

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade - PPGECEB

COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR
COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL *Polybia paulista*

Vinicius Edson Soares de Oliveira

Dourados-MS
Março de 2025

Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade

Vinicius Edson Soares de Oliveira

Como o inseticida fipronil pode impactar colônias da vespa
social *Polybia paulista*

Dissertação/Tese apresentada à Universidade Federal
da Grande Dourados (UFGD), como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM ENTOMOLOGIA E
CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE.

Área de Concentração: Biodiversidade e Conservação

Orientador(a): Prof. Dr. William Fernando Antonialli-Junior

Dourados-MS
Março de 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48c Oliveira, Vinícius Edson Soares De

COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL

Polybia paulista [recurso eletrônico] / Vinícius Edson Soares De Oliveira. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: William Fernando Antonialli-Junior.

Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Fipronil. 2. Polistinae. 3. CL50. 4. TL50. 5. Toxicidade. I. Antonialli-junior, William Fernando. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

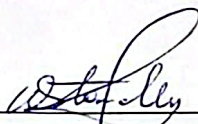
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

"COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL
Polybia paulista".

Por

VINICIUS EDSON SOARES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD),
como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM ENTOMOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
Área de Concentração: Biodiversidade e Conservação



Dr. William Fernando Antonialli Junior
Orientador/Presidente - UFGD

Dr.^a Alexeia Barufatti - UFGD
Membro titular

Dr.^a Viviana de Oliveira Torres - UFGD
Membro titular

Dissertação aprovada em: 07 de março de 2025

Biografia do Acadêmico

Vinicius Edson Soares de Oliveira, natural de Itapequerica da Serra – São Paulo, nascido no dia 06 de dezembro de 2000, Filho de Rosa Soares da Silva e Edson de Oliveira.

Cursou o ensino fundamental e o ensino médio na escola E.E. Professora Leda Felice Ferreira – Itapequerica da Serra/SP.

Graduado em Ciências Biológicas - Bacharelado pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade de Dourados 2018-2022, na qual foi aluno de iniciação científica por 4 anos (2018/2022) desenvolvendo trabalhos relacionados a ecologia comportamental e ecotoxicologia em vespas sociais.

Mestre em Entomologia e Conservação da Biodiversidade (2025).

Agradecimentos

Inicialmente quero agradecer a duas pessoas que tornaram possível a minha chegada até aqui. Ao meu parceiro de pesquisa, amigo e coorientador Dr. Nathan Rodrigues Batista, que me acompanhou desde meu primeiro contato com a entomologia e a iniciação científica dentro do Laboratório de Ecologia comportamental e que viria a me acompanhar e auxiliar até o momento em que escrevo essa dissertação, 5 anos depois. Agradeço profundamente todos os ensinamentos sobre pesquisa e sobre a vida e espero poder crescer ainda mais, profissionalmente e também para com a nossa amizade. A segunda dedicatória vai ao meu orientador Prof. Dr. William Fernando Antonialli Junior, a quem cultivo respeito e admiração profissional, foi quem possibilitou minha entrada em seu laboratório e me apresentou ao curioso mundo dos insetos sociais. Obrigado pela sua dedicação, atenção e persistência, mesmo diante da minha desistência em momentos difíceis, saiba que guardarei cada ensinamento e espero poder retribuir com muita determinação isto aos que passarem por mim. Aos dois, meu mais profundo agradecimento.

Ao Prof. Dr. Josué Raizer, que se prontificou a me ajudar na realização de análises estatísticas quando eu não pude avançar e à Profa. Dra. Viviana de Oliveira Torres que sempre disponibilizou o laboratório e sua ajuda nessa jornada.

Agradeço imensamente a minha amiga, irmã, Paula Danyelle que me ajudou em pesquisas anteriores que fundamentam a nossa pesquisa atual e que me ajuda diariamente no dia a dia com sua companhia e presença.

Ao meu querido amigo Rodrigo, que me passou sua paixão e fascínio pelo mundo da biologia, foi quem me formou antes de chegar à faculdade e fez crescer a chama que carrego no peito. Guardo todos os ensinamentos e momentos que tivemos e teremos, e espero poder ser um profissional tão bom e dedicado quanto você – minha inspiração.

Aos meus companheiros de laboratório por todo auxílio prestado durante a minha construção como pesquisador e a todos os momentos que compartilhamos.

Aos meus amigos da minha turma de pós graduação, Amanda, André, João, pelos momentos de descontração e aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal da Grande Dourados pela oportunidade.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e ao Laboratório de Ecologia Comportamental- LABECO pelo apoio técnico.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

À minha companheira, amiga e amor, Izabella, pela compreensão, empatia, tempo e dedicação a mim durante parte deste processo – te amo imensamente e te admiro.

A minha querida e amada amiga Lorena, que compartilhou parte da sua vida, casa e sonhos comigo antes e durante meu ingresso na pós-graduação, te admiro e agradeço profundamente por cada momento.

A minha família, especialmente, minha mãe Rosa, meu pai Edson e meu irmão Victor que sempre me incentivaram nesta jornada e me auxiliam, mesmo de longe, em todos os momentos – não há palavras para expressar meus sentimentos a vocês.

A todos os meus amigos de infância que carrego no peito e me acompanharam por muito tempo na minha construção como ser humano, especialmente: Lucas, Jaqueline, Cleide, Karen.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma possibilitaram a construção desta dissertação.

Sumário

COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL <i>Polybia paulista</i>	1
HOW THE INSECTICIDE FIPRONIL MAY AFFECT COLONIES OF THE SOCIAL WASP <i>Polybia paulista</i>	1
INTRODUÇÃO GERAL	2
REVISÃO BIBLIOGRAFICA	6
HISTÓRICO DOS INSETICIDAS E EVOLUÇÃO DOS FENILPIRAZOIS	6
EFEITOS SOBRE ORGANISMOS NÃO-ALVO: ABELHAS, VESPAS E OUTROS INSETOS	9
VESPAS SOCIAIS E SUA IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA	13
OBJETIVO GERAL	15
HIPÓTESES	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	16
CAPITULO 1	32
COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL <i>Polybia paulista</i>	32
RESUMO	32
INTRODUÇÃO	33
MATERIAIS E MÉTODOS	36
COLETA E MANUTENÇÃO DE COLÔNIAS DE <i>Polybia paulista</i>	36
DETERMINAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO LETAL MÉDIA (CL ₅₀)	36
ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA E TEMPO MÉDIO LETAL (TL ₅₀)	38
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	39
RESULTADOS	39
DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO LETAL MÉDIA (CL ₅₀)	40
ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA E TEMPO MÉDIO LETAL (TL ₅₀)	40
DISCUSSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	45

COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL *Polybia paulista*

RESUMO GERAL

Os fenilpirazóis (fipronil), são um grupo de inseticidas muito utilizados para o manejo de insetos considerados pragas agrícolas, devido a uma neurotóxica e efeito sistêmico no corpo vegetal, contudo, não existem estudos investigando as consequências de seu uso sobre as colônias de vespas sociais. As vespas sociais são predadoras generalistas, sendo importantes no controle biológico, para o controle de insetos considerados pragas agrícolas além de também realizarem serviços de polinização, podendo superar as abelhas em relação a abundância e riqueza de espécies como visitantes florais as abelhas. Contudo, ao visitarem e consumirem recursos florais, acabam expostas a inseticidas utilizados nos cultivos, entrando nas mesmas rotas de contaminação que as abelhas. O objetivo deste estudo foi identificar a concentração letal média e avaliar os efeitos da exposição a concentrações subletais em forrageadoras da vespa social *Polybia paulista* ao inseticida fipronil na sua sobrevivência. Para a obtenção da concentração letal média (CL₅₀) as vespas foram expostas a diferentes concentrações de fipronil, e a CL₅₀ obtida foi utilizada posteriormente como referência para a obtenção das concentrações subletais. Para a análise de sobrevivência, grupos de vespas controle e grupos de vespas expostas as concentrações subletais foram monitoradas até a morte e, em seguida foi calculado o tempo letal médio (TL₅₀). A CL₅₀, após 24 horas, foi de 0.890 ng i.a./ µL, (~890 ppb). As vespas que foram expostas a qualquer uma das concentrações subletais sobrevivem por um tempo significativamente menor que as vespas do grupo controle. Portanto, concluímos que a exposição ao fipronil afeta a sobrevivência de forrageadoras de *P. paulista*, tão quanto o inseticida neonicotinoide tiametoxam e que vespas sociais podem ser, tão quanto ou mais, susceptíveis a contaminação por fipronil do que outros insetos não alvo, comumente estudados.

Palavras-Chave: Fipronil; Polistinae; CL₅₀; TL₅₀; Toxicidade.

HOW THE INSECTICIDE FIPRONIL MAY AFFECT COLONIES OF THE SOCIAL WASP *Polybia paulista*

GENERAL ABSTRACT

Phenylpyrazoles (fipronil) are a group of insecticides widely used for managing insects considered agricultural pests, due to their neurotoxic action and systemic effects on plants. However, there are no studies investigating the consequences of their use on social wasp colonies. Social wasps are generalist predators and play an important role in biological

control of pest insects. In addition, they provide pollination services and may even surpass bees in both abundance and species richness as floral visitors. However, by visiting and consuming floral resources, they are also exposed to insecticides used in crops, thereby entering the same contamination pathways as bees. The objective of this study was to identify the median lethal concentration and evaluate the effects of exposure to sublethal concentrations on the survival of foragers of the social wasp *Polybia paulista* to the insecticide fipronil. To obtain the median lethal concentration (LC_{50}), the wasps were exposed to different concentrations of fipronil, and the LC_{50} obtained was subsequently used as a reference for obtaining the sublethal concentrations. For survival analysis, groups of control wasps and groups of wasps exposed to sublethal concentrations were monitored until death, and the median lethal time (LT_{50}) was then calculated. The LC_{50} after 24 hours was 0.890 ng a.i./ μ L (~890 ppb). Wasps exposed to any of the sublethal concentrations survived for a significantly shorter time than those in the control group. Therefore, we conclude that exposure to fipronil affects the survival of *P. paulista* foragers as much as the neonicotinoid insecticide thiamethoxam, and that social wasps may be as susceptible, or even more susceptible, to fipronil contamination than other commonly studied non-target insects.

Keywords: Fipronil; Polistinae; LC_{50} ; LT_{50} ; Toxicity.

INTRODUÇÃO GERAL

Os inseticidas se tornaram a forma mais comum, acessível e eficaz aos agricultores para enfrentar a perda de produtividade na agricultura devido ao ataque de insetos considerados pragas agrícolas (de Moraes et al., 2019; Seydi et al., 2021). Dentre os diferentes inseticidas disponíveis no mercado, os fenilpirazóis (fipronil) e neonicotinoides possuem destaque, por sua alta eficiência, devido a sua ação neurotóxica - atingindo diretamente o sistema nervoso dos insetos (Wang et al., 2016; de Moraes et al., 2019), e por serem de amplo espectro, representando, os dois juntos, um terço do mercado global de inseticidas (Simon-Delso et al., 2015; Castilhos et al., 2019).

O fipronil (FIP) pertence a classe dos fenilpirazóis e é um inseticida sistêmico, amplamente utilizado na agricultura, que ao entrar em contato com a planta se dissemina por todos os seus tecidos (Huseth & Groves, 2014; Seydi et al., 2021). Apresenta uma versatilidade de aplicações, tendo aplicabilidade em ambientes residenciais, no uso veterinário e agrícola, para o controle de uma gama de espécies de insetos que causam danos as plantações como mosquitos, baratas, gafanhotos, triples, carrapatos e pulgas (McMahen et al., 2015; Wang et al., 2016; Gonçalves et al., 2022). De acordo com Ikeda et al. (2004) e

Wang et al. (2016) o fipronil tem baixa toxicidade em mamíferos e alta em artrópodes. Nos sistemas agrícolas ele é utilizado em diversos tipos de cultura, como milho, algodão, aveia, trigo e cevada, representando uma alternativa aos inseticidas encontrados no mercado, uma vez que muito insetos desenvolveram resistência a eles, como os piretróides, carbamatos e organofosforados (Simon-Delso et al., 2015; de Oliveira et al. 2012; Wang et al., 2016).

O mecanismo de ação do fipronil se dá no funcionamento dos canais controlados pelo ácido gama-aminobutírico (GABA), atuando como antagonista do receptor GABAA (subtipo de GABA) na membrana pós sináptica, que são canais iônicos que ao se ligarem ao GABA aumentam a permeabilidade da membrana plasmática aos íons cloro, controlando a entrada destes íons na via celular nervosa pelo influxo neural normal (Wang et al., 2016; Gupta & Anadón 2018). O fipronil bloqueia os receptores GABA, impedindo a abertura dos canais de cloro, interrompendo o influxo dos íons cloro na célula, o que leva a excitação do sistema nervoso central, levando a hiperexcitação neural, paralisia e, consequentemente, a morte do inseto (Wang et al., 2016; de Moraes et al., 2019).

Apesar da eficiência dos inseticidas ao controle de pragas nas áreas de cultivo, devido ao uso excessivo ou inadequado e, a forma de aplicação, eles são encontrados em diferentes partes dos ecossistemas, representando um risco aos organismos e ao meio ambiente (Kocaman e Topaktas, 2010; Bernhardt et al., 2017; de Moraes et al., 2019; Seydi et al., 2021). Seus resíduos contaminam a biota e os biomas, além de afetar a saúde humana ao se solubilizar nas águas do lençol freático e se acumular nos solos e plantas (de Moraes et al., 2018; de Moraes et al., 2019; Asad et al., 2021; Labad et al., 2022). O fipronil é considerado tóxico tanto para vertebrados, quanto invertebrados, tendo já sido relatados efeitos em peixes, girinos, misídeos e crustáceos do gênero *Daphnia* (Stark & Vargas, 2005; Gibbons et al., 2015; Saka & Tada 2021; Gonçalves et al., 2022).

Os insetos-alvos e não-alvos podem ter contato com os inseticidas por diferentes vias de exposição, direta ou indiretamente nos campos de cultivo e até pelo tratamento de sementes, que se incorpora nos tecidos vegetais, contaminando recursos alimentares, como o néctar, pólen, fluído de gutação e cera (Cresswell, 2011; Pisa et al., 2015; Zioga et al., 2020; Du et al., 2022; Corcoran et al., 2023).

Diversos insetos não-alvo utilizam os campos de cultivo como área de forrageamento, utilizando as partes de plantas cultivadas como recurso, como por exemplo abelhas e vespas (Silva-Pereira & Santos, 2006; Girolami et al., 2009). Estes insetos podem ser afetados pela exposição aos inseticidas por meio de doses e concentrações letais, que causam diretamente a morte e por doses e concentrações subletais, que não causam morte, mas afetam a fisiologia e o comportamento (Desneux et al., 2007). Grande parte dos estudos que investigaram os

efeitos dos inseticidas sobre insetos não-alvos, se concentraram nas abelhas, devido a sua importância econômica e ecológica (Thompson et al., 2020; Assis et al., 2022). Os estudos com abelhas consideram o fipronil altamente tóxico, em todas as vias de exposição (Jacob, 2015; de Moraes et al., 2018; Pashte & Patil, 2018).

Em um estudo, que buscou identificar e quantificar inseticidas presentes em amostras de *Apis mellifera*, em campo, os autores constataram que o fipronil e os neonicotinóides são detectados frequentemente, tanto em níveis letais, que causam diretamente a morte dos indivíduos, quanto níveis subletais, que não causam a morte mas afetam o comportamento, fisiologia ou reprodução (Castilhos et al., 2019), sendo uma ameaça à sobrevivência das colônias, uma vez que o fipronil tem o efeito mais nocivo sobre colônias de abelhas (Fazekas et al., 2012) e é responsável por causa morte em um tempo menor quando comparado a outros inseticidas (Traynor et al., 2016).

Abelhas expostas ao fipronil e seus metabólitos, mesmo em doses subletais podem sofrer alterações comportamentais (Decourtye et al., 2005; Souza, 2010; de Moraes et al., 2018), morfológicas (Jacob et al., 2015; Farder-Gomes et al., 2021_b), fisiológicas (Roat et al., 2013; Farder-Gomes et al., 2021_a) e até mesmo efeitos negativos sobre o desenvolvimento e manutenção das colônias (Zaluski et al., 2015).

Holder et al. (2018), em um estudo que investigou o inseticida responsável pela mortalidade em massa de colônias de *A. mellifera* na França da década de 1990, sobre exposições dietéticas baseadas em doses que estavam na faixa ambientalmente realista, concluíram que o fipronil foi o único inseticida com capacidade de causar mortalidade em massa, quando comparado ao imidacloprida, tiametoxam e cipermetrina. Segundo os autores a mortalidade em massa causada pelo fipronil está relacionada a sua capacidade de se bioacumular nas abelhas o que contribui para a Toxicidade Reforçada ao longo do Tempo (TRT), sendo considerado letal até quando em concentrações residuais, que são encontradas geralmente no néctar e pólen de plantações tratadas, o que explica a maior toxicidade do fipronil às abelhas a exposições prolongadas, o que o torna um risco significativo à saúde das colônias de abelhas.

A exposição crônica a doses subletais do fipronil também induz TRT em *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758), o que reduz a longevidade das abelhas sem evidências de uma possível recuperação, representando um risco a estes polinizadores uma vez que estes resíduos traços permanecem no néctar e pólen utilizado como recurso (Mulvey & Cresswell, 2020). Os efeitos do fipronil sobre as abelhas podem levar à redução da viabilidade da ninhada, afetar o crescimento populacional, assim como o número de larvas e pupas, podendo levar à redução da saúde e ao abandono da colônia (Vidau et al., 2011).

