



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Instituto de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



ARTHUR CARLOS DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E SUA RELAÇÃO COM OS
POLINIZADORES**

Uberlândia - MG

2021

ARTHUR CARLOS DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E SUA RELAÇÃO COM OS
POLINIZADORES

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Área de Concentração: Fitotecnia

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes
Rodrigues da Cunha

Uberlândia - MG

2021

ARTHUR CARLOS DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E SUA RELAÇÃO COM OS
POLINIZADORES

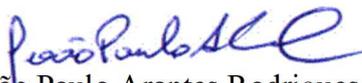
Tese apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Agronomia
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia.

Área de Concentração: Fitotecnia

APROVADO em 03 de março de 2021.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Juari Celoto	UFU
Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva	UFVJM
Prof ^a . Dr ^a . Mariana Rodrigues Bueno	UFVJM
Dr. Fábio Janoni Carvalho	IFTM


Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
ICIAG-UFU
(Orientador)

Uberlândia - MG
2021



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 003/2021, PPGAGRO				
Data:	Três de março de dois mil e vinte e um	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	11:45
Matrícula do Discente:	11713AGR002				
Nome do Discente:	Arthur Carlos de Oliveira				
Título do Trabalho:	Aplicação de produtos fitossanitários e sua relação com os polinizadores.				
Área de concentração:	Fitotecnia				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Fernando Juari Celoto - UFU; Sérgio Macedo Silva - UFVJM; Mariana Rodrigues Bueno - UFVJM; Fábio Janoni Carvalho - IFTM; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2021, às 11:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Fernando Juari Celoto, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2021, às 11:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **SÉRGIO MACEDO SILVA, Usuário Externo**, em 03/03/2021, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Janoni Carvalho, Usuário Externo**, em 03/03/2021, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Rodrigues Bueno, Usuário Externo**, em 03/03/2021, às 23:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2546493** e o código CRC **07BABA91**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48
2021

Oliveira, Arthur Carlos de, 1991-
Aplicação de produtos fitossanitários e sua relação
com os polinizadores. [recurso eletrônico] / Arthur
Carlos de Oliveira. - 2021.

Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.155>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues
da, 1976-, (Orient.). II. Universidade Federal de
Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Dedicatória

*Dedico esse trabalho a toda minha família, em especial a minha mãe,
Juliene Cristine de Oliveira, exemplo de fé, mulher, mãe e amiga.
A grande responsável por todas as minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à **DEUS** por ter me dado saúde e aberto as portas da Universidade para poder estar realizando o sonho de concluir o **Doutorado em Agronomia**.

Agradeço principalmente meus pais, **Juliane Cristine de Oliveira** e **William Carlos Júnior**, meus irmãos, **Júlia Gabriela de Oliveira**, **Guilherme Abiçair de Oliveira** e **Sarah Rúbia de Oliveira**, e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Agradeço meu orientador, **Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha**, pela confiança, grande apoio e paciência, sem os quais seria impossível a realização dessa tese.

Agradeço meu melhor amigo, **Murilo Mundim**, pela grande parceria, paciência, força e incentivo durante todos esses anos de estudo. Assim como a todos os meus colegas do Laboratório Mecanização Agrícola (LAMEC), em especial a **Roxanna Patricia Palma Leon**.

Agradeço à **Pós-Graduação em Agronomia**, e principalmente à **Universidade Federal de Uberlândia**, por todas as oportunidades oferecidas durante esses quase 11 anos, entre graduações, mestrado e doutorado.

Agradeço os funcionários das **Fazendas Água Limpa** e **Capim Branco**, que sempre estiveram dispostos a ajudar durante todos os experimentos, garantido dessa forma que fossem bem sucedidos.

Agradeço os examinadores **Prof. Dr. Fernando Juari Celoto**, **Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva**, **Prof^a. Dr^a. Mariana Rodrigues Bueno** e **Dr. Fábio Janoni Carvalho**, por se disponibilizarem em participar da banca.

