1B), ainda que se observe uma tendência de um efeito maior nas maiores doses do fungicida. Não foi observado efeito significativo sobre o risco relativo das lagartas emergirem de suas pupas (Figura 1B). Assim, podemos concluir que o estágio de desenvolvimento larval foi aquele que apresentou maior suscetibilidade ao fungicida.

Figura 1. Risco relativo (RR) e intervalo de 95% de confiança para os indivíduos dos grupos experimentais em relação aos indivíduos do grupo Controle. (A) Mortalidade dos indivíduos independentemente do estágio de desenvolvimento. (B) RR de não empupar: linhas e pontos vermelhos; RR de não eclodir da pupa: linhas e pontos azuis. Linha tracejada cinza: RR igual a um.



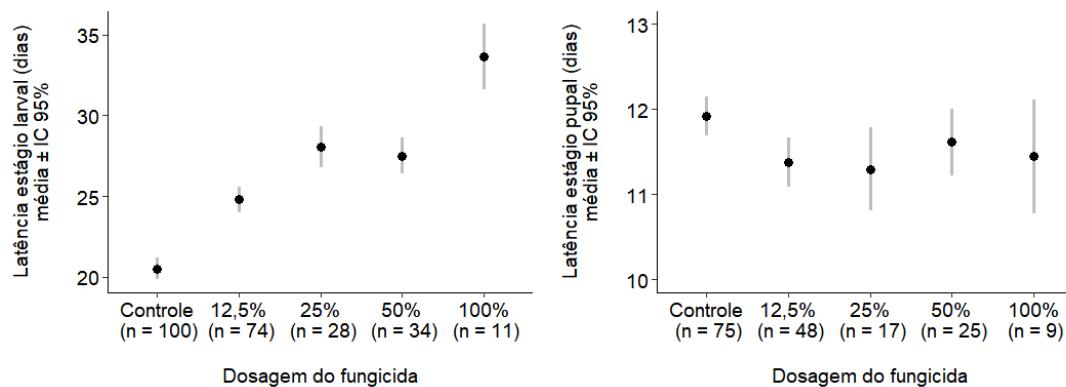
O fungicida também aumentou o tempo de desenvolvimento das lagartas (Figura 2A), confirmando seu impacto direto no ciclo de vida da espécie. Entretanto, em relação à emergência dos adultos, os efeitos estatísticos observados não correspondem a um efeito biológico no tempo de desenvolvimento das pupas, cujas flutuações estimadas ocorreram em menos de um dia de diferença (Figura 2B). Uma interpretação integrada destes resultados sugere que o impacto negativo das doses do fungicida afeta diretamente a sobrevivência dos organismos e a duração do ciclo de vida da espécie, principalmente durante o estágio larval.

Nossos resultados ressaltam os efeitos indiretos e letais de produtos químicos em ecossistemas, aqui representados pelos efeitos sobre um organismo modelo de Lepidoptera. Esse impacto na sobrevivência indica que concentrações elevadas do fungicida podem comprometer a aptidão da espécie e aumentar a vulnerabilidade a fatores naturais de mortalidade. Além disso, efeitos semelhantes podem atingir organismos não-alvo, como polinizadores e inimigos naturais, com possíveis consequências para a dinâmica populacional e os serviços ecossistêmicos (DESNEUX et al., 2007; PISA et al., 2015). Isso reforça a necessidade de adotar práticas de manejo mais sustentáveis e realizar estudos futuros que investiguem os impactos a longo prazo desses fungicidas em outras espécies e ambientes, além de avaliar alternativas mais seguras para a biodiversidade.

4. CONCLUSÕES

Concluímos que os ingredientes ativos piraclostrobina e metconazol, quando combinados, impactaram o ciclo biológico da espécie não-alvo *Spodoptera frugiperda*, causando efeitos letais e subletais, prejudicando seu desenvolvimento e, consequentemente, ameaçando sua sobrevivência.

Figura 2. Estimativas das latências de desenvolvimento dos indivíduos (em dias) e seus respectivos intervalos de 95% de confiança por categoria de dosagem do fungicida. (A) Desenvolvimento larval. (B) Desenvolvimento pupal.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, L.M.S.; et al. Eficiência de adjuvantes em calda de pulverização aplicada por pulverizador autopropelido. **Revista Campo Digital**, v.19, n 1-11, 2024.
- BLANCO, I. ¿Qué son los agroquímicos y sus consecuencias? **De Raiz Chile**, 29 jul. 2023. <https://www.deraizchile.cl/blogs/noticias/que-son-los-agroquimicos-y-sus-consecuencias>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, [s. l.], v. 52, p. 81-106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.
- GERLACH, J.; SAMWAYS, M.; PRYKE, J. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. **Journal of insect conservation**, v. 17, n. 4, p. 831–850, 2013.
- GREENE, G.L.; et al. Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium. **Journal of Economic Entomology**, v.69, n. 4, p.487–488, 1976.
- LOPES, C.V.A.; ALBUQUERQUE, G.S.C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, abr./jun. 2018. DOI: 10.1590/0103-1104201811714.
- PRESTES, E.B. et al. Avaliação da toxicidade crônica de piraclostrobin, epoxiconazol e sua mistura em *Daphnia similis*. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 8, n. 1, p. 113–117, 2013.
- PISA, L. et al. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 68-102, 2015. DOI: 10.1007/s11356-014-3471-x.
- ROCHA, R.R.O.; ALVAREZ, V.M.P. Fiscalização ambiental de agrotóxicos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 26, 2023. DOI: 10.1590/1809-4422asoc20210201r2vu2023L1AO.
- SANTOS, I.J.G. **Aspectos Genotóxicos e Cítotóxicos de Fungicidas: Uma Revisão Global**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde – GO, 2020.