Os efeitos comportamentais causados pela exposição ao fipronil também são encontrados em abelhas sem ferrão. Farder-Gomes et al. (2021_a, 2021_b) observaram que a exposição a CL₅₀ do fipronil em operárias de *Partamona helleri* (Friese, 1900), causou um aumento na distância percorrida e velocidade de caminhada, provavelmente causado pela excitação neural excessiva devido a ação neurotóxica do inseticida, sendo que estas alterações na mobilidade podem acarretar comprometimento da atividade de forrageamento. Estes resultados corroboram os encontrados para *Melipona scutellaris* (Latreille, 1811) por Lourenço et al. (2012). Além disso, forrageadoras de *M. scutellaris* quando expostas a este inseticida podem sofrer estresse oxidativo, alteração da atividade das enzimas de desintoxicação, alterações histopatológicas e danos a estrutura cerebral, o que pode levar ao comprometimento cognitivo, como déficits no aprendizado e memória, impactando diretamente o forrageamento e a comunicação (Farder-Gomes et al., 2021_b). de Moraes et al. (2018) e Jacob et al. (2015) também observaram que a exposição ao fipronil causa danos a estrutura cerebral em forrageadoras de *M. scutellaris* e *Scaptotrigona postica* (Latreille, 1807), respectivamente.

Estudos sobre os efeitos decorrentes da exposição a doses subletais em insetos sociais, como o impacto direto sobre o forrageamento e a comunicação observados por Farder-Gomes et al. (2021_a, 2021_b), em abelhas, são essenciais pois na sociedade destes insetos é necessário que haja uma comunicação eficiente entre as companheiras de ninho para que cada casta desempenhe suas funções corretamente, para manter a coesão da colônia (Wilson, 1971; Blomquist & Bagnères, 2010).

Ainda que exista um número significativo de estudos que investigaram os efeitos de inseticidas sobre abelhas sociais, apenas alguns estudos já foram realizados com as vespas sociais (Teixeira et al., 2022; Batista et al., 2022, 2023; Crispim et al., 2023), não tendo sido realizado nenhum ainda com fipronil. Vespas sociais são abundantes em regiões tropicais e temperadas, em todo o mundo (Richter, 2000; Kudô, 2021), atuando como polinizadoras de muitas espécies de plantas (Sühs et al., 2009), além de serem grandes predadoras de uma ampla gama de insetos considerados pragas agrícolas, como por exemplo, lagartas de lepidópteros que atacam várias espécies de plantas em áreas de cultivo, demonstrando um alto potencial para o atuação no manejo integrado de pragas como opção de controle biológico (Richter, 2000; Kudô, 2021). As vespas sociais também apresentam potencial como indicadoras da qualidade ambiental (Souza et al., 2010; Dejean et al., 2011; Maciel et al., 2023).

Tendo em vista que vespas sociais utilizam recursos que são encontrados em campos contaminados por agrotóxicos e estudos recentes comprovam que, de fato, inseticidas

neonicotinoides e biopesticidas causam efeitos negativos sobre suas colônias (Teixeira et al., 2022; Batista et al., 2022, 2023; Crispim et al., 2023), elas podem, portanto, ser tão vulneráveis ao fipronil, quanto aos neonicotinoides. Levando em conta a importância ecológica deste grupo e a carência de estudos sobre os efeitos dos inseticidas sobre vespas sociais, este estudo investigou a toxicologia do fipronil sobre a vespa social *Polybia paulista* (Ihering, 1896) e os efeitos de concentrações subletais sobre a sobrevivência.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Histórico dos inseticidas e evolução dos fenilpirazóis

Inseticidas são substâncias tóxicas utilizadas para o controle de insetos (Kareru & Maina, 2013). O uso de substâncias para a atuação como inseticida remonta a antiguidade, com a utilização de arsênico em Roma (70 d.C), além do uso de outras substâncias ao longo do tempo, como o sulfeto de arsênico no século 16, pelos chineses, e no século 19 foram usados vários sais metálicos (Moutschen-Dahmen et al., 1984; Kareru & Maina, 2013).

Conforme a agricultura foi mudando as formas de plantio e a população humana foi crescendo, houve um aumento crescente na demanda de produção de alimento, ampliando a utilização de produtos químicos para controlar populações de insetos pragas, que atacam as áreas de plantio e causam prejuízos a produtividade destas áreas (Sparks & Lorschbach, 2017), estes produtos químicos são classificados como inseticidas (Kareru & Maina, 2013). Além da expansão da demanda produtiva, a resistência desenvolvida por muitos insetos à inseticidas também impulsionou a criação de novas classes de compostos que pudessem responder a esta resistência (Simon-Delso et al., 2015; Wang et al., 2016; Sparks & Bryant, 2022).

O fipronil foi descoberto e produzido pela empresa francesa a Rhône-Poulenc Agro (atualmente Bayer CropScience) na década de 80, chegando ao mercado na década de 90 sendo um marco para a própria família fenil-pirazol, que em princípio, são substâncias com efeitos herbicidas, contudo é um inseticida de alta toxicidade (Tomlin, 2000; Tingle et al., 2003; Simon-Delso et al., 2015). Com o surgimento do fipronil e dos neonicotinoides, na mesma década, houve uma rápida adoção destes inseticidas ao mercado, uma vez que naquele momento os compostos comercializados vinham apresentando baixa eficiência e os insetos desenvolvendo resistência crescente a compostos como os organofosforados, piretróides e carbamatos (Bonmatin et al., 2015; Simon-Delso et al., 2015). Outros atributos que contribuíram para a sua rápida aceitação foram: a sua natureza sistêmica, alta persistência e

seletividade favorável aos artrópodes em relação aos vertebrados (Simon-Delso et al., 2015; Gupta & Anadón, 2018).

O fipronil somado aos neonicotinoides respondem por um terço do mercado mundial de inseticidas, o que confirma a sua rápida aceitação e ampla e crescente utilização desde sua chegada ao mercado (Simon-Delso et al., 2015), além da sua popularidade ter incentivado a criação de vários produtos, muito populares atualmente, baseados em fipronil, como: ChipcoVR, Over n' Out™, TeckPac, Choice, ICON 6.2FSTM, com ação em controle de pragas em áreas de cultivo e áreas urbanas (Wang et al., 2016).

O mecanismo de ação do fipronil no sistema nervoso age da seguinte forma: uma vez adentrado o corpo do inseto, o fipronil atinge diretamente o sistema nervoso, com sua ação específica sobre os receptores do c-aminobutírico (GABA), que são responsáveis por darem respostas ao composto inibitório principal do sistema nervoso central (SNC), o neurotransmissor GABA. Ele interfere diretamente na função dos canais dependentes do c-aminobutírico (GABA) inibindo a captação de íons cloreto pela célula nervosa, que ao não serem capturados se acumulam gerando uma diferença na concentração destes íons dentro e fora do meio celular, levando a excitação do SNC e, em doses suficiente, pode levar a excitação neural excessiva, paralisia grave e, por fim, a morte (Gunasekara et al., 2007; Gupta & Anadón, 2018; Gonçalves et al., 2022).

Além da sua atuação sobre o sistema nervoso, o fipronil possui maior afinidade para se ligar com os receptores aos canais de cloreto regulados por GABA de insetos, em comparação ao de mamíferos, o que o torna relativamente menos perigoso para humanos quando usado no controle de insetos considerados pragas (Gunasekara et al., 2007; Simon-Delso et al., 2015; Gupta & Anadón, 2018).

Segundo Negro et al. (2019) os inseticidas podem gerar toxicidade por meio da criação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e por estresse oxidativo, o qual é o principal indicador na avaliação da toxicidade de contaminantes (Mennillo et al., 2019). A presença excessiva de ROS atinge diretamente as mitocôndrias e a membrana celular (Ki et al., 2012), além de outros danos, como por exemplo, induzir a sinalização de apoptose por meio da via mitocondrial, como demonstrado para o fipronil em camundongos e células humanas (Badgujar et al., 2016; Romero et al. 2016). Elas também podem alterar a atividade antioxidante do sistema de defesa por meio do estresse oxidativo, causando danos aos lipídios, DNA e proteínas (Wang et al., 2016). O fipronil pode ser biodegradado por meio de processos como: fotólise, oxidação, redução e hidrólise, formando os seguintes metabolitos, FIP desulfnil, FIP sulfona, FIP sulfeto e FIP amida, respectivamente, sendo que

estes subprodutos podem ser mais tóxicos que o próprio FIP (Simon-Delso et al., 2015; Gripp et al. 2017; Tomazini et al., 2021).

O fipronil é amplamente utilizado na agricultura para uma grande variedade de cultivares, como grãos de cereais, algodão, sorgo, milho, arroz, palha (Gunasekara et al., 2007), além de também ser muito utilizado para uso veterinário (Cappelini et al., 2018). Ele atua tanto por ingestão quando por contato, e pode ser utilizado para o controle de uma ampla gama de espécies de insetos, como mosquitos, baratas, gafanhotos e outros artrópodes, como pulga e carrapato, servindo tanto para os estágios larvais como adultos (Gunasekara et al., 2007).

Outra característica importante que contribui para a alta eficiência e popularidade do fipronil como inseticida é a sua natureza sistêmica, isto significa que este composto ao entrar no corpo vegetal, independente da forma de aplicação, consegue, por meio de suas características físico-químicas, se espalhar por todos os seus tecidos, o que protege a planta diretamente contra a herbívora e indiretamente contra vírus transmitidos por insetos (Bonmatin et al. 2015; Simon-Delso et al., 2015). Além da sua característica sistêmica, o fipronil pode persistir em diferentes regiões das plantas, disponíveis para os insetos utilizarem como recurso (Bonmatin et al., 2015). A contaminação do fipronil e seus metabolitos, de fato, podem ser encontrados não somente no solo, água e ar, mas também nos recursos florais, como descrito por Aajoud et al., (2008), que detectou a presença destes compostos na inflorescência de plantas de girassol. Além disto, devido as suas características sistêmicas e diferentes modos de aplicação o fipronil pode persistir em diferentes partes vegetais, como o pólen e o néctar, utilizado por insetos-alvos e insetos não-alvos como recurso (Bonmatin et al., 2015).

O fipronil pode ser formulado em diferentes formas, como spray líquido, um sólido ou produto granular, sendo que o produto granular é considerado a forma mais persistente com uma meia vida aquosa e no solo, relativamente longa, sendo de 125 horas no meio aquoso e de 438 horas no solo, e a sua formulação influencia diretamente seu destino ambiental (U.S. Environmental Protection Agency, 1996; Ngim & Crosby, 2001; Gunasekara et al., 2007). Todas as características responsáveis pela popularidade deste inseticida também o tornam presente em todos os compartimentos ambientais, como a água, solo e o ar (Simon-Delso et al., 2015), fatores que começaram a levantar questões sobre o destino ambiental e as consequências da utilização dos inseticidas sistêmicos na comunidade científica (Gunasekara et al., 2007; Bonmatin et al., 2015; Simon-Delso et al., 2015; Pisa et al., 2021) Estudos que avaliaram a presença do fipronil no solo e na água mostram que adsorção dele ao solo

aumenta conforme o teor de matéria orgânica aumenta e é relativamente móvel nos solos (Gunasekara et al., 2007).

A preocupação dos efeitos causados pelo uso deste inseticida e sua relação com o Distúrbio do Colapso Colonial (DCC), que atinge colônias de abelhas, sendo registrados casos de mortes sucessivas de colônias de abelhas já na década de 90 (Holder et al., 2018), levou a proibição dele em vários países, sendo que segundo o banco de dados Pesticide Database do Pesticide Action Network (PAN, 2022), o uso e venda do fipronil foi proibido em 36 países, incluindo 27 países da união europeia. No Brasil, o uso do fipronil foi suspenso em algumas situações específicas, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama, 2024), visando os inseticidas à base de fipronil usados na aplicação em folhas e flores, para a proteção dos polinizadores, não tendo sido, no entanto, proibido seu uso totalmente, tratando-se de uma restrição de uso.

Efeitos sobre organismos não-alvo: Abelhas, Vespas e Outros Insetos

Os inseticidas são utilizados para controlar populações de insetos que atacam áreas de cultivo e geram prejuízos (Kareru & Maina, 2013; Sparks and Lorschbach, 2017). Entretanto, os inseticidas não diferenciam insetos que causam prejuízos dos que não a causam, que acabam entrando nas rotas de exposição destes compostos, assim, os insetos não-alvo são aqueles que não se destinam a ser afetados pelo uso de inseticidas, mas que podem sofrer efeitos deletérios através da exposição a eles (Pisa et al., 2015; Gonçalves et al., 2022).

Podemos observar a toxicidade e eficiência do fipronil pelos seus efeitos sobre diferentes grupos de insetos, como nos coleópteros, quando foi demonstrado que a exposição ao fipronil, mesmo em baixas concentrações é capaz de controlar a espécie *Anthonomus grandis grandis* (Boheman, 1843), conhecido popularmente como gorgulho do algodoeiro e considerado um inseto-alvo (Mulrooney & Goli, 1999). Segundo Mulrooney & Goli (1999) o fipronil é altamente tóxico para essa espécie, onde resíduos foliares de até 3 ng/cm² são responsáveis pela mortalidade de 48% da população testada no estudo.

Além dos estudos sobre os efeitos toxicológicos do fipronil sobre coleópteros, um estudo recente que analisou o efeito de doses subletais do fipronil sobre o artrópode de água doce *Unio delicatus* (I. Lea, 1863), demonstrou a toxicidade a doses subletais sobre essa espécie de mexilhão, que sofrem alterações bioquímicas, fisiológicas e histopatológicas após a exposição a este inseticida (Arslan & Günal, 2023). Neste mesmo sentido, Asad et al. (2021) demonstraram que o fipronil é tóxico para 5 artrópodes não-alvo que vivem no solo (colêmbolo, tesourinhas, estafilínídeos, formigas e ácaros) e seus efeitos podem ser observados vários dias após aplicação. Dentre os artrópodes que vivem no solo as formigas

dominam grande parcela do ambiente terrestre, com importância em diversas atividades ecológicas, atuando como predadoras, herbívoras indiretas e necrófagas, além de serem responsáveis por representarem a maior parte da biomassa local em ambientes tropicais (Hölldobler & Wilson, 1990; 1998; Wilson & Hölldobler, 2005).

Os estudos feitos com formigas demonstram que a exposição ao fipronil, pode gerar uma taxa de mortalidade de 93% da colônia para a espécie *Linepithema humile* (Mayr, 1868), no período de uma semana, causando a mortalidade das rainhas dentro de quatro semanas, após a exposição (Costa & Rust, 1999). Estes estudos exemplificados demonstram a eficiência e os efeitos do fipronil como compostos inseticidas sobre algumas espécies de insetos que são consideradas pragas agrícolas, sendo importantes para demonstrar a toxicidade deste composto e seus efeitos diversos sobre diferentes grupos de insetos, que podem ajudar a elucidar também os efeitos destes compostos sobre insetos não-alvo.

Estudos avaliando os efeitos da exposição do fipronil sobre parasitoides de pulgões, um grupo não-alvo, com importante atuação como agente de controle sobre o manejo integrado de pragas (MIP), relatam que larvas de *Binodoxys communis* (Gahan, 1926), um parasitoide da família Braconidae especializado em parasitar pulgões (Aphididae), quando expostas a CL₁₀ (1,19 mg/L) e CL₂₅ (1,73 mg/L) sofrem redução significativa nas taxas de sobrevivência e parasitismo, além disto, a exposição a concentrações subletais mais altas causam efeitos negativos a longo prazo nas funções biológicas, com efeitos que persistem nas gerações seguintes, afetando genes relacionados a nutrição, desintoxicação, imunidade, metabolismo e energia (Du et al., 2022). No mesmo sentido, Khan & Khan (2015) observaram que a exposição de *Trichogramma chilonis* (Ishii, 1941), um parasitoide da família Trichogrammatidae, a doses progressivamente menores do fipronil, a partir da dose recomendada em campo de 480 mL/acre (0,4x), incluindo concentrações de 0,2x, 0,08x, 0,04x e 0,02x (sendo 0,2x equivalente a 20% da dose recomendada, equivalentes a 96, 38,4, 19,2 e 9,6 mL/acre, respectivamente), afetou a taxa de emergência e o parasitismo dos ovos hospedeiros de *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1789).

O grupo de insetos não-alvo mais estudado são as abelhas, devido a sua importância ecológica, econômica, e por sua vulnerabilidade aos inseticidas, sendo que a maior parte dos estudos que avaliaram os efeitos destes compostos se concentram nesse grupo, com maior enfoque na espécie *A. mellifera* (Roat et al., 2013; Zaluski et al., 2015, 2020; Christen & Fent, 2017; Chmiel et al., 2020; Lu et al., 2020; Abati et al., 2021; Assis et al., 2022; Dirilgen et al., 2023).

As pesquisas com abelhas melíferas demonstram que a exposição ao fipronil e seus metabólitos causam diversos efeitos negativos sobre o desenvolvimento, diminuindo a

viabilidade da ninhada e o crescimento populacional (Zaluski et al., 2015), sobre a fisiologia, com a diminuição da fertilidade, alterações de enzimas-chave e a inibição bioenergética mitocondrial (Roat et al., 2013; Nicodemo et al., 2014; Renzi et al., 2016; Kairo et al., 2017; Zaluski et al., 2017) e sobre o comportamento, com a redução da atividade motora, responsividade a sacarose e sobre o forrageio (Aliouane et al., 2009; Zaluski et al., 2015; Bovi et al., 2018).

Outro fator que deve ser levado em consideração para o maior número de pesquisas com abelhas melíferas, é o fenômeno que foi denominada Distúrbio do Colapso Colonial (DCC), após vários relatos de apicultores, na década de 90, que observaram a mortalidade sucessiva de colônias de *A. mellifera*, sendo registrado nos Estados Unidos da América (vanEngelsdorp et al., 2008; Engelsdorp et al., 2010), na França (Chauzat et al., 2006; Van der Sluijs et al., 2013), Suíça (Dainat et al., 2012) e no Brasil (Nunes et al., 2021).