Agradeço à **CAPES** pelo apoio financeiro oferecido por meio de bolsa, durante o período de realização dos estudos apresentados nesta tese.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	13
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 DECLÍNIO DAS POPULAÇÕES DE ABELHAS	13
1.2 PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E SEUS EFEITOS SOBRE AS ABELHAS	14
1.3 IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS NA AGRICULTURA	15
1.4 TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS	17
2. OBJETIVO GERAL	19
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO II	27
EFEITOS TÓXICOS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS APLICADOS EM DIFERENTES ESPECTROS DE GOTAS SOBRE POLINIZADORES NO GIRASSOL	27
RESUMO	28
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 ÁREAS DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS	33
2.2 AVALIAÇÕES	36
2.2.1 Riqueza e abundância de polinizadores	36
2.2.2 Produção de Aquênios	38
2.2.3 Condições Meteorológicas	38
2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	38
3. RESULTADOS	39
3.1 FAZENDA ÁGUA LIMPA	39
3.2 FAZENDA CAPIM BRANCO	41
3.3 ANÁLISE CONJUNTA	43
4. DISCUSSÃO	44
5. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO III	56
NEONICOTINÓIDES E SEUS EFEITOS SOBRE A VISITAÇÃO DE <i>Apis mellifera</i> L. NA CULTURA DO GIRASSOL	56
RESUMO	57
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1 ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS	62
2.2 AVALIAÇÕES	65

2.2.1	Frequência de visitação das abelhas	65
2.2.2	Abundância de insetos-praga e inimigos naturais	66
2.2.3	Produção de aquênios	67
2.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	67
3.	RESULTADOS	67
3.1	FREQUÊNCIA DE VISITAÇÃO DAS ABELHAS	67
3.2	ABUNDÂNCIA DE INSETOS-PRAGA E INIMIGOS NATURAIS.....	68
3.3	PRODUÇÃO DE AQUÊNIOS	70
4.	DISCUSSÃO	71
5.	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	76
	CAPÍTULO IV.....	84
	NEONICOTINÓIDES E POLINIZADORES: UMA META-ANÁLISE DE ESTUDOS EM CAMPO E LABORATÓRIO	84
	RESUMO	85
1.	INTRODUÇÃO.....	87
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	89
2.1	PLANEJAMENTO	89
2.2.	BUSCA E IDENTIFICAÇÃO DOS ESTUDOS	89
2.2.1	Bases de dados.....	89
2.2.2	Estratégias de busca.....	89
2.3	SELEÇÃO DOS ESTUDOS	90
2.3.1	- 1º Triagem - (Título, resumo e palavras-chave)	91
2.3.2	- 2º Triagem - (Texto completo)	91
2.4	CLASSIFICAÇÃO	91
2.5	EXTRAÇÃO.....	92
2.5.1	Organização dos estudos selecionados.....	92
2.5.2	Dados estatísticos	92
2.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	92
3.	RESULTADOS	93
3.1	BUSCA, SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS ESTUDOS.....	93
3.2	META-ANÁLISE.....	99
3.2.1	Comportamento Alimentar	99
3.2.2	Vigor dos ninhos.....	101
4.	DISCUSSÃO	104
5.	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE A – PROTOCOLO	112
	APÊNDICE B – ESTUDOS UTILIZADOS NA META-ANÁLISE	114

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, Arthur Carlos de. **Aplicação de produtos fitossanitários e sua relação com os polinizadores**. 2021. 117f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.¹