O DCC é caracterizado pelo súbito desaparecimento de forrageadoras, ausência e morte de abelhas adultas na colmeia ou fora dela e ausência de pistas que indiquem invasão imediata por predadores ou pragas (Engelsdorp et al., 2010), sendo descritos vários fatores que influenciam sua ocorrência, como a má nutrição, o ataque de patógenos e principalmente a exposição aos inseticidas sistêmicos (Holder et al., 2018; Lu et al., 2020) e ainda a combinação de estressores pode afetar a saúde da colônia (Vidau et al., 2011; Paris et al., 2017). Os relatos de mortalidade sucessiva de colônias de abelhas na França, entre os anos de 1994 e 1998, tiveram como principais suspeitos a introdução do fipronil (1993) e do imidacloprida (1994), amplamente utilizados nas plantações de *Helianthus annuus* (Linnaeus, 1753), conhecido popularmente como girassol (Holder et al., 2018). Segundo Holder et al. (2018), o Imidacloprida foi excessivamente responsabilizado quando na verdade o fipronil é o mais provável de ter causado a mortalidade em massa das abelhas, pois é letal para elas até em doses mínimas por causa de sua propriedade de bioacumular e gerar toxicidade reforçada ao longo do tempo – TRT (Nicodemo et al., 2014).

Além dos estudos sobre os efeitos do fipronil em abelhas melíferas, alguns estudos também avaliaram seus efeitos sobre abelhas sem ferrão, que são responsáveis pela polinização de 30% a 90% das plantas com flores que existem e mais de 70 % das plantas que cultivamos (Kerr, 1997; Araújo, 2017). A exposição à CL_{50} (0,28 ng i.a. μL^{-1}) do fipronil em *P. helleri* (Friese, 1900), prejudica a atividade motora e o forrageio, além de causar consequências fisiológicas, como alteração de enzimas de desintoxicação e alterações histopatológicas, com danos a estrutura cerebral que podem levar ao comprometimento cognitivo (Jacob et al., 2015; de Moraes et al., 2018; Farder-Gomes et al., 2021a, 2021b). Lourenço et al. (2012) também concluíram que a exposição de *M. scutellaris* a concentrações

letais e subletais é altamente tóxico, sendo que ela e a espécie *S. postica* são consideradas mais sensíveis ao fipronil quando comparadas com *A. mellifera* (Ferreira et al., 2013).

Em relação as vespas sociais existem estudos com o fipronil em relação ao controle de espécies do gênero *Vespula* (particularmente, *Vespula vulgaris*, *Vespula germanica*, e *Vespula pensylvanica*) em regiões que não fazem da parte da sua distribuição nativa, onde se tornam espécies invasoras, causando danos ao ecossistema, uma vez que elas predam insetos nativos, incluindo os polinizadores e competem por recursos com a fauna nativa (Moller et al., 1991; Rust et al., 2017), além de causarem prejuízos a economia local (Edwards et al., 2018).

Edwards et al. (2018) e Rust et al. (2017) fizeram estudos com iscas proteicas (concentração de fipronil a 0,01% - 100 ppm), para o controle de vespas sociais do gênero *Vespula* (*Vespula vulgaris* e *Vespula germânica*; e *Vespula pensylvanica*, respectivamente) que são atraídas pela fonte proteica por serem predadoras e coletoras de proteína para a alimentação das larvas, sendo que o fipronil foi considerado extremamente eficaz, mesmo nas baixas concentrações testadas, no controle de vespas sociais deste gênero. Neste mesmo sentido, Buczkowski (2024) realizou um estudo avaliando a técnica “trap-treat-release” (capturar, tratar e liberar) no controle populacional da vespa social *Vespula maculifrons*, por meio de transferência horizontal de inseticida, na concentração de 0,5% (5 mg/mL) do inseticida fipronil, tendo sido considerado altamente eficaz na transferência entre os indivíduos e no controle populacional desta espécie de vespa social. Contudo, nenhum estudo avaliou o efeito que estas metodologias podem ter em outras espécies de vespas sociais nativas, especialmente se as forrageiras levarem as iscas a colônia, ou através dos próprios indivíduos contaminados.

Existem poucos estudos que avaliaram os efeitos dos inseticidas sobre colônias de vespas sociais nativas, sendo baseados, no entanto, apenas em inseticidas neonicotinoides (Batista et al., 2022, 2023; Crispim et al., 2023), biopesticida (Teixeira et al., 2022) e organofosfato (Maciel et al 2022). Essa quantidade de estudos que encontramos na literatura demonstra existir uma lacuna de conhecimento sobre os efeitos do fipronil neste grupo de insetos e a necessidade de mais estudos que façam essa avaliação com outros inseticidas, principalmente aqueles com características sistêmicas como o fipronil. Segundo Teixeira et al. (2022) a exposição de *Polistes versicolor* (Olivier, 1791) à azaractina, em concentração de 96 µg/mL tem seu comportamento de oviposição e sobrevivência prejudicados. Na espécie *P. paulista* a exposição a doses e concentrações subletais alteram significativamente a mobilidade, sobrevivência, fisiologia e podem gerar alterações histológicas (Batista et al., 2022, 2023). Neste mesmo sentido, a vespa social *Protopolybia exigua* (de Saussure, 1906),

tem a sua mobilidade e manutenção da colônia reduzida significativamente quando expostas às concentrações subletais de tiametoxam (Crispim et al., 2023).

Vespas sociais e sua importância ecológica

As vespas, cabas ou marimbondos, como são chamados popularmente, são insetos agrupados dentro da ordem dos himenópteros juntamente com as abelhas e formigas, sendo um termo generalista utilizado no Brasil para várias espécies (Carpenter & Marques, 2001). As vespas sociais são denominadas de vespídeos e pertencem a superfamília Vespoidea, mais especificamente os integrantes da família dos vespídeos (*Vespidae sensu* Carpenter, 1981). Essa família é composta por seis subfamílias monofiléticas: Priorvespinae (extinta); Euparagiinae; Masarinae (vespas-masariínas); Eumeninae (vespas-maçoneiras); Stenogastrinae; Vespinae (vespas sociais) e Polistinae (vespas sociais), dentre estas, as três últimas reúnem as espécies sociais dos vespídeos e a subfamília Polistinae reúne as espécies sociais que formam uma parte diversa e importante da fauna brasileira e a única das subfamílias sociais com ocorrência na região neotropical (Carpenter & Marques, 2001).

A alimentação dos adultos das vespas sociais se baseia principalmente em carboidratos, enquanto as larvas são alimentadas principalmente com fontes proteicas (Richter, 2000; Kudô, 2021). Durante sua atividade de forrageamento elas buscam água, utilizada para o consumo, construção do ninho e resfriamento; fibras vegetais que serão usadas para a construção dos ninhos; carboidratos que serão utilizados como fonte de energia, obtidos de alimentos como néctar, seiva, frutas e proteínas, que se baseiam principalmente na predação de artrópodes, além de outras fontes proteicas (Menke, 1974; Edwards, 1980; Akre, 1982; Greene, 1991; Wenzel, 1991; Jeanne, 1996; Richter, 2000).

Os vespídeos sociais são classificados como oportunistas e generalistas (Richter, 2000), entretanto, em nível individual podem ser classificadas como especialistas facultativos (Richter, 1990), uma vez que uma forrageira que encontra um local onde consegue capturar presas com sucesso, frequentemente retorna a este local, podendo se alimentar diversas vezes das mesmas espécies de presas (Rabb & Lawson 1958; Suzuki, 1978; Richter & Jeanne, 1985). Além disto a própria escolha dos locais de caça pode ser influenciada pela densidade de presas, como demonstrado por Nakasuji et al. (1976), quando estudou o comportamento de forrageio de *Polistes jadwigae* (Dalla Torre, 1904) e *Polistes chinensis* (Fabricius, 1793), os autores observaram que durante a caça de larvas de *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775), as forrageadoras procuravam e atacavam com maior frequência no local que possuía maior densidade desta presa. As presas caçadas por elas são representadas por uma variedade de insetos e outros artrópodes, como moscas, formigas aladas, muitas espécies de lagartas,

cupins (Akre, 1982; Fowler, 1992), abelhas (Koeniger et al., 1996) e aranhas (Turillazzi, 1983).

Neste contexto, elas possuem alto potencial para atuar no manejo integrado de pragas (MIP), uma vez que as áreas de cultivo propiciam o crescimento de muitas espécies de insetos considerados pragas agrícolas e que servem como presas para as vespas sociais (Elisei et al., 2010; Prezoto et al., 2019; Barbosa et al., 2022). De fato, estudos demonstram que algumas espécies de vespas sociais são frequentemente encontradas em diferentes áreas de cultivo, como *Polybia ignobilis* (Haliday, 1836), que é encontrada em culturas como soja, milho, tomate, cana-de-açúcar, cafezais e locais próximos a fontes hídricas, sendo uma importante predadora de lagartas de diversas espécies consideradas pragas destas culturas (Carpenter & Marques, 2001; Jacques et al., 2012; Prezoto et al., 2016; Jacques et al., 2018).

Os vespídeos sociais para atender a necessidade de recursos buscam carboidratos como o néctar, fornecido pelas plantas com flores e, por isto, acabam atuando como polinizadores, podendo, superar as abelhas em relação a abundância e riqueza de espécies como visitantes florais de fragmentos de matas e ecossistemas hostis (áreas degradadas), com uma alta representatividade nesses ambientes, os serviços de polinização podem ser desenvolvidos principalmente por elas (Sühs et al., 2009; Souza et al., 2010; Santos et al., 2010; Clemente et al., 2012; Mello et al., 2011; Silva-Filho et al., 2020). Neste mesmo sentido Brodmann et al. (2012) demonstraram que as espécies de plantas *Scrophularia nodosa* (Linnaeus, 1753) e *Scrophularia umbrosa* (Linnaeus, 1753), produzem odores florais específicos, especializados na atração de vespas sociais, sendo suas principais polinizadoras.

Outra característica importante de algumas espécies de vespas sociais é seu potencial como indicadoras da qualidade ambiental. Segundo Souza et al. (2010) elas podem indicar o grau de conservação dos habitats pela sua sensibilidade à perturbação ambiental e necessidade de áreas com alto grau de conservação. Ferreira et al. (2020) observaram que existe uma relação significativa entre a composição e riqueza de espécies de vespas sociais e a complexidade do habitat e também a quantidade de habitat nativo, pois as vespas sociais dependem de habitats mais complexos, em sua estrutura, para nidificar e habitats mais preservados podem favorecer a riqueza de vespas sociais. No mundo, a subfamília Polistinae é a segunda subfamília mais diversa de Vespidae, com mais de 1000 espécies descritas (Somavilla & Carpenter, 2020; de Castro et al., 2021).

No Brasil a subfamília Polistinae é representada por 381 espécies, agrupadas em 21 gêneros (Prezoto et al., 2021), sendo que diferentes levantamentos de fauna relatam a presença significativa, abundante e diversificada do gênero *Polybia* em diferentes regiões como Caatinga, Amazônia e Floresta Atlântica (Melo et al., 2015; Trindade, 2017; Gomes et

al., 2020; Vieira et al., 2023). Dentro deste gênero, a espécie *P. paulista* é muito comum na fauna brasileira (Kudô et al., 2005), com registro de ocorrência para vários estados, como Minas Gerais, Bahia, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Piauí e Distrito federal (Richards, 1978; Perez-Riverol et al., 2016; Prezoto et al., 2021; Barbosa et al., 2022; Sguarizi-Antonio et al., 2022).

Polybia paulista é uma espécie de vespa social comum da fauna brasileira, que funda suas colônias por enxameamento, podendo ocorrer em qualquer mês do ano. As colônias dessa espécie podem chegar a ter cerca de 20 favos e mais de 6000 operárias (Kudô et al., 2005; Kudô, 2021). Durante a fundação algumas rainhas e muitas operárias se reúnem em aglomerados próximos do local do ninho e se organizam para a nidificação, construindo geralmente em galhos, palmeiras e construções humanas (Kudô et al., 2003; Kudô, 2021). Os ninhos são construídos a partir de pontos de fixação do primeiro favo ao substrato e em seguida são empilhados favos de forma sucessiva e um envelope fino serve de suporte as células e recobre a colônia fechando quase por completo, com a presença de um único local de saída e entrada (Kudô, 2021).

Recentemente *P. paulista* tem sido utilizada como modelo de estudos para avaliar o efeito dos inseticidas sobre suas colônias (Batista et al., 2022, 2023), no qual os autores observam que inseticidas sistêmicos são tão prejudiciais as vespas sociais quanto são às abelhas, enfatizando a importância de estudos sobre os efeitos dos inseticidas neste grupo de insetos não-alvo.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a toxicidade do inseticida fenilpirazol fipronil sobre a vespa social *Polybia paulista*, por meio da definição da Concentração Letal Média (CL₅₀), assim como avaliar os efeitos da exposição subletal sobre a sobrevivência das forrageadoras desta espécie.

HIPÓTESES

Os efeitos do fipronil sobre a sobrevivência de forrageadoras de *P. paulista* são tão significativos quanto os efeitos causados pelo neonicotinoide tiametoxam.

O fipronil apresenta elevada toxicidade para a vespa social *Polybia paulista*, podendo ser comparável ou superior à observada em abelhas sociais, comumente estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aajoud, A., Raveton, M., Azrou-Isghi, D., Tissut, M., & Ravanel, P. (2008). How can the fipronil insecticide access phloem? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3732–3737. <https://doi.org/10.1021/jf800043h>
- Abati, R., Sampaio, A., Maciel, R., Colombo, F., Libardoni, G., Battisti, L., Lozano, E., Ghisi, N., Costa-Maia, F., & Potrich, M. (2021). Bees and pesticides: The research impact and scientometrics relations. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 32282–32298. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14224-7>
- Akre, R. D. (1982). Social wasps. In H. R. Hermann (Ed.), *Social insects* (Vol. 4, pp. 1–105). Academic Press.
- Aliouane, Y., Hassani, A., Gary, V., Armengaud, C., Lambin, M., & Gauthier, M. (2009). Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: Effects on behavior. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(3), 113–122. <https://doi.org/10.1897/08-110.1>
- Araújo, J. F. (2017). *Efeitos isolados e combinados dos inseticidas fipronil e tiametoxam para a abelha brasileira Melipona scutellaris Latreille, 1811 (Hymenoptera, Apidae)* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos). <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9639>
- Arslan, P., & Günel, A. (2023). Does fipronil affect aquatic organisms? Physiological, biochemical, and histopathological alterations of non-target freshwater mussel species. *Water*, 15(2), 334. <https://doi.org/10.3390/w15020334>
- Asad, M., Ahmed, S., Khan, R. R., Ali, A., Raza, M. F., Shabbir, A., Munir, F., Abbas, A. N., & Tariq, M. (2021). Effects of soil application of two different fipronil formulations on some soil-dwelling non-target arthropods. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, 663–669. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00254-0>
- Assis, J. C., Tadei, R., Menezes-Oliveira, V. B., & Silva-Zacarin, E. C. (2022). Are native bees in Brazil at risk from exposure to the neonicotinoid imidacloprid? *Environmental Research*, 212, 113127. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113127>
- Badgujar, P. C., Chandratre, G. A., Pawar, N. N., Telang, A. G., & Kurade, N. P. (2016). Fipronil-induced oxidative stress involves alterations in SOD1 and catalase gene expression in male mice liver: Protection by vitamins E and C. *Environmental Toxicology*, 31(9), 1147–1158. <https://doi.org/10.1002/tox.22125>
- Barbosa, L., Jacques, G., & Souza, M. (2022). Social wasps (Vespidae, Polistinae) in a Cerrado agrosystem in the state of Minas Gerais, southeastern Brazil. *Revista*

- Agrogeoambiental*, 14(1), e1717. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v14n120221717>
- Batista, N. R., de Oliveira, V. E. S., Crispim, P. D., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2022). Is the social wasp *Polybia paulista* a silent victim of neonicotinoid contamination? *Environmental Pollution*, 308, 119682. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119682>
- Batista, N. R., Farder-Gomes, C. F., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2023). Effects of chronic exposure to sublethal doses of neonicotinoids in the social wasp *Polybia paulista*: Survival, mobility, and histopathology. *Science of The Total Environment*, 904, 166823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166823>
- Bernhardt, E. S., Rosi, E. J., & Gessner, M. O. (2017). Synthetic chemicals as agents of global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2), 84-90. <https://doi.org/10.1002/fee.1450>
- Blomquist, G. J., & Bagnères, A. G. (2010). *Insect hydrocarbons: Biology, biochemistry, and chemical ecology*. Cambridge University Press.
- Bonmatin, J. M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Marzaro, M., Mitchell, E. A., Noome, D. A., Simon-Delso, M., & Tapparo, A. (2015). Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 35-67. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3332-7>
- Bovi, T., Zaluski, R., & Orsi, R. (2018). Toxicity and motor changes in Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) exposed to fipronil and imidacloprid. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 239-245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820150191>
- Brodmann, J., Emer, D., & Ayasse, M. (2012). Pollinator attraction of the floral wasp *Scrophularia umbrosa* (Scrophulariaceae). *Plant Biology*, 14(3), 500-505. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00525.x>
- Buczkowski, G. (2024). Catch and release: controlling eastern yellowjacket *Vespula maculifrons* colonies using horizontal insecticide transfer. *Pest Management Science*, 80(10), 4863-4870.
- Cappelini, L. T., Alberice, J. V., Eugênio, P. F., Pozzi, E., Urbaczek, A. C., Diniz, L. G., Carrilho, E. N. V. M., Carrilho, E., & Vieira, E. M. (2018). *Burkholderia thailandensis*: The main bacteria biodegrading fipronil in fertilized soil with assessment by a QuEChERS/GC-MS method. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(9), 1934-1943. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180069>

- Carpenter, J. M., & Marques, O. M. (2001). *Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil*. Universidade Federal da Bahia, Departamento de Fitotecnia.
- Castilhos, D., Dombroski, J. L., Bergamo, G. C., Gramacho, K. P., & Gonçalves, L. S. (2019). Neonicotinoids and fipronil concentrations in honeybees associated with pesticide use in Brazilian agricultural areas. *Apidologie*, 50, 657-668. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00676-x>
- Chauzat, M. P., Faucon, J. P., Martel, A. C., Lachaize, J., Cougoule, N., & Aubert, M. (2006). A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. *Journal of Economic Entomology*, 99(2), 253-262. <https://doi.org/10.1093/jee/99.2.253>
- Chmiel, J., Daisley, B., Pitek, A., Thompson, G., & Reid, G. (2020). Understanding the effects of sublethal pesticide exposure on honey bees: A role for probiotics as mediators of environmental stress. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 22. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00022>
- Christen, V., & Fent, K. (2017). Exposure of honey bees (*Apis mellifera*) to different classes of insecticides exhibit distinct molecular effect patterns at concentrations that mimic environmental contamination. *Environmental Pollution*, 226, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.003>
- Clemente, M. A., Lange, D., Del-Claro, K., Prezoto, F., Campos, N. R., & Barbosa, B. C. (2012). Flower-visiting social wasps and plants interaction: Network pattern and environmental complexity. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 478431. <https://doi.org/10.1155/2012/478431>
- Corcoran, F. E., & Tibbetts, E. A. (2023). Field-realistic exposure to neonicotinoid and sulfoximine insecticides impairs visual and olfactory learning and memory in *Polistes* paper wasps. *Journal of Experimental Biology*, 226(22), jeb246083. <https://doi.org/10.1242/jeb.246083>
- Costa, H. S., & Rust, M. K. (1999). Mortality and foraging rates of Argentine ant (Hymenoptera: Formicidae) colonies exposed to potted plants treated with fipronil. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 16(1), 37-48.
- Cresswell, J. E. (2011). A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. *Ecotoxicology*, 20, 149-157. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0566-0>
- Crispim, P. D., De Oliveira, V. E. S., Batista, N. R., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2023). Lethal and sublethal dose of thiamethoxam and its effects on the

- behavior of a non-target social wasp. *Neotropical Entomology*, 52(3), 422-430.
<https://doi.org/10.1007/s13744-023-01028-2>
- Dainat, B., vanEngelsdorp, D., & Neumann, P. (2012). Colony collapse disorder in Europe. *Environmental microbiology reports*, 4(1), 123-5. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2011.00312.x>
- de Castro, L. A., Andena, S. R., & Anjos, E. J. (2021). Assemblages of social wasps (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) in the veredas of central Brazil. *Sociobiology*, 68(4), e5938-e5938.
- de Moraes, C. R., Pereira, B. B., Sousa, P. C. A., Santos, V. S. V., Campos, C. F., Carvalho, S. M., Spano, M. A., Rezende, A. A. A., & Bonetti, A. M. (2019). Evaluation of the genotoxicity of neurotoxic insecticides using the micronucleus test in *Tradescantia pallida*. *Chemosphere*, 227, 371-380.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.073>
- de Moraes, C. R., Travençolo, B. A. N., Carvalho, S. M., Beletti, M. E., Santos, V. S. V., Campos, C. F., Júnior, E. O. C., Pereira, B. B., Naves, M. P. C., Rezende, A. A. A., Spanó, M. A., Vieira, C. U., & Bonetti, A. M. (2018). Ecotoxicological effects of the insecticide fipronil in Brazilian native stingless bees *Melipona scutellaris* (Apidae: Meliponini). *Chemosphere*, 206, 632-642.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.153>
- de Oliveira, P. R., Bechara, G. H., Denardi, S. E., Oliveira, R. J., & Mathias, M. I. C. (2012). Genotoxic and mutagenic effects of fipronil on mice. *Experimental and toxicologic pathology*, 64(6), 569-573. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2010.11.015>
- Decourtye, A., Devillers, J., Genecque, E., Le Menach, K., Budzinski, H., Cluzeau, S., & Pham-Delègue, M. H. (2005). Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48(2), 242-250.
<https://doi.org/10.1007/s00244-003-0262-7>
- Dejean, A., Céréghino, R., Carpenter, J., Corbara, B., Hérault, B., Rossi, V., Leponce, M., Orivel, J., & Bonal, D. (2011). Climate change impact on neotropical social wasps. *PLoS ONE*, 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027004>
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 81-106.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>

- Dirilgen, T., Herbertsson, L., O'Reilly, A., Mahon, N., & Stanley, D. (2023). Moving past neonicotinoids and honeybees: A systematic review of existing research on other insecticides and bees. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.05.02.539043>
- Du, L., Zhao, L., Zhu, X., Wang, L., Zhang, K., Li, D., Li, D., Ji, J., Niu, L., Luo, J., Cui, J., & Gao, X. (2022). Sublethal and intergenerational effects of fipronil on *Binodoxys communis* larvae based on transcriptome sequencing. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1080601. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1080601>
- Edwards, E. D., Woolly, E. F., McLellan, R. M., & Keyzers, R. A. (2018). Non-detection of honeybee hive contamination following *Vespula* wasp baiting with protein containing fipronil. *PLoS One*, 13(10), e0206385.
- Edwards, R. (1980). Social wasps: Their biology and control (398 pp.). Chapman and Hall.
- Elisei, T., Nunes, J. V., Ribeiro Junior, C., Fernandes Junior, A. J., & Prezoto, F. (2010). Uso da vespa social *Polistes versicolor* no controle de desfolhadores de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45, 958-964. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900004>
- Engelsdorp, D. V., Hayes, J. J., Underwood, R. M., & Pettis, J. S. (2010). A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009. *Journal of Apicultural Research*, 49(1), 7–14. <https://doi.org/10.3896/ibra.1.49.1.03>
- Farder-Gomes, C. F., Fernandes, K. M., Bernardes, R. C., Bastos, D. S. S., Martins, G. F., & Serrão, J. E. (2021a). Acute exposure to fipronil induces oxidative stress, apoptosis and impairs epithelial homeostasis in the midgut of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Apidae). *Science of the Total Environment*, 774, 145679. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145679>
- Farder-Gomes, C., Fernandes, K., Bernardes, R., Bastos, D., Oliveira, L., Martins, G., & Serrão, J. E. (2021b). Harmful effects of fipronil exposure on the behavior and brain of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Meliponini). *The Science of the Total Environment*, 794, 148678. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148678>
- Fazekas, B., Woynárovich-Láng, M., Deák-Paulus, P., Csaba, G., & Orosz, E. (2012). Pesticide poisoning of honey bees between 2007 and 2011. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 134(4), 213-220. Recuperado de CABI: 20123172688.
- Ferreira, J., Storck-Tonon, D., Silva, R., Somavilla, A., Pereira, M., & Silva, D. (2020). Efeito da quantidade e complexidade do habitat nas vespas sociais (Vespidae: Polistinae): implicações para o controle biológico. *Jornal de Conservação de Insetos*, 24, 613-624. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00221-7>

- Ferreira, R., Zacarin, E., Malaspina, O., Bueno, O., Tomotake, M., & Pereira, A. (2013). Cellular responses in the Malpighian tubules of *Scaptotrigona postica* (Latreille, 1807) exposed to low doses of fipronil and boric acid. *Micron*, 46, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2012.12.008>
- Fowler, H. G. (1992). Social facilitation during foraging in *Agelaia* (Hymenoptera: Vespidae). *Naturwissenschaften*, 79(9), 424. <https://doi.org/10.1007/BF01138578>
- Gibbons, D., Morrissey, C., & Mineau, P. (2015). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 103-118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- Girolami, V., Mazzon, L., Squartini, A., Mori, N., Marzaro, M., Di Bernardo, A., Greatti, M., Giorio, C., & Tapparo, A. (2009). Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *Journal of Economic Entomology*, 102(5), 1808-1815. <https://doi.org/10.1603/029.102.0511>
- Gomes, B., Lima, C., Silva, M., & Noll, F. (2020). Alto número de espécies de vespas sociais (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) atesta a grande biodiversidade da Amazônia Ocidental: um levantamento de Rondônia, Brasil. *Sociobiologia*, 67, 112-120. <https://doi.org/10.13102/SOCIOBIOLOGY.V67I1.4478>
- Gonçalves, S., Vasconcelos, M. W., Mota, T. F. M., Lopes, J. M. H., Guimaraes, L. J., Miglioranza, K. S. B., & Ghisi, N. D. C. (2022). Identifying global trends and gaps in research on pesticide fipronil: A scientometric review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(52), 79111-79125. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21135-8>
- Greene, A. (1991). *Dolichovespula* and *Vespula*. *The Social Biology of Wasps*, 263, 305. <https://doi.org/10.7591/9781501718670-011>
- Gripp, H. S., Freitas, J. S., Almeida, E. A., Bisinoti, M. C., & Moreira, A. B. (2017). Biochemical effects of fipronil and its metabolites on lipid peroxidation and enzymatic antioxidant defense in tadpoles (*Eupemphix nattereri*: Leiuperidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 136, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.10.027>
- Gunasekara, A. S., Truong, T., Goh, K. S., Spurlock, F., & Tjeerdema, R. S. (2007). Environmental fate and toxicology of fipronil. *Journal of Pesticide Science*, 32(3), 189-199. <https://doi.org/10.1584/jpestics.R07-02>
- Gupta, R. C., & Anadón, A. (2018). Fipronil. In R. C. Gupta (Ed.), *Veterinary toxicology* (2nd ed., pp. 533–538). Academic Press.

- Holder, P. J., Jones, A., Tyler, C. R., & Cresswell, J. E. (2018). Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(51), 13033-13038. <https://doi.org/10.1073/pnas.180493411>
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1998). *Journey to the ants: A story of scientific exploration*. Harvard University Press.
- Huseth, A. S., & Groves, R. L. (2014). Environmental fate of soil applied neonicotinoid insecticides in an irrigated potato agroecosystem. *PloS One*, 9(5), e97081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097081>
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). (2024). *Suspensão do uso de agrotóxicos à base de fipronil*. <https://www.ibama.gov.br>
- Ikeda, T., Nagata, K., Kono, Y., Yeh, J. Z., & Narahashi, T. (2004). Fipronil modulation of GABAA receptor single-channel currents. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 60(5), 487-492. <https://doi.org/10.1002/ps.830>
- Jacob, C., Soares, H., Nocelli, R., & Malaspina, O. (2015). Impact of fipronil on the mushroom bodies of the stingless bee *Scaptotrigona postica*. *Pest Management Science*, 71(1), 114-122. <https://doi.org/10.1002/ps.3776>
- Jacques, G. C., Pikart, A. A., Souza, G. K., Silva-Filho, R., de Souza, M. M., & Zanuncio, J. C. (2012). Diversity of social wasps in the campus of the “Universidade Federal de Viçosa” in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. *Sociobiology*, 59(3), 1053-1062. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v59i3.566>
- Jacques, G. C., Pikart, T. G., Santos, V. S., Vicente, L. O., & Silveira, L. C. P. (2018). Niche overlap and daily activity pattern of social wasps (Vespidae: Polistinae) in kale crops. *Sociobiology*, 65(2), 312-319. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2670>
- Jeanne, R. L. (1996). Regulation of nest construction behaviour in *Polybia occidentalis*. *Animal Behaviour*, 52(3), 473-488. <https://doi.org/10.1006/an-be.1996.0191>
- Kairo, G., Poquet, Y., Haji, H., Tchamitchian, S., Cousin, M., Bonnet, M., Péliissier, M., Kretzschmar, A., Belzunces, L., & Brunet, J. (2017). Assessment of the toxic effect of pesticides on honey bee drone fertility using laboratory and semifield approaches: A case study of fipronil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36. <https://doi.org/10.1002/etc.3773>
- Kareru, P., Rotich, Z., & Maina, E. (2013). Use of botanicals and safer insecticides designed in controlling insects: The African case. In S. Trdan (Ed.), *Insecticides – Development*

- of safer and more effective technologies (pp. 99–110). InTechOpen. <https://doi.org/10.5772/53924>
- Kerr, W. E. (1997). A importância da meliponicultura para o país. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, 1(3), 42-44.
- Khan, M., & Khan, A. (2015). Lethal and Parasitism Effects of Fipronil on *Trichogramma chilonis* (Ishii) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *International Journal of Horticulture*, 5. <https://doi.org/10.5376/ijh.2015.05.0016>
- Ki, Y. W., Lee, J. E., Park, J. H., Shin, I. C., & Koh, H. C. (2012). Reactive oxygen species and mitogen-activated protein kinase induce apoptotic death of SH-SY5Y cells in response to fipronil. *Toxicology letters*, 211(1), 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.02.022>
- Kocaman, A. Y., & Topaktaş, M. (2010). Genotoxic effects of a particular mixture of acetamiprid and α -cypermethrin on chromosome aberration, sister chromatid exchange, and micronucleus formation in human peripheral blood lymphocytes. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 25(2), 157-168. <https://doi.org/10.1002/tox.20485>
- Koeniger, N., Koeniger, G., Gries, M., Tingek, S., & Kelitu, A. (1996). Observations on colony defense of *Apis nuluensis* Tingek, Koeniger and Koeniger, 1996 and predatory behavior of the hornet, *Vespa multimaculata* Pérez, 1910. *Apidologie*, 27(5), 341-352. <https://doi.org/10.1051/apido:19960502>
- Kudô, K. (2021). The biology of swarm-founding epiponine wasp, *Polybia paulista*. In *Neotropical Social Wasps: Basic and applied aspects* (pp. 127-145). https://doi.org/10.1007/978-3-030-53510-0_7
- Kudô, K., Ishiguro, N., Tsuchida, K., Tsujita, S., Yamane, S., & Zucchi, R. (2005). Loci microsatélites polimórficos para a vespa fundadora do enxame *Polybia paulista* (Hymenoptera: Vespidae). *Ciência Entomológica*, 8. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2005.00093.x>
- Kudô, K., Zucchi, R., & Tsuchida, K. (2003). Initial nest development in the swarm-founding paper wasp, *Polybia paulista* (Hymenoptera: Vespidae, Epiponini): Cases of building multiple initial combs. *Journal of the New York Entomological Society*, 111(2), 151-158. [https://doi.org/10.1664/0028-7199\(2003\)111\[0151:INDITS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1664/0028-7199(2003)111[0151:INDITS]2.0.CO;2)
- Labad, F., Ginebreda, A., Criollo, R., Vázquez-Suñé, E., Pérez, S., & Jurado, A. (2022). Occurrence, data-based modelling, and risk assessment of emerging contaminants in an alluvial aquifer polluted by river recharge. *Environmental Pollution*, 120504. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4144375>

- Lourenço, C. T., Carvalho, S. M., Malaspina, O., & Nocelli, R. C. F. (2012). Oral toxicity of fipronil insecticide against the stingless bee *Melipona scutellaris* (Latreille, 1811). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89, 921-924. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0773-x>
- Lu, C., Hung, Y.-T., Cheng, Q. (2020). A review of sub-lethal neonicotinoid insecticides exposure and effects on pollinators. *Curr. Pollut. Reports*, 6, 137–151. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00142-8>
- Maciel, T. T., Barbosa, B. C., & Prezoto, F. (2022). Physiological selectivity and tolerance of social wasps exposed to Malathion. *Environmental Pollution*, 315, 120339. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120339>
- Maciel, T., Barbosa, B., & Prezoto, F. (2023). Fluctuation in the richness of social wasps throughout a large construction project. *Sociobiology*. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v70i3.8497>
- McMahan, R. L., Strynar, M. J., Dagnino, S., Herr, D. W., Moser, V. C., Garantzotis, S., Andersen, E. M., Freeborn, D. L., McMillan, L., Lindstrom, A. B. (2015). Identification of fipronil metabolites by time-of-flight mass spectrometry for application in a human exposure study. *Environment international*, 78, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.01.016>
- Mello, M.A.R., Santos, G.M. de M., Mechi, M.R., Hermes, M.G. (2011). High generalization in flower-visiting networks of social wasps. *Acta Oecologica* 37, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2010.11.004>
- Melo, A., Barbosa, B., Castro, M., Santos, G., & Prezoto, F. (2015). The social wasp community (Hymenoptera, Vespidae) and new distribution record of *Polybia ruficeps* in an area of Caatinga Biome, northeastern Brazil. *Check List*, 11, 1530. <https://doi.org/10.15560/11.1.1530>
- Menke, A. S. (1974). Wasps: An Account of the Biology and Natural History of Solitary and Social Wasps. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 20(4), 335–336. <https://doi.org/10.1093/besa/20.4.335b>
- Mennillo, E., Cappelli, F., & Arukwe, A. (2019). Biotransformation and oxidative stress responses in rat hepatic cell-line (H4IIE) exposed to organophosphate esters (OPEs). *Toxicology and applied pharmacology*, 371, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2019.04.004>
- Moller, H., Tilley, J. A. V., Thomas, B. W., & Gaze, P. D. (1991). Effect of introduced social wasps on the standing crop of honeydew in New Zealand beech forests. *New Zealand Journal of Zoology*, 18(2), 171–179.