A utilização de produtos fitossanitários para o controle de pragas e doenças em áreas agrícolas está entre as principais causas do fenômeno de declínio das populações de polinizadores em todo o mundo. No entanto, assim como os polinizadores, esses compostos são de grande necessidade para a produção de alimentos, principalmente frente uma população mundial que cresce vertiginosamente. Diante desse fato é necessário buscar formas que permitam avaliar como esses produtos afetam os polinizadores, assim como procurar maneiras de se minimizar esses efeitos, aliando o controle fitossanitário com os benefícios da polinização. Os objetivos deste trabalho foram: (i) Avaliar o efeito da aplicação de diferentes classes de produtos fitossanitários sobre a riqueza e a abundância de polinizadores no girassol, durante o período de florescimento da cultura, assim como se o emprego de diferentes espectros de gotas de pulverização pode atuar minimizando os efeitos tóxicos desses produtos, observando ao final o impacto sobre a produção da cultura; (ii) Estudar o efeito de inseticidas neonicotinóides, bem como do número de suas aplicações, durante o período de pré-florescimento, sobre a visitação das abelhas, e seus impactos sobre a produção no cultivo de girassol; e (iii) Avaliar por meio da meta-análise os efeitos dos inseticidas neonicotinóides no comportamento alimentar dos polinizadores e vigor dos ninhos, baseando-se em estudos realizados a campo e em laboratório. Os estudos referentes aos objetivos (i) e (ii) ocorreram nas fazendas experimentais Água Limpa e Capim Branco, ambas pertencentes a Universidade Federal de Uberlândia, durante os anos de 2018, 2019 e 2020. Foram adotados delineamentos de blocos ao acaso, considerando-se, respectivamente, diferentes classes de produtos fitossanitários (herbicida, fungicida e inseticida), aplicados com diferentes espectros de gotas (extremamente grossa e fina) e o número de aplicações dos principais neonicotinóides utilizados nos cultivos agrícolas. As aplicações dos produtos, independentemente da classe, promoveram efeito de repelência sobre os polinizadores, sendo mais ou menos significativos dependendo da espécie. A utilização de gotas finas contribuiu para a redução na toxicidade dos produtos, aumentando a abundância de visitas. A aplicação dos diferentes inseticidas neonicotinóides não promoveu redução na visitação dos polinizadores ao cultivo do girassol, independentemente do número de aplicações ou do ingrediente ativo utilizado. A meta-análise (iii) indicou a presença de resultados divergentes entre estudos realizados a campo e em laboratório apenas em relação ao vigor dos ninhos, demonstrando efeitos não significativos quando os estudos foram realizados em laboratório. No entanto, os resultados de forma geral demonstraram que os neonicotinóides interferem tanto no comportamento alimentar dos polinizadores quanto no vigor dos seus ninhos. Porém, esses efeitos foram de baixa magnitude. Fato esse que corroboraria o entendimento de que os neonicotinóides não são a principal causa do fenômeno da CCD, mas um dos vários fatores agindo de forma sinérgica. E que provavelmente a sua proibição de uso não seria a solução definitiva para o fim desse problema.

PALAVRAS-CHAVE: Abelha; Visitantes florais; Pesticidas; CCD.

¹ Orientador: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, Arthur Carlos de. **Pesticide application and its relationship with pollinators.** 2021. 117f. Thesis (Doctorate' s degree in agronomy/ Crop Science) - Institute of Agricultural Sciences, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2021.¹

The use of pesticides to control pests and diseases in agricultural areas is among the main causes of the phenomenon of declining pollinator populations worldwide. However, like pollinators, these compounds are of great need for food production, especially in the face of a world population that is growing rapidly. Given this fact, it is necessary to look for ways to assess how these products affect pollinators, as well as looking for ways to minimize these effects, combining phytosanitary control with the benefits of pollination. The objectives of this work were: (i) To evaluate the effect of the application of different classes of pesticides on the richness and abundance of pollinators in the sunflower, during the flowering period of the crop, as well as if the use of different spectra of droplets of spraying can act by minimizing the toxic effects of these products, observing in the end the impact on crop production; (ii) To study the effect of neonicotinoid insecticides, as well as the number of their applications, during the pre-flowering period, on the visitation of bees, and their impacts on production in sunflower cultivation; and (iii) Evaluate, through meta-analysis, the effects of neonicotinoid insecticides on the pollinators' feeding behavior and nest vigor, based on field and laboratory studies. The studies related to objectives (i) and (ii) took place at the experimental farms Água Limpa and Capim Branco, both belonging to the Federal University of Uberlândia, during the years 2018, 2019 and 2020. Random block designs were adopted, considering if, respectively, different classes of pesticides (herbicide, fungicide and insecticide), applied with different spectra of droplets (extremely coarse and fine) and the number of applications of the main neonicotinoids used in agricultural crops. The applications of the products, regardless of the class, promoted a repellency effect on the pollinators, being more or less significant depending on the species. The use of fine droplets contributed to the reduction in the toxicity of the products, increasing the abundance of visits. The application of the different neonicotinoid insecticides did not reduce the pollinators' visit to sunflower cultivation, regardless of the number of applications or the active ingredient used. Meta-analysis (iii) indicated the presence of divergent results between studies carried out in the field and in the laboratory only in relation to the vigor of the nests, demonstrating non-significant effects when the studies were carried out in the laboratory. However, the results in general showed that neonicotinoids interfere both in the feeding behavior of pollinators and in the vigor of their nests. However, these effects were of low magnitude. This fact corroborates the understanding that neonicotinoids are not the main cause of the phenomenon of CCD, but one of the several factors acting in a synergistic way. And that its prohibition of use would probably not be the definitive solution to the end of this problem.