- Moutschen-Dahmen, J., Moutschen-Dahmen, M., & Degraeve, N. (1984). Mutagenicity, carcinogenicity, and teratogenicity of insecticides. In C. A. Payne & J. A. McRae (Eds.), *Pesticides and the environment* (pp. 127–203). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2643-4_4
- Mulrooney, J. E., & Goli, D. (1999). Efficacy and degradation of fipronil applied to cotton for control of *Anthonomus grandis grandis* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of economic entomology*, 92(6), 1364-1368. <https://doi.org/10.1093/jee/92.6.1364>
- Mulvey, J., & Cresswell, J. E. (2020). Time-dependent effects on bumble bees of dietary exposures to farmland insecticides (imidacloprid, thiamethoxam and fipronil). *Pest Management Science*, 76(8), 2846-2853. <https://doi.org/10.1002/ps.5838>
- Nakasuji, F., Yamanaka, H., & Kiritani, K. (1976). Predation of larvae of the tobacco cutworm *Spodoptera litura* (Lepidoptera, Noctuidae) by *Polistes* wasps. *Kontyu*, 44(2), 205-213. Recuperado de CABI: 19770542347.
- Negro, C. L., Iturburu, F. G., Mendieta, J., Menone, M. L., & Collins, P. (2019). Are oxidative stress biomarkers sensitive to environmental concentrations of chlorpyrifos exposed to the freshwater crab, *Zilchiopsis collastinensis* (Decapoda; Trichodactylidae)? *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 103, 405-410. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02643-9>
- Ngim, K. K., & Crosby, D. G. (2001). Abiotic processes influencing fipronil and desthiofipronil dissipation in California, USA, rice fields. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 20(5), 972-977. <https://doi.org/10.1002/etc.5620200506>
- Nicodemo, D., Maioli, M., Medeiros, H., Guelfi, M., Balieira, K., Jong, D., & Mingatto, F. (2014). Fipronil and imidacloprid reduce honeybee mitochondrial activity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33. <https://doi.org/10.1002/etc.2655>
- Nunes, A., Schmitz, C., Moura, S., & Maraschin, M. (2021). The influence of recent Brazilian policy and legislation on increasing bee mortality. *Research, Society and Development*, 10(4), e36910414157-e36910414157. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14157>
- Paris, L., Roussel, M., Pereira, B., Delbac, F., & Diogon, M. (2017). Disruption of oxidative balance in the gut of the western honeybee *A. mellifera* exposed to the intracellular parasite *Nosema ceranae* and to the insecticide fipronil. *Microbial Biotechnology*, 10, 1702 - 1717. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12772>

- Pashte, V. V., & Patil, C. S. (2018). Toxicity and poisoning symptoms of selected insecticides to honey bees (*A. mellifera mellifera* L.). *Archives of Biological Sciences*, 70(1), 5-12. <https://doi.org/10.2298/ABS170131020P>
- Perez-Riverol, A., Pereira, F., Lasa, A., Fernandes, L., Santos-Pinto, J., Justo-Jacomini, D., Azevedo, G., Bazon, M., Palma, M., Zollner, R., & Brochetto-Braga, M. (2016). Clonagem molecular, expressão e imunorreatividade de IgE da fosfolipase A1, um dos principais alérgenos do veneno de *Polybia paulista* (Hymenoptera: Vespidae). *Toxicon: jornal oficial da Sociedade Internacional de Toxinologia*, 124, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2016.11.006>
- Pesticide Action Network. (2022). *Pesticide database*. <https://www.panna.org/resources/pan-2022-2023-annual-report/>
- Pisa, L. W., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Downs, C. A., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., McField, M., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, D., Van der Sluijs, J. P., Van Dyck, H., Wiemers, M. (2015). Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental science and pollution research*, 22, 68-102. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x>
- Pisa, L., Goulson, D., Yang, E.-C., Gibbons, D., Sánchez-Bayo, F., Mitchell, E., Aebi, A., van der Sluijs, J., MacQuarrie, C.J.K., Giorio, C., Long, E.Y., McField, M., Bijleveld van Lexmond, M., Bonmatin, J.-M. (2021). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 11749–11797. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0341-3>
- Prezoto, F., Barbosa, B. C., Maciel, T. T., & Detoni, M. (2016). Agroecossistemas e o serviço ecológico dos insetos na sustentabilidade. *Sustentabilidade: Tópicos da Zona da Mata Mineira. 1ª ed. Juiz de Fora, Real Consultoria em Negócios Ltda*, 19-30.
- Prezoto, F., Maciel, T., Detoni, M., Mayorquin, A., & Barbosa, B. (2019). Pest Control Potential of Social Wasps in Small Farms and Urban Gardens. *Insects*, 10. <https://doi.org/10.3390/insects10070192>
- Prezoto, F., Nascimento, F. S., Barbosa, B. C., & Somavilla, A. (2021). Neotropical social wasps. Springer, Cham. DOI, 10, 978-3.
- Rabb, R. L., & Lawson, F. R. (1958). Some Factors Influencing the Prédation of *Polistes* Wasps on the Tobacco Hornworm. *Journal of Economic Entomology*, 50(6). <https://doi.org/10.1093/jee/50.6.778>

- Renzi, M., Amichot, M., Pauron, D., Tchamitchian, S., Brunet, J., Kretzschmar, A., Maini, S., & Belzunces, L. (2016). Chronic toxicity and physiological changes induced in the honey bee by the exposure to fipronil and *Bacillus thuringiensis* spores alone or combined. *Ecotoxicology and environmental safety*, 127, 205-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.01.028>
- Richards, O. (1978). *The social wasps of America excluding the Vespinae*. British Museum (Natural History). Recuperado de CABI: 19780556451.
- Richards, O. W. (1971). The biology of the social wasps (Hymenoptera, Vespidae). *Biological Reviews*, 46(4), 483-528. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1971.tb01054.x>
- Richter, M. R. (1990). Hunting social wasp interactions: influence of prey size, arrival order, and wasp species. *Ecology*, 71(3), 1018-1030. <https://doi.org/10.2307/1937370>
- Richter, M. R., & Jeanne, R. L. (1985). Predatory behavior of *Polybia sericea* (Olivier), a tropical social wasp (Hymenoptera: Vespidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 16, 165-170. <https://doi.org/10.1007/BF00295151>
- Richter, M.R., 2000. Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) foraging behavior. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 121–150. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.121>
- Roat, T. C., Carvalho, S. M., Nocelli, R. C., Silva-Zacarin, E. C., Palma, M. S., & Malaspina, O. (2013). Effects of sublethal dose of fipronil on neuron metabolic activity of Africanized honeybees. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 64, 456-466. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9849-1>
- Romero, A., Ramos, E., Ares, I., Castellano, V., Martínez, M., Martínez-Larrañaga, M. R., Anadón, A., Martínez, M. A. (2016). Fipronil sulfone induced higher cytotoxicity than fipronil in SH-SY5Y cells: Protection by antioxidants. *Toxicology letters*, 252, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.04.005>
- Rust, M. K., Choe, D. H., Wilson-Rankin, E., Campbell, K., Kabashima, J., & Dimson, M. (2017). Controlling yellow jackets with fipronil-based protein baits in urban recreational areas. *International Journal of Pest Management*, 63(3), 234–241. <https://doi.org/10.1080/09670874.2016.1227883>
- Saka, M., & Tada, N. (2021). Acute and chronic toxicity tests of systemic insecticides, four neonicotinoids and fipronil, using the tadpoles of the western clawed frog *Silurana tropicalis*. *Chemosphere*, 270, 129418. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129418>
- Santos, G. M. D. M., Aguiar, C. M. L., & Mello, M. A. R. (2010). Flower-visiting guild associated with the Caatinga flora: Trophic interaction networks formed by social

- bees and social wasps with plants. *Apidologie*, 41, 466–475. <https://doi.org/10.1051/apido/2009081>
- Seydi, E., Mehrpouya, L., Sadeghi, H., Rahimi, S., & Pourahmad, J. (2021). Luteolin attenuates Fipronil-induced neurotoxicity through reduction of the ROS-mediated oxidative stress in rat brain mitochondria. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 173, 104785. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104785>
- Sguarizi-Antonio, D., Batista, N. R., Michelutti, K. B., Soares, E. R. P., Solórzano, J. C. J., Cardoso, C. A. L., Lima-Júnior, S. E., Torres, V. O., Antonialli-Júnior, W. F. (2022). Anthropogenic action affects the cuticular chemical profile of social wasps. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 62, e202262013. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2022.62.013>
- U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Fipronil: EPA 737-F-96-005* (Relatório No. EPA 737-F-96-005). Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, Office of Pesticide Programs. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1001KCY.PDF>
- Silva-Filho, R., Brügger, B. P., Zanúncio, J. C., & Cassino, P. C. R. (2020). Social wasps in exotic forest planting and Atlantic rainforest in the Neotropical region. *Sociobiology*, 67(2), 308–311. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i2.4834>
- Silva-Pereira, V. D., & Santos, G. M. (2006). Diversity in bee (Hymenoptera: Apoidea) and social wasp (Hymenoptera: Vespidae, Polistinae) community in "campos rupestres", Bahia, Brazil. *Neotropical Entomology*, 35, 165–174. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000200003>
- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D. W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C. H., Liess, M., Long, E., Mcfield, M., Mineau, P., Mitchell, E. A., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Pisa, L., Settele, J., Stark, J. D., Tapparo, A., Van Dyck, H., Van Praagh, J., Van Der Sluijs, J. P., Whitehorn, P. R., & Wiemers, M. (2015). Inseticidas sistêmicos (neonicotinóides e fipronil): Tendências, usos, modo de ação e metabólitos. *Ambiente, Ciência, Poluição, Res.*, 22(1), 5–34. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>
- Somavilla, A., & Carpenter, J. M. (2020). Key to the genera of social wasps (Polistinae) occurring in neotropics. In *Neotropical social wasps: Basic and applied aspects* (pp. 327–336). Springer International Publishing.

- Sparks, T., & Bryant, R. (2022). Innovation in Insecticide Discovery - Approaches to the Discovery of New Classes of Insecticides. *Pest management science*. <https://doi.org/10.1002/ps.6942>
- Sparks, T.C., Lorsbach, B.A. (2017). Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. *Pest Manag. Sci.* 73, 672–677. <https://doi.org/10.1002/ps.4457>
- Stark, J. D., & Vargas, R. I. (2005). Toxicity and hazard assessment of fipronil to *Daphnia pulex*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 62(1), 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.02.011>
- Sühs, R. B., Somavilla, A., Köhler, A., & Putzke, J. (2009). Vespídeos (Hymenoptera, Vespidae) vetores de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 7(2). Recuperado de CABI: 20093189644.
- Suzuki, T. (1978). Area, efficiency and time of foraging in *Polistes chinensis antennalis* Pérez (Hymenoptera, Vespidae). *Japanese Journal of Ecology*, 28(3), 179-189. https://doi.org/10.18960/seitai.28.3_179
- Teixeira, G.V.M., De Souza, A.R., Barbosa, W.F., Bernardes, R.C., Lima, M.A.P. (2022). Chronic exposure to a common biopesticide is detrimental to individuals and colonies of the paper wasp *Polistes versicolor*. *Sci. Total Environ.* 810, 152108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152108>
- Thompson, D. A., Lehmler, H. J., Kolpin, D. W., Hladik, M. L., Vargo, J. D., Schilling, K. E., LeFevre, G. H., Peeples, T. L., Poch, M. C., LaDuca, L. E., Cwiertny, D. M., Field, R. W. (2020). A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(6), 1315-1346. <https://doi.org/10.1039/c9em00586b>
- Tingle, C.C., Rother, J.A., Dewhurst, C.F., Lauer, S. & King, W.J. (2003). Fipronil environmental fate, ecotoxicology and human health concerns. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 176: 1-66. doi: 10.1007/978-1-4899-7283-5_1
- Tomazini, R., Saia, F. T., van Der Zaan, B., Grosseli, G. M., Fadini, P. S., de Oliveira, R. G., Gregoracci, G. B., Mozetto, A., van Vugt-Lussenburg, B. M. A., Brouwer, A., Langenhoff, A. A. M., Langenhoff, A. A. (2021). Biodegradation of fipronil: transformation products, microbial characterisation and toxicity assessment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05071-w>
- Tomlin, C. D. S. (2000). *The pesticide manual* (12th ed.). British Crop Protection Council.

- Traynor, K. S., Pettis, J. S., Tarpy, D. R., Mullin, C. A., Frazier, J. L., Frazier, M., & Vanengelsdorp, D. (2016). In-hive Pesticide Exposome: Assessing risks to migratory honey bees from in-hive pesticide contamination in the Eastern United States. *Scientific reports*, 6(1), 33207. <https://doi.org/10.1038/srep33207>
- Trindade, O. S. N., Lima, L. F. F., Azevedo, G. G., & Junior, J. C. S. (2017). Social wasp fauna (Hymenoptera: Polistinae) from the caatinga and the Atlantic Forest of the state of Bahia, Brazil. *Revista Nordestina de Biologia*, 25(1). <https://doi.org/10.22478/UFPB.2236-1480.2017V25N1.22787>
- Turillazzi, S. (1983). Extranidal Behaviour of *Parischnogaster nigricans serrei* (Du Buysson) (Hymenoptera, Stenogastrinae) 1. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 63(1), 27-36. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1983.tb00738.x>
- Van der Sluijs, J. P., Simon-Delso, N., Goulson, D., Maxim, L., Bonmatin, J. M., & Belzunces, L. P. (2013). Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current opinion in environmental sustainability*, 5(3-4), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.05.007>
- VanEngelsdorp, D., Hayes Jr, J., Underwood, R. M., & Pettis, J. (2008). A survey of honey bee colony losses in the US, fall 2007 to spring 2008. *PloS one*, 3(12), e4071. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004071>
- Vidau, C., Diogon, M., Aufauvre, J., Fontbonne, R., Viguès, B., Brunet, J. L., Texier, C., Biron, D. G., Blot, N., El Alaoui, H., Belzunces, L. P., Delbac, F. (2011). Exposure to sublethal doses of fipronil and thiacloprid highly increases mortality of honeybees previously infected by *Nosema ceranae*. *PloS one*, 6(6), e21550. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021550>
- Vieira, L., Gouvêa, T., Almeida, J., Barbado, N., Shiamamoto, C., & Souza, M. (2023). Community of social wasps (Hymenoptera, Vespidae) in Atlantic Forest remnants in the Western of the state of Paraná, Southern Brazil. *Revista Agrogeoambiental*. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v15nunico20231794>
- Wang, X., Martínez, M. A., Wu, Q., Ares, I., Martínez-Larrañaga, M. R., Anadón, A., & Yuan, Z. (2016). Fipronil insecticide toxicology: oxidative stress and metabolism. *Critical reviews in toxicology*, 46(10), 876-899. <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1223014>
- Wenzel, J. W. (1991). Evolution of nest architecture. In *The social biology of wasps* (pp. 480-519). Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9781501718670-017>
- Wilson, E. O. (1971). *The insect societies*. Harvard University Press.

- Wilson, E. O., & Hölldobler, B. (2005). The rise of the ants: a phylogenetic and ecological explanation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(21), 7411-7414. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502264102>
- Zaluski, R., Bittarello, A. C., Vieira, J. C. S., Braga, C. P., Padilha, P. D. M., Fernandes, M. D. S., Bovi, T. S., Orsi, R. D. O. (2020). Modification of the head proteome of nurse honeybees (*Apis mellifera*) exposed to field-relevant doses of pesticides. *Scientific reports*, 10(1), 2190. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59070-8>
- Zaluski, R., Justulin Jr, L. A., & Orsi, R. D. O. (2017). Field-relevant doses of the systemic insecticide fipronil and fungicide pyraclostrobin impair mandibular and hypopharyngeal glands in nurse honeybees (*Apis mellifera*). *Scientific reports*, 7(1), 15217. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15581-5>
- Zaluski, R., Kadri, S. M., Alonso, D. P., Martins Ribolla, P. E., & de Oliveira Orsi, R. (2015). Fipronil promotes motor and behavioral changes in honey bees (*Apis mellifera*) and affects the development of colonies exposed to sublethal doses. *Environmental toxicology and chemistry*, 34(5), 1062-1069. <https://doi.org/10.1002/etc.2889>
- Zioga, E., Kelly, R., White, B., & Stout, J. C. (2020). Plant protection product residues in plant pollen and nectar: A review of current knowledge. *Environmental research*, 189, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109873>

CAPITULO 1

COMO O INSETICIDA FIPRONIL PODE IMPACTAR COLÔNIAS DA VESPA SOCIAL *Polybia paulista*

Vinicius Edson Soares de Oliveira^{1,2}, Nathan Rodrigues Batista^{1,2}, William Fernando Antonialli-Junior^{1,2,3}.

¹Centro de Estudos em Recursos Naturais, Laboratório de Ecologia Comportamental, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, MS, Brasil;

²Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil;

³Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, MS, Brasil.

RESUMO:

As vespas sociais são grandes predadoras generalistas, sendo importantes no controle biológico, além de também realizarem serviços de polinização. No entanto, ao visitarem e consumirem recursos florais, acabam expostas a diversos inseticidas utilizados nos cultivos, de forma similar as abelhas, entrando nas mesmas rotas de contaminação. Dentre as diferentes classes de inseticidas, os fenilpirazóis (fipronil), são um grupo de inseticidas muito utilizados para o manejo de insetos considerados pragas agrícolas, devido sua ação neurotóxica e efeito sistêmico no corpo vegetal, contudo, não existem estudos investigando as consequências de seu uso sobre as colônias de vespas sociais. Este estudo teve por objetivo identificar a concentração letal média e avaliar os efeitos da exposição a concentrações subletais em forrageadoras da vespa social *Polybia paulista* ao inseticida fipronil na sua sobrevivência. Para a obtenção da concentração letal média (CL₅₀) as vespas foram expostas a diferentes concentrações de fipronil, e a CL₅₀ obtida foi utilizada posteriormente como referência para a obtenção das concentrações subletais. Para a análise de sobrevivência, grupos de vespas controle e grupos de vespas expostas as concentrações subletais foram monitoradas até a morte e, em seguida foi calculado o tempo letal médio (TL₅₀). A CL₅₀, após 24 horas, foi de 0.890 ng i.a./ µL, (~890 ppb). As vespas que foram expostas a qualquer uma das concentrações subletais sobrevivem por um tempo significativamente menor que as vespas do grupo controle. Portanto, nossos resultados demonstram que a exposição ao fipronil afeta a sobrevivência de forrageadoras de *P. paulista*, podendo levar menos tempo para matar metade da população quando comparado ao neonicotinoide tiametoxam, além de que vespas

sociais desta espécie podem ser até 1,4 vezes mais susceptíveis a contaminação por fipronil do que algumas espécies de abelhas.

Palavras-Chave: Fenilpirazois; Polistinae; CL₅₀, Toxicidade.

INTRODUÇÃO

Os inseticidas atuais mais populares são denominados inseticidas sistêmicos representados pela classe dos fenilpirazois e neonicotinoides, que são amplamente utilizados no manejo de pragas, sendo aplicados em larga escala e considerados altamente tóxicos para muitos insetos (Bonmatin et al., 2015), representando um risco significativo para os polinizadores (Zaluski et al., 2015, 2017, 2020). Dentro do grupo dos fenilpirazois, o fipronil se destaca como o principal representante, com ação sistêmica, esse inseticida é absorvido pelas plantas após a aplicação e se distribui por toda a sua estrutura vegetal, via seiva. Ele pode ser encontrado durante todo o período de floração, no pólen e no néctar, além de apresentar grande versatilidade de aplicação (semente, solo, folha e iscas) e um amplo espectro de ação (McMahen et al., 2015; Seydi et al., 2021; Gonçalves et al., 2022).

Os fenilpirazois são inseticidas neurotóxicos, que atuam de forma antagônica aos receptores do ácido gama-aminobutírico (GABA), o que leva ao bloqueio do fluxo de íons de cloreto, resultando em hiperexcitação, paralisia e consequente morte do inseto (Wang et al., 2016; Gupta & Anadón, 2018). As consequências da exposição ao fipronil podem variar de acordo com a dosagem, gerando desde efeitos letais, que causarão diretamente a morte do indivíduo, até efeitos subletais, que podem afetar sua fisiologia e comportamento (Desneux et al., 2007). A exposição a altas doses podem resultar em ação neural excessiva, tremores, paralisia e até morte imediata, em casos de contato direto (Zaluski et al., 2015), já a exposição a doses subletais afeta a percepção gustativa, o aprendizado olfativo, a função motora, a capacidade de aprendizado e a memória (Decourtye et al., 2005; Souza, 2010; de Moraes et al., 2018; Farder-Gomes et al., 2021_b). Além de outros efeitos subletais como, alterações no metabolismo cerebral (Roat et al., 2013), na fisiologia (Zaluski et al., 2020; Farder-Gomes et al., 2021_a) alterações morfológicas (Jacob et al., 2015) e diversas alterações comportamentais, como já demonstrado em trabalhos com abelhas (Aliouane et al., 2009; Bovi et al., 2018; Zaluski et al., 2015; Farder-Gomes et al., 2021_b).

Devido à alta toxicidade desses compostos surgiu uma grande preocupação em relação aos efeitos negativos em abelhas e outros organismos não-alvo (Mulvey & Cresswell, 2020). Em muitos países foram registradas perdas de colônias de abelhas e contaminação do ambiente após a liberação do uso de fenilpirazois em cultivos agrícolas, como na França,

Itália, Alemanha e Eslovênia, levando a proibição da utilização destes compostos a partir de 1999 (Ghisi et al., 2011). A dose letal média (DL₅₀) do fipronil em abelhas é baixa, o que significa que até pequenas quantidades desse composto podem ser altamente tóxicas para *Apis mellifera* e outras abelhas sociais, como as abelhas sem ferrão, sendo considerado altamente tóxico para insetos-alvos e não-alvos (El Hassani et al., 2005).

De fato, Aliouane et al. (2009) demonstraram que a exposição de *A. mellifera* a 0,01 ng/abelha de fipronil resultou em 100% de mortalidade em uma semana, comprometendo funções motoras, cognitivas (como a memória olfativa) e funções sensoriais das abelhas sociais. De acordo com Farder-Gomes et al. (2021_b) a abelha sem ferrão *Partamona helleri*, quando contaminada com este inseticida, tem comprometida sua atividade de forrageamento, bem como pode apresentar distúrbios nas funções cerebrais e motoras (Farder-Gomes et al., 2021_b). Segundo Lourenço et al. (2012) a contaminação de operárias de *Melipona scutellaris* por fipronil pode alterar a velocidade e a distância percorrida pelas forrageadoras, comprometendo sua atividade de forrageio.

Além disso, o fipronil provoca estresse oxidativo e danos cerebrais, afetando a cognição e a comunicação das abelhas sociais (de Moraes et al., 2018; Jacob et al., 2015; Farder-Gomes et al., 2021_b). Holder et al. (2018) apontam o fipronil como o principal inseticida responsável pela mortalidade em massa de *A. mellifera* que ocorreu na França, na década de 1990, e justificam pelo fato, deste inseticida apresentar alta capacidade de bioacumulação e toxicidade prolongada, mesmo em baixas concentrações, podem ser encontradas no néctar e no pólen, representando um risco significativo para a saúde das colônias.

Apesar da proibição dessa classe de inseticidas em outros países, a utilização do fipronil no Brasil não é proibida, no entanto, o seu uso foi restringido no início de 2024, de forma cautelar, até a reanálise do produto ser concluída (Ibama, 2024), desta forma sem a proibição total do seu uso, este produto continua sendo comercializado e utilizado em diversas cultura, possibilitando a contaminação do ambiente e prejudicando insetos não-alvo, como os polinizadores (Zaluski et al., 2015; Castilhos et al., 2019).

Embora exista um conhecimento acumulado sobre os efeitos de inseticidas em abelhas, as vespas sociais ainda carecem de estudos como organismos não-alvo de inseticidas. Apesar da sua importância ecológica e de estarem vulneráveis à exposição a estes compostos, quando elas forrageiam buscando recursos em campos contaminados, estão tão susceptíveis a contaminação quanto as abelhas (Sanchez-Bayo & Goka, 2014; Devi et al., 2021; Choudhary et al., 2022). Por outro lado, em virtude da sua importância ecológica as vespas sociais possuem grande potencial para serem utilizadas no manejo integrado de pragas

como uma opção de controle biológico, por serem predadoras de uma grande diversidade de insetos considerados pragas agrícolas (Prezoto et al., 2019). Além disso, vespas sociais são abundantes em muitos ambientes em todo mundo (Prezoto et al., 2016, 2019, 2021) e podem superar as abelhas em relação a abundância e riqueza de espécies como visitantes florais, exercendo um importante papel como agentes polinizadores facultativos de muitas espécies de plantas (Sühs et al. 2009; Clemente et al., 2012).

Neste contexto, estudos recentes avaliaram que vespas da espécie *Polybia paulista* são tão sensíveis aos efeitos do neonicotinoide tiametoxam quanto as abelhas já estudadas, e que, a exposição crônica a doses e concentrações subletais afetam negativamente a sobrevivência, mobilidade e fisiologia destas vespas (Batista et al., 2022, 2023). Em outro estudo recente, Teixeira et al. (2022) demonstraram que quando expostas ao biopesticida azadiractina, operárias da vespa social *Polistes versicolor* tem sua expectativa de vida diminuída. Crispim et al. (2023) também demonstraram que a exposição a concentrações subletais do tiametoxam pode reduzir de forma significativa a mobilidade e a manutenção da colônia de forrageadoras da vespa social *Protopolybia exigua*.

Embora o declínio de polinizadores tenha sido inicialmente observado em abelhas de interesse econômico, como *Apis mellifera*, espécies de vespas também podem estar enfrentando uma “extinção silenciosa”. A ausência de monitoramento dessas populações, somada ao fato de suas colônias não serem exploradas comercialmente, dificulta a percepção da ameaça que elas enfrentam (Teixeira et al., 2022; Batista et al., 2022, 2023; Crispim et al., 2023).

Apesar das recentes descobertas proporcionadas por estes estudos, a literatura atual disponível apresenta uma lacuna em relação a toxicidade de diferentes inseticidas e dos efeitos subletais destes, sobre a fisiologia, o comportamento e a reprodução de colônias de vespas sociais, não existindo nenhum estudo, ainda, que tenha avaliado os efeitos tóxicos do inseticida fipronil sobre colônias destes insetos. Assim o objetivo deste estudo foi testar as hipóteses: 1 - Os efeitos do fipronil sobre a sobrevivência de forrageadoras de *P. paulista* são tão significativos quanto os efeitos causados pelo neonicotinoide tiametoxam. 2 - O fipronil apresenta elevada toxicidade para a vespa social *Polybia paulista*, podendo ser comparável ou superior à observada em abelhas sociais, comumente estudadas.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Coleta e manutenção de colônias de *Polybia paulista*

Para a realização dos experimentos foram feitas coletas de forrageadoras de *P. paulista* de colônias nidificadas nos arredores do Campus da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e outros locais nos arredores do município de Dourados, MS (22° 13' 16" S; 54° 48' 20" W). Foram coletadas forrageadoras provenientes de três colônias diferentes para a coleta de dados em cada experimento realizado, que estavam saindo/retornando ao ninho, com o auxílio de uma rede entomológica. Ao todo, contabilizando os dois experimentos realizados, foram utilizadas, 555 forrageadoras de nove colônias diferentes. As forrageadoras coletadas foram separadas por colônia e acondicionadas em potes plásticos de 1 litro, com furos na tampa, na base e nas laterais para permitir o fluxo de ar. Estes recipientes foram mantidos em estufa de demanda bioquímica de oxigênio (B.O.D.) (30°C±2°C, UR=80%±10%) com água e mel (1:1) *ad libitum* pelo período de 24 horas para aclimatar os insetos e evitar qualquer influência de estresse durante os experimentos.

Antes e após a realização de cada experimento, a B.O.D. foi esterilizada com álcool 70, de acordo com Metodologia adaptada de OECD (1998).

Determinação de concentração letal média (CL₅₀)

Para a contaminação das vespas foi preparada, previamente uma solução estoque na concentração de 1000 ng i.a./μL, obtida a partir do produto formulado FIPRONIL 800 WG (80% i.a. Regent 800WG®).

Antes da definição das concentrações focais foi realizado um teste prévio para determinação da faixa de resposta ao inseticida. Este teste consistiu em diluições em série (1:10) da concentração estoque (contendo 1000 ng i.a./μL) diluída em xarope composto por açúcar e água (1:1). Quatro concentrações foram obtidas em ordem decrescente das faixas que apresentaram de 0 a 100% de mortalidade (100; 10; 1; 0,1). Após estabelecer a faixa de resposta (0,1 e 1 ng i.a./μL) foram feitas novas diluições em cascata para obtenção das concentrações focais (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1; 1,3; 1,6 e 2 ng i.a./ul) para 24 horas (Fig. 1). Como forma de controle dos efeitos das doses um grupo de vespas foram alimentadas somente com o xarope, composto por água e açúcar (1:1).

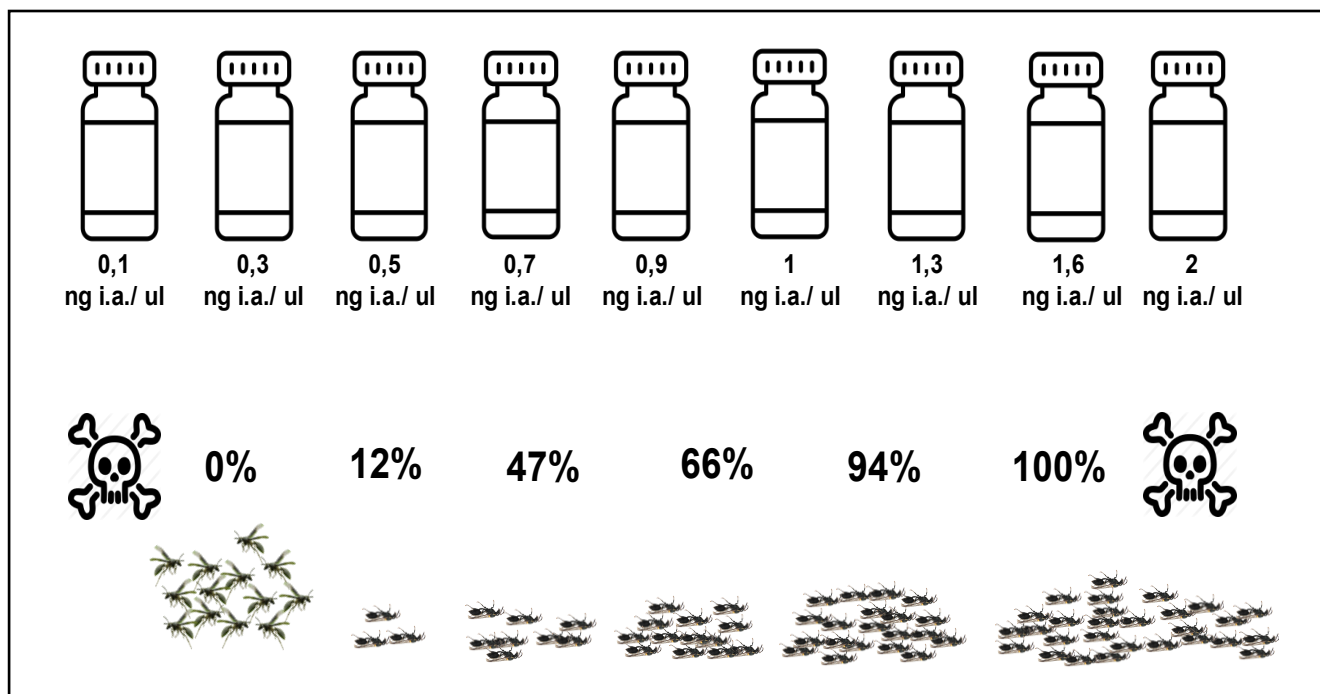


Fig. 1. A partir da determinação da faixa de resposta ao inseticida, responsável por causar de 0 % a 100 % de mortalidade em 24 horas (0,1 e 1 ng i.a./ μ L), foram feitas novas diluições em cascata para a obtenção das concentrações focais (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1; 1,3; 1,6 e 2 ng i.a./ul) utilizadas para a determinação da CL_{50} .

Após aclimação, as vespas foram separadas em grupos de 10 indivíduos, por colônia, proveniente de 3 colônias diferentes, totalizando 30 indivíduos por tratamento (doses e controle) e alocadas em potes plásticos de 250 mL, com furos para a passagem de ar, além de furos maiores nas laterais, nos quais foram inseridos 2 microtubos de 1,5 mL, por pote. Em um dos microtubos havia 1 mL de solução nas diferentes concentrações focais ou somente xarope, no caso do grupo controle e no outro microtubo era colocado água destilada para o consumo *ad libitum*. Foram feitos furos nas extremidades menores dos microtubos para permitir o consumo *ad libitum* pelas vespas. Os potes plásticos com as vespas foram então acondicionados em B.O.D. durante 24 horas, em seguida, foi contabilizado o número de vespas mortas após exposição em cada concentração testada. As vespas foram consideradas mortas quando, após tocadas por um pincel fino, não apresentavam nenhuma reação (Fig.3).

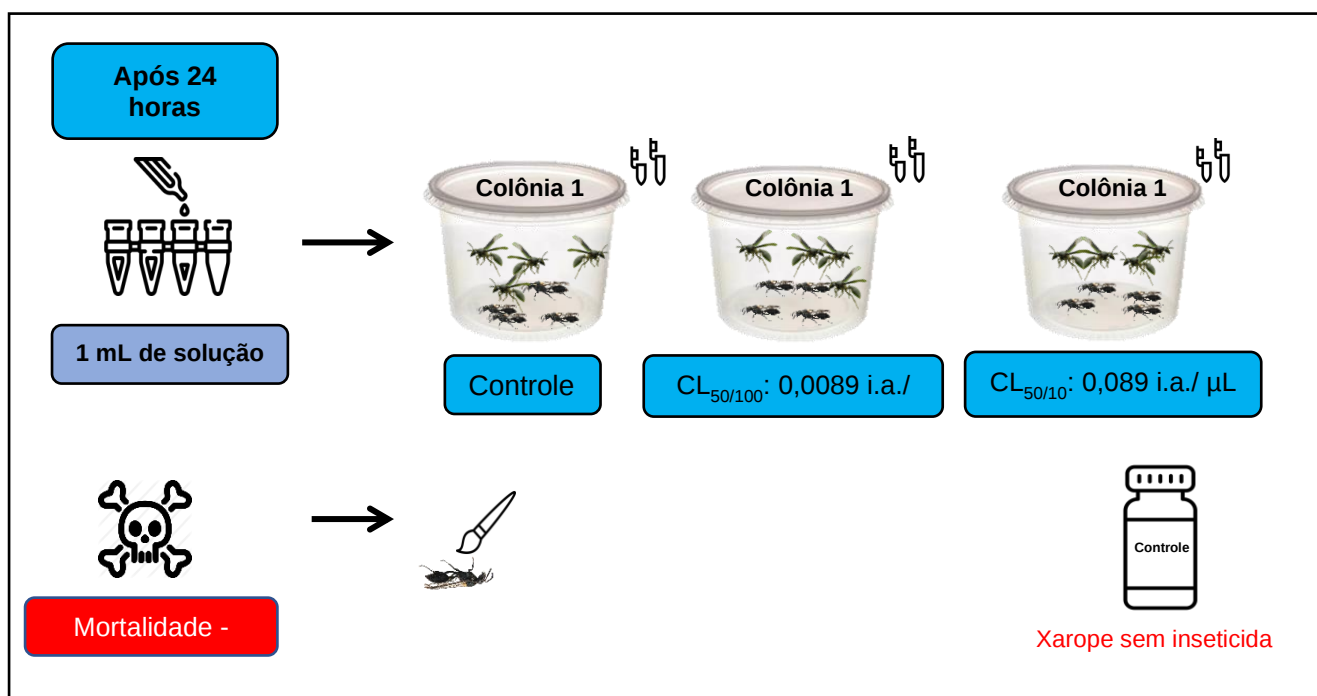


Fig. 2. Esquema do experimento de exposição oral para a determinação da CL_{50} . Após 24 horas, forrageiras de três colônias diferentes foram alocadas em grupos de 10 indivíduos por pote plástico (250 mL), totalizando 30 indivíduos por tratamento. Cada pote continha dois microtubos de 1,5 mL: um com 1 mL de solução (com uma das concentrações focais ou apenas xarope, no caso do controle) e outro com água destilada, ambos com furos nas extremidades para permitir o consumo *ad libitum*. Os potes foram mantidos em B.O.D. por 24 horas, e a mortalidade foi contabilizada.