KEYWORDS: Bee; Floral visitors; Pesticides; CCD.

¹ Advisor: Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Declínio das populações de abelhas

“Se as abelhas desaparecerem da face da terra, a humanidade terá apenas mais quatro anos de existência. Sem abelhas não há polinização, não há reprodução da flora, sem flora não há animais, sem animais não haverá raça humana”. Essa frase é atribuída ao estudioso, físico Albert Einstein, e atualmente tem ganhado ainda mais relevância devido aos problemas relacionados ao declínio das populações de abelhas, conhecido como *Colony Collapse Disorder* (CCD). Esse fenômeno foi observado pela primeira vez nos campos de amêndoas dos Estados Unidos (EUA), entre os anos de 2006 e 2007 com a espécie *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (BECHER et al., 2013; PIRES et al., 2016). Os agricultores nesses locais relataram que as colônias inicialmente pareciam saudáveis, porém, em cerca de alguns dias, de forma inexplicável em um primeiro momento, grande parte das abelhas adultas morriam, ou se tornavam muito fracas para polinizar os cultivos (PIRES et al., 2016). Somente no ano de 2014 foram relatadas nos EUA perdas de cerca de 43% de todas as colônias de abelhas do país (LEE et al., 2015).

Na Europa esse fenômeno também tem se apresentado de forma evidente com perdas expressivas de colônias (LAURENT et al., 2015). Estima-se que 37% das suas populações de abelhas estejam em declínio, englobando 9% das espécies (NIETO et al., 2014). Embora menos estudados, relatos semelhantes foram observados em outras partes do mundo (IPBES, 2016; POTTS et al., 2010), não somente com *A. mellifera*, mas também com outras espécies de abelhas nativas dessas regiões (DUPONT; DAMGAARD; SIMONSEN, 2011; GILL et al., 2016; POTTS et al., 2010). Esse fato tem se tornado uma preocupação mundial (MORENO-GONZÁLEZ et al., 2020), pois a perda desses organismos resultaria em graves consequências, tanto para plantas silvestres, quanto para plantações cultivadas (POTTS et al., 2016), o que poderia ocasionar riscos a manutenção da biodiversidade global e à segurança alimentar (RORTAIS et al., 2017).

Várias causas foram atribuídas para ocorrência desse fenômeno, das quais se destacam as ondas magnéticas (COSTA-MAIA; LOURENÇO; TOLEDO, 2010), a ocorrência de agentes patogênicos, parasitas e predadores, o mal manejo das colônias, a fragmentação dos habitats naturais, a má nutrição da colônia, as mudanças climáticas e, por fim, a aplicação de produtos fitossanitários para a proteção dos cultivos (PIRES et al., 2016; VANENGELSDORP et al., 2009).

Com destaque a esse último, considerado como fator principal por alguns autores (FREITAS et al., 2009; SANCHEZ-BAYO; GOKA, 2014). O fenômeno CCD continua sendo amplamente estudado, porém ainda carece de um maior número de informações, considerando-se todos os fatores e a complexidade associada ao assunto (PIRES et al., 2016).