Análise de sobrevivência e tempo médio letal (TL_{50})

A partir da concentração da solução estoque foram realizadas diluições em xarope até a obtenção das concentrações $CL_{50/100}$ e $CL_{50/10}$, baseadas nas concentrações de CL_{50} obtidas previamente.

Para este experimento foram coletadas 45 forrageadoras, provenientes de 3 colônias, divididas em grupos de 15 vespas, por colônia, que foram mantidos em potes plásticos de 250 mL em B.O.D. nas mesmas condições já descritas acima, após serem expostas cronicamente as concentrações $CL_{50/100}$ e $CL_{50/10}$. Um outro grupo de 45 vespas, formado por 15 vespas de cada colônia, proveniente das mesmas 3 colônias, foi mantido sem contaminação como forma de controle. Para a contaminação crônica foi oferecida para cada grupo de vespas 1 mL da solução contaminada em microtubos de 1,5 mL com furos nas extremidades para permitir o consumo *ad libitum* pelas vespas.

O conteúdo dos microtubos contendo as concentrações focais foi renovado a cada 2 dias para evitar a degradação da solução. A mortalidade foi contabilizada diariamente, por

45 dias e as vespas mortas foram retiradas dos potes para evitar o desenvolvimento de patógenos (Fig.3).

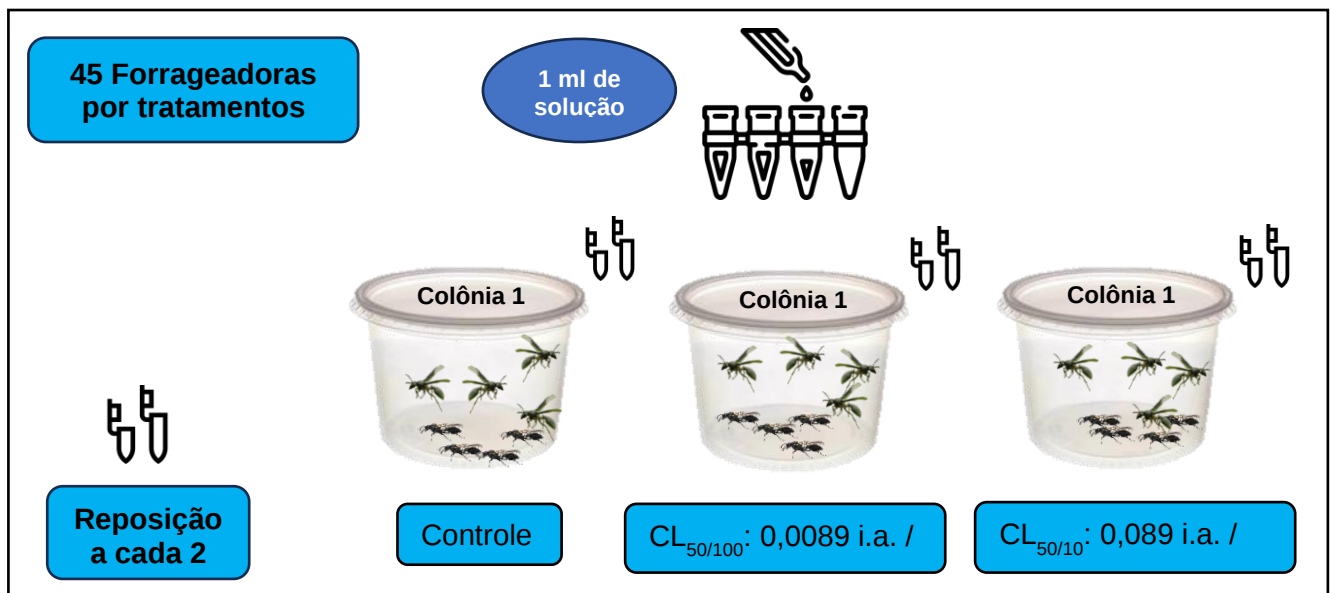


Fig. 3. Esquema do experimento de análise de sobrevivência e tempo médio letal (TL_{50}): foram separados grupos de 15 forrageadoras, de três colônias diferentes, constituindo 45 forrageadoras por tratamento. Os tratamentos consistiram em duas concentrações subletais $CL_{50/100}$, $CL_{50/10}$ e grupo controle, que foram expostas por 45 dias, com oferta *ad libitum* da solução nos diferentes tratamentos e água destilada. A cada dois dias, as soluções eram trocadas. A mortalidade foi registrada diariamente e indivíduos mortos foram removidos.

Análises estatísticas

Para a obtenção da concentração letal média (CL_{50}), os dados de mortalidade, obtidos nos ensaios, foram analisados com o modelo linear generalizado com distribuição binomial. Para avaliar a qualidade do ajuste do modelo aos dados, foi utilizado um envelope simulado meio normal, para isto, utilizamos o pacote hnp (Moral et al., 2017). Em seguida, para se determinar o valor de CL_{50} oral, bem como os valores de intervalos de confiança de 95%, os dados de mortalidade foram submetidos à análise estatística pelo método Probit. A análise de sobrevivência foi realizada usando o modelo de regressão de Cox e o pacote “survival”. O pacote “ecotox” foi utilizado para analisar o tempo letal médio. Esses procedimentos foram realizados utilizando o software R (R Core Team, 2017).

RESULTADOS

Determinação de concentração letal média (CL_{50})

Com base nos dados de mortalidade, obtidos 24 horas após a exposição, obtivemos uma CL_{50} de 0.890 ng i.a./ μ L, (~890 ppb), (Fig 4).

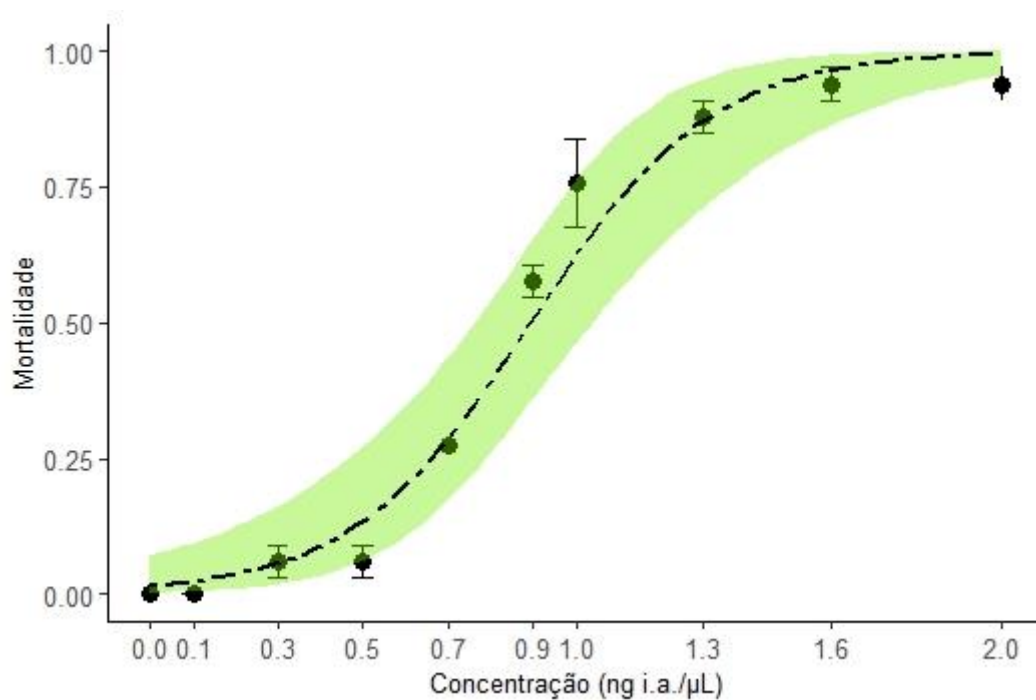


Fig. 4. Curva de resposta (CL_{50}) para as doses: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1; 1,3; 1,6 e 2 ng i.a./ul. CL_{50} = 0.8902281 ng i.a./uL, SE = 0.460558, C.I. = 0.7981165 $\pm$ 0.9823397 método binomial, log-log.

Análise de sobrevivência e tempo médio letal (TL_{50})

O tempo letal médio das vespas expostas a $CL_{50/100}$ e $CL_{50/10}$ foram de 9,04 (SE= 0,54) e 2,66 dias (SE = 0,11) dias, respectivamente, e para o grupo controle foi de 29,20 (SE = 1,29) dias. O tempo letal médio diferiu significativamente entre cada tratamento e controle ($p < 0,0001$) (Fig. 5).

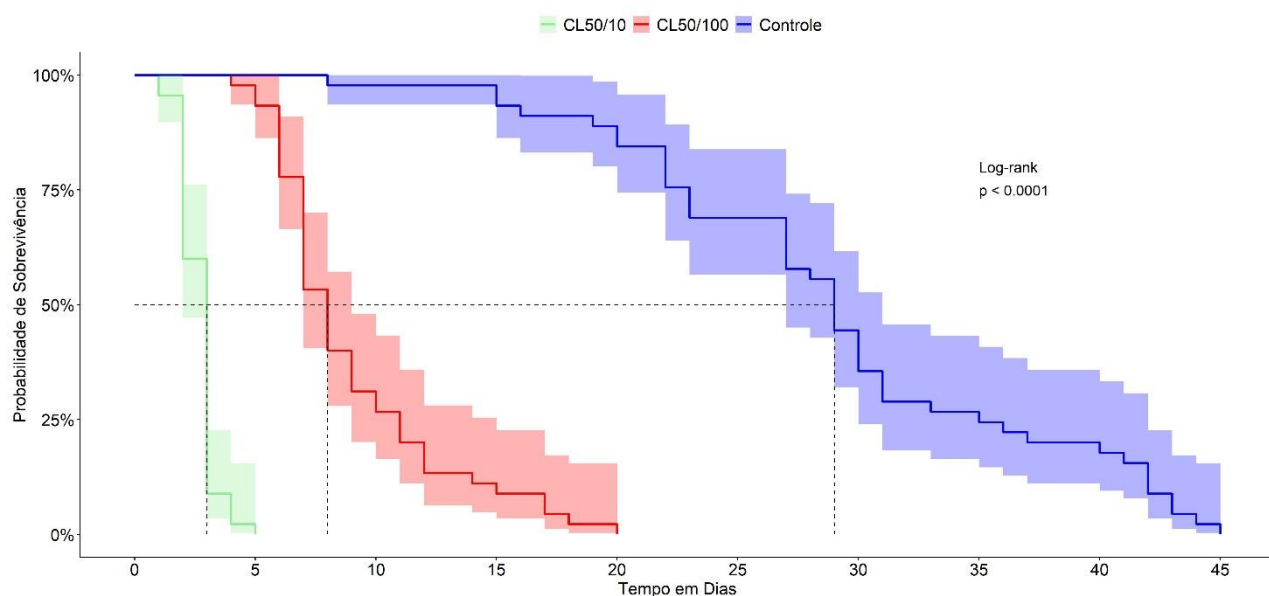


Fig. 5. Taxas de sobrevivência de forrageadoras de *Polybia paulista* após a exposição crônica ao fipronil em concentrações subletais e controle.

DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a exposição crônica a concentrações subletais do inseticida fipronil afeta negativamente a sobrevivência de forrageadoras da espécie *P. paulista*. Encontramos uma CL_{50} de 0,890 ng i.a./ μ L (fig. 1) e, quando comparada com a CL_{50} do fipronil para *A. mellifera*, que é de (1,27 ng/ μ L), constatamos que estas vespas são 1,4 vezes mais sensíveis a este composto (Roat et al., 2013; Decourtye et al., 2005; Tingle et al., 2003). Por outro lado, são 3,7 vezes menos sensíveis que a abelha *Scaptotrigona postica*, cuja CL_{50} para este composto é de 0,24 ng/ μ L (Jacob, 2013).

Segundo Holder et al. (2018) o fipronil é um inseticida altamente tóxico para as abelhas melíferas, sendo considerado o principal responsável pela mortalidade em massa das colônias de abelhas ocorridas na França na década de 1990, portanto, com base nestes resultados, podemos inferir que o fipronil pode ser igualmente tóxico as colônias de vespas sociais, que se expõem quando forrageiam em áreas contaminadas de forma similar as abelhas.

Quando comparamos nossos dados com a CL_{50} de 0,235 ng i.a./ μ L descrita por Batista et al. (2023) que contaminaram forrageadoras desta espécie com tiametoxam, constatamos que forrageadoras desta espécie são cerca de 4 vezes mais sensíveis ao neonicotinoide, quando comparado ao fipronil. Uma possível explicação para esta maior sensibilidade ao tiametoxam pode estar relacionado ao processo de metabolização das enzimas que ocorre de forma diferente para os metabolitos deste inseticida, sendo que a Clotianidina e o N-desmetil-

tiametoxam tem sua ação toxicológica aumentada no organismo, pois se ligam mais fortemente aos receptores nicotínicos de acetilcolina, aumentando sua toxicidade para insetos (Nauen et al., 2003).

Segundo Pisa et al. (2015) outro fator importante a ser destacado sobre o a toxicidade dos neonicotinoides e do fipronil está relacionado ao tempo de exposição, visto que pode ampliar a toxicidade desses inseticidas quando expostas a períodos longos, sobretudo do fipronil, por ser persistente, pode consequentemente levar a prováveis efeitos crônicos, que podem ser observados na forma de déficits cognitivos, redução de fertilidade e alterações comportamentais. Ainda de acordo com Pisa et al. (2015) existem outros fatores que podem influenciar a toxicidade de inseticidas à abelhas, como, por exemplo, a dose letal média dos inseticidas neonicotinoides e fipronil, que sofrem variação sob condições abióticas e bióticas diferentes; diferenças nas condições das abelhas testadas (saúde das abelhas) e exposição prévia das abelhas a outros inseticidas (Coker et al., 2018; Antonangeli et al., 2023), fatores que talvez também possam influenciar nos efeitos dos inseticidas sobre as vespas sociais.

Uma variável que pode ser levada em consideração para estas diferenças de sensibilidade na mesma espécie (Batista et al., 2022, 2023), é que, além do fato de serem inseticidas diferentes, há as diferenças na suscetibilidade das colônias e, também as variações ambientais sobre as quais as colônias estavam submetidas, uma vez que apesar das coletas terem sido realizadas na mesma população, aconteceram em anos distintos. Nas atuais condições de mudanças climáticas, a cada ano as colônias vem experimentando condições significativamente distintas (World Meteorological Organization, 2023_a, 2023_b; Copernicus Climate Change Service, 2025) sendo que segundo Dejean et al. (2011) as vespas sociais são sensíveis às variações climáticas, como mudanças nas chuvas e temperatura, que podem impactar significativamente suas populações. Além disto, Dou et al. (2022) discutem que fatores ambientais como temperatura e condições de pré-exposição também podem influenciar a toxicidade dos inseticidas.

As vespas contaminadas com a $CL_{50/10}$ sobreviveram por um tempo significativamente menor que as vespas contaminadas com a $CL_{50/100}$, e os dois tratamentos sobreviveram por um tempo significativamente menor quando comparadas com o grupo controle (Fig. 2). Ao compararmos nossos resultados com os obtidos por Costa (2015), que avaliou os efeitos do fipronil sobre colônias de *Melipona scutellaris*, o TL_{50} ($CL_{50/10}$) foi de 4,37 dias e o TL_{50} ($CL_{50/100}$) foi de 4,47 dias, quando comparamos com os dados que obtivemos em nosso estudo pode-se avaliar que o TL_{50} ($CL_{50/10}$) 2,66 dias, é 1,6 vezes menor para operárias de *P. paulista*, enquanto que a TL_{50} ($CL_{50/100}$) de 9,04 dias é 2,02 vezes maior para *P. paulista*. Isso indica que ao menos para a maior concentração testada, o fipronil tem

a capacidade de matar a população de vespas contaminadas em menos tempo que as operárias da abelha nativa *M. scutellaris*.

Nossos valores de TL_{50} para o fipronil foram menores que os obtidos por Batista et al. (2023) com a mesma espécie, *P. paulista* exposta ao tiametoxam: $TL_{50} (CL_{50/10}) = 12,52$, $TL_{50} (CL_{50/100}) = 27,48$ dias. Isto demonstra que tanto para a maior quanto para a menor concentração testada, o fipronil leva menos tempo para matar metade da população de vespas desta espécie quando comparada ao tiametoxam. Além disto, apesar do inseticida tiametoxam ter uma CL_{50} menor do que a encontrada para o Fipronil, isso não torna o fipronil menos tóxicos a elas, uma vez que outros parâmetros também devem ser avaliados para determinar a toxicidade de um inseticida, como a característica de bioacumulação e toxicidade reforçada ao longo do tempo (TRT) (Holder et al., 2018). O fipronil tem a capacidade de se bioacumular e gerar TRT em abelhas, como demonstrado por Holder et al. (2018), enquanto o tiametoxam não, isto significa que o fipronil pode ser mais tóxico em exposições prolongadas, o que o torna um risco significativo a saúde das colônias a longo prazo, podendo atingir as vespas sociais de forma semelhante.

O fipronil é um inseticida altamente persistente (Pisa et al., 2015), e representa um grande risco para os insetos não-alvo, como as vespas sociais, pois, ele pode se acumular nos organismos ao longo do tempo, em um processo conhecido como bioacumulação (Holder et al., 2018). Esse acúmulo é resultado de exposições contínuas que podem ocorrer quando as vespas sociais forrageiam em campos contaminados e entram em contato com resíduos do inseticida presentes no néctar e flores das plantas tratadas (Mulvey & Cresswell, 2020), ou ao forragearem em áreas adjacentes a campos de cultivo tratados, mesmo que não tratados diretamente, uma vez que flores de borda de campo e de plantas nativas podem conter resíduos, representando outra rota de exposição que não somente na própria área de monocultura, como demonstrado para abelhas selvagens e melíferas (Ward et al., 2022; Zioga et al., 2023). Nossos resultados apontam que a exposição prolongada ao fipronil afeta negativamente a sobrevivência de *P. paulista*, o que pode colocar em risco as populações desta espécie de vespa social. A falta de monitoramento pode levar a um declínio não percebido dessas populações, somado a outros fatores além do uso de inseticidas, como mudanças ambientais ou a invasão de espécies, destacando a necessidade de proteção para esses insetos não-alvo (Rankin et al., 2022).

Outro ponto a ser destacado é sobre as diferenças na exposição de espécies diferentes de vespas sociais, pois apesar de existirem estudos específicos sobre os efeitos dos inseticidas em vespas de ninho aberto e fechado, a ecologia das vespas sociais sugere que a estrutura do ninho pode influenciar o risco de exposição aos inseticidas, de forma indireta (O'Donnell,

2000; Richards et al., 2017). Dada a diferença na estrutura e na localização dos ninhos, é possível que as vespas sociais de ninho aberto, por serem mais expostas ao ambiente, estejam em maior risco de contaminação por inseticidas, enquanto as vespas de ninho fechado possam ter algum nível de proteção, dependendo da localização de seus ninhos e do comportamento de forrageamento (O'Donnell, 2000). Esse aspecto ainda carece de investigação mais aprofundada, pois além da estrutura e da localização dos ninhos, a população de colônias de vespas sociais de ninho aberto é menor que as de ninho fechado, como por exemplo para o gênero *Polistes* que possui de 50 a 500 operárias no ninho, enquanto para *Polybia* varia de 1.000 a 10.000 operárias no ninho (O'Donnell, 2000; Dejean et al., 2011).

Este estudo representa os primeiros passos para entender os efeitos do fipronil sobre colônias de vespas sociais, com bases nos dados obtidos é possível entender os efeitos letais que o fipronil causa nas forrageadoras e o efeito do tempo sobre a toxicidade deste composto, sendo necessários estudos posteriores que investiguem o impacto sobre outros parâmetros, a fim de termos uma melhor compreensão dos efeitos de inseticidas sistêmicos sobre vespas sociais.

Portanto, concluímos que colônias de vespas sociais da espécie *P. paulista* estão sendo afetadas pela contaminação ao inseticida fipronil, tendo sua sobrevivência diminuída significativamente pela exposição crônica às concentrações subletais deste inseticida, podendo matar metade da população de vespas desta mesma espécie em menor tempo que o tiametoxam, além de apresentar uma CL_{50} menor que a determinada para *A. melífera*. Tendo em vista que os protocolos atualmente estabelecidos não protegem as vespas sociais, estudos futuros devem avaliar o efeito de inseticidas sistêmicos em outras espécies de vespas sociais para compreendermos qual a extensão real dos problemas que estes insetos não-alvo estão enfrentando e para estabelecer parâmetros que preservem a sua biodiversidade.

Diante desse cenário, com as pesquisas existentes sobre os efeitos dos inseticidas sobre as vespas sociais, somados a estes novos dados que apresentamos para o inseticida fenilpirazol fipronil, recomenda-se a revisão das regulamentações sobre o uso do fipronil e a ampliação das pesquisas sobre seus impactos em insetos sociais não-alvo, como as vespas sociais, explorando em estudos as toxicidades de diferentes inseticidas sobre a sua sobrevivência e biologia, afim de entender os reais impactos que os inseticidas podem causar sobre suas colônia, conservação e biodiversidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliouane, Y., Hassani, A., Gary, V., Armengaud, C., Lambin, M., & Gauthier, M. (2009). Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: Effects on behavior. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(3), 113–122. <https://doi.org/10.1897/08-110.1>
- Antonangeli, L., Kenzhebekova, S., & Colosio, C. (2023). Neurobehavioral effects of low-dose chronic exposure to insecticides: A review. *Toxics*, 11(2), 192. <https://doi.org/10.3390/toxics11020192>
- Batista, N. R., de Oliveira, V. E. S., Crispim, P. D., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2022). Is the social wasp *Polybia paulista* a silent victim of neonicotinoid contamination?. *Environmental Pollution*, 308, 119682. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119682>
- Batista, N. R., Farder-Gomes, C. F., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2023). Effects of chronic exposure to sublethal doses of neonicotinoids in the social wasp *Polybia paulista*: Survival, mobility, and histopathology. *Science of The Total Environment*, 904, 166823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166823>
- Bonmatin, J. M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Marzaro, M., Mitchell, E. A. D., Noome, D. A., Simon-Delso, N., & Tapparo, A. (2015). Environmental fate and exposure: Neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 35–67. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3332-7>
- Bovi, T., Zaluski, R., & Orsi, R. (2018). Toxicity and motor changes in Africanized honey bees (*A. mellifera* L.) exposed to fipronil and imidacloprid. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 239–245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820150191>
- Castilhos, D., Dombroski, J. L., Bergamo, G. C., Gramacho, K. P., & Gonçalves, L. S. (2019). Neonicotinoids and fipronil concentrations in honeybees associated with pesticide use in Brazilian agricultural areas. *Apidologie*, 50, 657–668. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00676-x>
- Choudhary, A., Mohindru, B., Karedla, A.K., Singh, J., Chhuneja, P.K. (2022). Sub-lethal effects of thiamethoxam on *Apis mellifera* Linnaeus. *Toxin Rev.* 41, 1044–1057. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1958868>
- Clemente, M. A., Lange, D., Del-Claro, K., Prezoto, F., Campos, N. R., & Barbosa, B. C. (2012). Flower-visiting social wasps and plants interaction: Network pattern and

- environmental complexity. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 478431.
<https://doi.org/10.1155/2012/478431>
- Coker, E., Chevrier, J., Rauch, S., Bradman, A., Obida, M., Crause, M., Bornman, R., & Eskenazi, B. (2018). Association between prenatal exposure to multiple insecticides and child body weight and body composition in the VHEMBE South African birth cohort. *Environment international*, 113, 122-132.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.016>.
- Copernicus Climate Change Service & World Meteorological Organization. (2025). *European state of the climate 2024* (Report No. C3S & WMO ESOTC-2024).
<https://library.wmo.int/idurl/4/69475>
- Costa, L. M. D. (2015). *Avaliação dos efeitos associados dos inseticidas fipronil e imidacloprido sobre a mortalidade da abelha nativa Melipona scutellaris (Latreille, 1811)* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos]. Repositório Institucional UFSCar. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7623>
- Crispim, P. D., De Oliveira, V. E. S., Batista, N. R., Nocelli, R. C. F., & Antonialli-Junior, W. F. (2023). Lethal and sublethal dose of thiamethoxam and its effects on the behavior of a non-target social wasp. *Neotropical Entomology*, 52(3), 422-430.
<https://doi.org/10.1007/s13744-023-01028-2>
- de Moraes, C. R., Travençolo, B. A. N., Carvalho, S. M., Beletti, M. E., Santos, V. S. V., Campos, C. F., Júnior, E. O. C., Pereira, B. B., Naves, M. P. C., Rezende, A. A. A., Spanó, M. A., Vieira, C. U., Bonetti, A. M. (2018). Ecotoxicological effects of the insecticide fipronil in Brazilian native stingless bees *Melipona scutellaris* (Apidae: Meliponini). *Chemosphere*, 206, 632-642.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.153>
- Decourtye, A., Devillers, J., Genecque, E., Le Menach, K., Budzinski, H., Cluzeau, S. & Pham-Delègue, M.H. (2005). Comparative Sublethal Toxicity of Nine Pesticides on Olfactory Learning Performances of the Honeybee *Apis mellifera*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48: 242-250.
<https://doi.org/10.1007/s00244-003-0262-7>
- Dejean, A., Céréghino, R., Carpenter, J., Corbara, B., Hérault, B., Rossi, V., Leponce, M., Orivel, J., & Bonal, D. (2011). Climate change impact on neotropical social wasps. *PLoS ONE*, 6(10), e27004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027004>
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52(1), 81-106.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>

- Devi, S., Devi, D., & Jit Singh, S. (2021). Pesticides use in plant protection with respect to honeybees: A review. *Pharma Innovation Journal*, 10, 156–166.
- Dou, Y., An, J., Yan, X., Dang, Z., Guo, J., Gao, Z., & Li, Y. (2022). Influence of pre-exposure time on the toxicities of different temperature effect insecticides to *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae). *PLoS ONE*, 17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272429>.
- El Hassani, A. K., Dacher, M., Gauthier, M., & Armengaud, C. (2005). Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 82(1), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2005.07.008>
- Farder-Gomes, C. F., Fernandes, K. M., Bernardes, R. C., Bastos, D. S. S., Martins, G. F., & Serrão, J. E. (2021_a). Acute exposure to fipronil induces oxidative stress, apoptosis and impairs epithelial homeostasis in the midgut of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Apidae). *Science of the Total Environment*, 774, 145679. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145679>
- Farder-Gomes, C., Fernandes, K., Bernardes, R., Bastos, D., Oliveira, L., Martins, G., & Serrão, J. E. (2021_b). Harmful effects of fipronil exposure on the behavior and brain of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Meliponini). *The Science of the total environment*, 794, 148678. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148678>
- Ghisi, N. D. C., Ramsdorf, W. A., Ferraro, M. V. M., de Almeida, M. I. M., Ribeiro, C. A. D. O., & Cestari, M. M. (2011). Evaluation of genotoxicity in *Rhamdia quelen* (Pisces, Siluriformes) after sub-chronic contamination with fipronil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180, 589–599. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1807-7>
- Gonçalves, S., Vasconcelos, M. W., Mota, T. F. M., Lopes, J. M. H., Guimaraes, L. J., Miglioranza, K. S. B., & Ghisi, N. D. C. (2022). Identifying global trends and gaps in research on pesticide fipronil: a scientometric review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(52), 79111–79125. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21135-8>
- Gupta, R. C., & Anadón, A. (2018). Fipronil. In *Veterinary toxicology* (pp. 533–538). Academic Press.
- Holder, P. J., Jones, A., Tyler, C. R., & Cresswell, J. E. (2018). Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(51), 13033–13038. <https://doi.org/10.1073/pnas.180493411>
<https://doi.org/10.1155/2012/478431>

- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). (2024). Suspensão do uso de agrotóxicos à base de fipronil. <https://www.ibama.gov.br>
- Jacob, C. R. O., Soares, H. M., Carvalho, S. M., Nocelli, R. C. F., & Malaspina, O. (2013). Acute toxicity of fipronil to the stingless bee *Scaptotrigona postica* Latreille. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90, 69-72. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0892-4>
- Jacob, C. R., Soares, H. M., Nocelli, R. C., & Malaspina, O. (2015). Impact of fipronil on the mushroom bodies of the stingless bee *Scaptotrigona postica*. *Pest Management Science*, 71(1), 114-122. <https://doi.org/10.1002/ps.3776>
- Lourenço, C. T., Carvalho, S. M., Malaspina, O., & Nocelli, R. C. F. (2012). Oral toxicity of fipronil insecticide against the stingless bee *Melipona scutellaris* (Latreille, 1811). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89, 921-924. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0773-x>
- McMahen, R. L., Strynar, M. J., Dagnino, S., Herr, D. W., Moser, V. C., Garantziotis, S., Andersen, E. M., Freeborn, D. L., McMillan, L., Lindstrom, A. B. (2015). Identification of fipronil metabolites by time-of-flight mass spectrometry for application in a human exposure study. *Environment international*, 78, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.01.016>
- Moral, R. A., Hinde, J., & Demétrio, C. G. (2017). Half-normal plots and overdispersed models in R: the hnp package. *Journal of Statistical Software*, 81, 1-23. <https://doi.org/10.18637/jss.v081.i10>
- Mulvey, J., & Cresswell, J. E. (2020). Time-dependent effects on bumble bees of dietary exposures to farmland insecticides (imidacloprid, thiamethoxam and fipronil). *Pest Management Science*, 76(8), 2846-2853. <https://doi.org/10.1002/ps.5838>
- Nauen, R., Ebbinghaus-Kintscher, U., Salgado, V. L., & Kausmann, M. (2003). Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. *Pesticide biochemistry and physiology*, 76(2), 55-69. [https://doi.org/10.1016/S0048-3575\(03\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0048-3575(03)00065-8)
- O'Donnell, S. (2000). Nest structure and foraging behavior in social wasps: Implications for pesticide exposure. *Journal of Insect Behavior*, 13(4), 233-245.
- OECD. (1998). Test No. 214: Honeybees, acute contact toxicity test. *OECD Guidelines for the Testing of Chemicals*, 1-7.
- Pisa, L. W., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bonmatin, J. M., Downs, C. A., Goulson, D., Kreutzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., McField, M., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, D., Van der Sluijs, J. P., Van Dyck,

- H., Wiemers, M. (2015). Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental science and pollution research*, 22, 68-102. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x>
- Prezoto, F., Barbosa, B. C., Maciel, T. T., & Detoni, M. (2016). Agroecossistemas e o serviço ecológico dos insetos na sustentabilidade. *Sustentabilidade: Tópicos da Zona da Mata Mineira. 1ª ed. Juiz de Fora, Real Consultoria em Negócios Ltda*, 19-30.
- Prezoto, F., Maciel, T., Detoni, M., Mayorquin, A., & Barbosa, B. (2019). Pest Control Potential of Social Wasps in Small Farms and Urban Gardens. *Insects*, 10. <https://doi.org/10.3390/insects10070192>
- Prezoto, F., Nascimento, F. S., Barbosa, B. C., & Somavilla, A. (2021). Neotropical social wasps. Springer, Cham. DOI, 10, 978-3.
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rankin, D., Loope, K., & Wilson-Rankin, E. (2022). Seasonal phenology and colony longevity patterns in a predatory social wasp. *Western North American Naturalist*, 82, 146-154. <https://doi.org/10.3398/064.082.0113>
- Richards, A. D., et al. (2017). Effects of pesticide exposure on open-nesting social wasps. *Environmental Toxicology*, 45(3), 789-796.
- Roat, T. C., Carvalho, S. M., Nocelli, R. C., Silva-Zacarin, E. C., Palma, M. S., & Malaspina, O. (2013). Effects of sublethal dose of fipronil on neuron metabolic activity of Africanized honeybees. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 64, 456-466. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9849-1>
- Sanchez-Bayo, F., & Goka, K. (2014). Pesticide residues and bees - A risk assessment. *PloS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482>
- Seydi, E., Mehrpouya, L., Sadeghi, H., Rahimi, S., & Pourahmad, J. (2021). Luteolin attenuates Fipronil-induced neurotoxicity through reduction of the ROS-mediated oxidative stress in rat brain mitochondria. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 173, 104785. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104785>
- Souza, M., Louzada, J., Serrão, J., & Zanuncio, J. (2010). Social wasps (Hymenoptera: Vespidae) as indicators of conservation degree of riparian forests in Southeast Brazil. *Sociobiology*, 56(2), 387–396.
- Sühs, R. B., Somavilla, A., Köhler, A., & Putzke, J. (2009). Vespídeos (Hymenoptera, Vespidae) vetores de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 7(2). Recuperado de CABI: 20093189644.

- Teixeira, G.V.M., De Souza, A.R., Barbosa, W.F., Bernardes, R.C., Lima, M.A.P., (2022). Chronic exposure to a common biopesticide is detrimental to individuals and colonies of the paper wasp *Polistes versicolor*. *Sci. Total Environ.* 810, 152108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152108>
- Tingle, C. C., Rother, J. A., Dewhurst, C. F., Lauer, S., & King, W. J. (2003). Fipronil environmental fate, ecotoxicology and human health concerns. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 176, 1-66. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7283-5_1
- Wang, X., Martínez, M. A., Wu, Q., Ares, I., Martínez-Larrañaga, M. R., Anadón, A., & Yuan, Z. (2016). Fipronil insecticide toxicology: oxidative stress and metabolism. *Critical reviews in toxicology*, 46(10), 876-899. <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1223014>
- Ward, L. T., Hladik, M. L., Guzman, A., Winsemius, S., Bautista, A., Kremen, C., & Mills, N. J. (2022). Pesticide exposure of wild bees and honey bees foraging from field border flowers in intensively managed agriculture areas. *Science of the Total Environment*, 831, 154697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154697>
- World Meteorological Organization. (2023_a). Provisional state of the global climate 2023.
- World Meteorological Organization. (2023_b). *State of the global climate 2023* (WMO No. 1347).
- Zaluski, R., Bittarello, A. C., Vieira, J. C. S., Braga, C. P., Padilha, P. D. M., Fernandes, M. D. S., Bovi, T. S., Orsi, R. D. O. (2020). Modification of the head proteome of nurse honeybees (*Apis mellifera*) exposed to field-relevant doses of pesticides. *Scientific reports*, 10(1), 2190. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59070-8>
- Zaluski, R., Justulin Jr, L. A., & Orsi, R. D. O. (2017). Field-relevant doses of the systemic insecticide fipronil and fungicide pyraclostrobin impair mandibular and hypopharyngeal glands in nurse honeybees (*Apis mellifera*). *Scientific reports*, 7(1), 15217. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15581-5>
- Zaluski, R., Kadri, S. M., Alonso, D. P., Martins Ribolla, P. E., & de Oliveira Orsi, R. (2015). Fipronil promotes motor and behavioral changes in honey bees (*Apis mellifera*) and affects the development of colonies exposed to sublethal doses. *Environmental toxicology and chemistry*, 34(5), 1062-1069. <https://doi.org/10.1002/etc.2889>
- Zioga, E., White, B., & Stout, J. C. (2023). Honey bees and bumble bees may be exposed to pesticides differently when foraging on agricultural areas. *Science of the Total Environment*, 896, 166214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166214>