1.2 Produtos fitossanitários e seus efeitos sobre as abelhas

O contato das abelhas com os produtos fitossanitários pode ocorrer de diferentes maneiras, seja indiretamente por meio do pólen e do néctar contaminados, ou pelo contato direto com esses produtos, no momento ou logo após a aplicação (BONZINI et al., 2011; SILVA; MELO; BLANCO, 2016). Seus efeitos podem variar, ocorrendo de forma aguda (letal), resultando na morte imediata do polinizador, ou de forma crônica (subletal), observada ao longo do tempo, à medida que o indivíduo entra em contato contínuo com o produto (SILVA; MELO; BLANCO, 2016).

Atualmente a toxicidade letal é considerada a principal avaliação de risco dos produtos fitossanitários aos polinizadores, porém pesquisas recentes demonstraram a necessidade de entender melhor os impactos subletais (CHAKRABARTI et al., 2020), principalmente por esses estarem associados a alterações bioquímicas (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007), morfofisiológicas (PINHEIRO; FREITAS, 2010), imunológicas (ROCHA, 2012) e comportamentais (MEDRZYCHI et al., 2003). Com destaque para aquelas relacionadas ao potencial de aprendizagem, memória, navegação e forrageamento (busca e exploração de recursos alimentares) (SAMUELSON et al., 2016), o que impacta diretamente o vigor das colônias (FREITAS; PINHEIRO, 2010), tornando-as mais fracas e menos produtivas.

Outros efeitos podem envolver a presença de repelência, reduzindo a visitação dos polinizadores aos cultivos (DE OLIVEIRA; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2019), assim como a diminuição da diversidade de fontes de alimentação alternativas, e a redução de locais para nidificação (FREITAS, 1994; FREITAS; PINHEIRO, 2012). Nos últimos 20 anos, estudos têm demonstrado a importância dos polinizadores, em especial as abelhas, na polinização dos cultivos agrícolas brasileiros, apontando inclusive a necessidade de se integrar esse serviço no sistema agrícola (FREITAS; BOMFIM, 2017). No entanto, os efeitos provenientes da interação desses organismos com os produtos fitossanitários têm se mostrado uma importante barreira a esse processo. Principalmente no que se refere aos efeitos desses produtos em longo prazo, sendo ainda pouco explorados, e muitas vezes ignorados nos estudos de risco (FREITAS; PINHEIRO, 2010).

1.3 Importância das abelhas na agricultura

A polinização consiste no processo de transporte do pólen até a superfície estigmática da planta, permitindo a fertilização e a reprodução sexuada em vegetais. Constitui-se como um serviço ecossistêmico primordial, servindo de alicerce a diversos outros serviços ecossistêmicos oferecidos pela natureza (RECH et al., 2014). Garante tanto a manutenção da variabilidade genética nas espécies nativas, como também a produção e a qualidade nos cultivos agrícolas comerciais (BREEZE et al., 2011; ROUBIK; FAO, 2018). A polinização é um processo dependente de agentes, podendo serem esses de origem biótica (animais) ou abiótica (vento, água e gravidade) (MARCOS FILHO, 2005; PERUQUETTI; TEIXEIRA; COELHO, 2017).

Se forem consideradas apenas as espécies vegetais que apresentam flores, cerca de 90% utilizam-se de algum agente biótico para polinização (OLLERTON; WINFREE; TARRANT, 2011), compreendendo desde insetos, como abelhas, mariposas, besouros, borboletas e moscas, a pequenos vertebrados, como algumas aves e morcegos (RECH et al., 2014). Dentre os insetos, as abelhas se destacam (KREMEN, 2005) sendo responsáveis por até 90% da polinização entre cultivos comerciais e espécies nativas (CHUTTONG et al., 2016; HALINSKI; DORNELES; BLOCHTEIN, 2015).

Economicamente os serviços de polinização chegam a representar cerca de 10% de todo o PIB (produto interno bruto) agrícola mundial, correspondendo a um valor estimado em 200 bilhões de dólares ao ano (BARBOSA et al., 2017; IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012), podendo chegar a 577 bilhões (LAUTENBACH et al., 2012; POTTS et al., 2016). Somente no Brasil, aproximadamente US\$ 12 bilhões da produção agrícola anual são provenientes dos serviços de polinização (GIANNINI et al. 2015). Grande parte dessa importância econômica principalmente voltada para a agricultura se deve ao fato que esses insetos promovem ganhos tanto em produtividade (GARIBALDI et al., 2013; VILHENA et al., 2012) quanto em qualidade de produção, conferindo desde maior qualidade aos frutos (sabor e aparência) (CASTLE; GRASS; WESTPHAL, 2019; GARRATT et al., 2014; KLATT et al., 2014), até aumento de vigor em sementes (COUTO; COUTO, 2006).

No mundo já foram descritas mais de 20 mil espécies de abelhas (PEREIRA; DINIZ; RUVOLLO-TAKASUSUKI, 2020), das quais, 1678 estão presentes no Brasil (PEDRO, 2014). A abelha europa, *A. mellifera*, também conhecida como abelha africanizada é considerada como a principal espécie polinizadora dos cultivos agrícolas mundiais, chegando a 80% do total de espécies agricultáveis (MCGREGOR, 1976). Seu comportamento altamente generalista,

juntamente com o fato de ser uma espécie facilmente manejável, contribuem para essa importância (BOYLE et al., 2019; IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012). No início dos anos 2000 foi estimado que apenas essa espécie nos Estados Unidos, considerando apenas o serviço de polinização contribuía com um valor de 14,8 bilhões de dólares ao ano (MORSE; CALDERONE, 2000). Embora essa espécie seja de vital para a economia por polinizar uma grande quantidade de culturas, ela não é capaz de polinizar alguns cultivos (KLEIN et al., 2020), aumentando importância da presença de outras espécies de abelhas nesses cultivos.

As abelhas pertencentes ao gênero *Bombus* possuem um papel essencial na polinização de diversas espécies vegetais agricultáveis, especialmente naquelas pertencentes à família Solanaceae, como berinjela, pimentão e tomate, que pelo fato de apresentarem anteras poricidas, necessitam de agentes polinizadores que produzam vibração (GARÓFALO et al., 2012; POLVERENTE; FONTES; CARDOSO, 2005). Na cultura do tomate conduzida em cultivo protegido, a polinização realizada por essas abelhas resultou em um aumento na produção de frutos, sendo esses de melhor qualidade e com um maior número de sementes (PALMA et al., 2008).

Esse incremento em produção e qualidade também foi observado na polinização realizada por abelhas da tribo Meliponini, conhecidas também como abelhas sem ferrão, tanto na cultura do tomateiro (BARTELLI; NOGUEIRA-FERREIRA, 2014; BARTELLI; SANTOS; NOGUEIRA-FERREIRA, 2014), quanto na cultura do pimentão (CRUZ et al., 2005). Rigo (2018) em trabalho realizado com pepino, observou que a utilização dessas abelhas como polinizadores contribuiu para aumento da produtividade e redução no abortamento de flores e má formação de frutos.

Na cultura do maracujá-amarelo estudos com espécies de abelhas solitárias do gênero *Xylocopa* vem demonstrando que a produção da cultura está intimamente ligada a densidade desses polinizadores nas áreas de cultivo (JUNQUEIRA et al., 2013) e que a polinização realizada por elas, quando comparada à polinização manual, resulta em maior quantidade de frutos, frutos de maior tamanho e de melhor qualidade, possuindo maior número de sementes (JUNQUEIRA; HOGENDOORN; AUGUSTO, 2012). Essas abelhas são facilmente atraídas e manejadas por meio da introdução e multiplicação de ninhos dentro dos cultivos (JUNQUEIRA et al., 2013).

Em culturas autógamas como é o caso da soja, apesar da baixa taxa de polinização cruzada, estudos apontam que a polinização realizada principalmente por abelhas contribuiu significativamente para o aumento na produtividade da cultura, devido principalmente à produção de um maior número de vagens e de grãos por vagem. Trabalhos realizados nos Estados Unidos e no Brasil concluíram que, quando a soja é cultivada em ambiente protegido com colônias de

abelhas em seu interior, o seu rendimento produtivo pode aumentar de 10 a 50%, quando comparado a cultivos sem a presença de polinizadores (GAZZONI, 2017). Por esses motivos, torna-se essencial avaliar as causas do fenômeno CCD, principalmente considerando o efeito dos produtos fitossanitários e suas formas de aplicação, já que esses são, assim como as abelhas, fundamentais para se garantir produções em qualidade e em quantidade, para uma demanda de alimentos que a cada dia se torna maior.

1.4 Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários

O aumento da produtividade dos cultivos agrícolas tornou-se um fator fundamental para garantia da segurança alimentar, principalmente perante o atual cenário de aumento crescente da população mundial (TILMAN; CLARK, 2015), com expectativa de atingir 9 bilhões de habitantes até 2050 (GODFRAY et al., 2010). Diante disso, a utilização de produtos fitossanitários é de suma importância, principalmente considerando o momento de restrição de áreas agricultáveis (SAATH; FACHINELLO, 2018). Porém, juntamente com o aumento da utilização desses produtos, aumentam-se também as preocupações relacionadas as consequências negativas causadas por eles, como: contaminação de água e alimentos; intoxicação; injúrias em culturas não visadas e, mais recentemente, morte de abelhas (CENTNER; COLSON; LAWRENCE, 2014; FINE; COX-FOSTER; MULLIN, 2017; HOFFMANN et al., 2013; OSTEEEN; FERNANDEZ-CORNEJO, 2013; STEHLE; SCHULZ, 2015).

A imprecisão na aplicação dos produtos fitossanitários é apontada como uma das principais formas de contaminação das abelhas, sendo associada ao fato desses produtos não atingirem somente os alvos requeridos, aumentando a contaminação por ação de resíduos (PIMENTEL, 1995). De acordo com Pimentel e Burgess (2012), grandes quantidades de inseticidas aplicados nos cultivos não atingem o alvo pelo fato de serem perdidos por deriva. Isso favorece ainda mais problemas com intoxicações a longas distâncias a insetos não alvos, com destaque às abelhas (PIMENTEL; BURGESS, 2012). Segundo Pires et al. (2016), a morte das abelhas está associada não só à utilização de produtos fitossanitários nas áreas próximas aos ninhos, mas ao uso incorreto das diferentes formas de aplicação existentes.

O processo de deriva acontece pela associação de dois fatores: a utilização de gotas pequenas ($<100 \mu\text{m}$) (NUYTTENS et al., 2011), aliada a condições meteorológicas desfavoráveis, principalmente relacionadas a velocidade do vento (MINGUELA; CUNHA, 2017). Gotas pequenas são facilmente carregadas pelo vento e dessa forma possuem a capacidade de atingir alvos

alocados fora das áreas de cultivo, inclusive ninhos de abelhas, promovendo intoxicação e morte pelo contato com o produto (FREITAS; PINHEIRO; 2012).

O processo de geração de gotas, em grande parte dos modelos de pontas disponíveis no mercado, ocorre por meio da passagem do líquido sob pressão em um pequeno orifício, com velocidade e força suficientes para gerar a fragmentação do líquido, processo denominado de pulverização por energia hidráulica (MATTHEWS; BATEMAN; MILLER, 2014). Durante as aplicações, as gotas produzidas por essas pontas de pulverização podem apresentar vários tamanhos, formando uma faixa, a qual foi denominada de espectro de gotas (ANTUNIASSI et al., 2017; MOTA, 2011). Entre os fatores considerados durante as aplicações, é importante que o espectro de gotas produzido seja o mais homogêneo possível, ou seja, que se produzam gotas de tamanho parecido. Deve-se evitar a formação de gotas muito grandes ou muito pequenas, devido à alta probabilidade de perdas (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). Diante disso, o espectro de gota ideal é aquele que promova a máxima deposição de produto no alvo, com um mínimo de perdas e de contaminações para o ambiente (CHAIM, 2012).

A toxicidade é algo inerente ao próprio ingrediente ativo do produto fitossanitário, devido a particularidades físico-químicas presentes na molécula, que facilita uma ação diferenciada nos insetos, inclusive naqueles considerados benéficos, particularmente nas abelhas (FREITAS; PINHEIRO, 2012). No entanto, apesar da toxicidade ser uma propriedade ligada à natureza do ingrediente ativo, sabe-se que ela pode ser influenciada por alguns fatores, como a técnica empregada na aplicação, o momento da intervenção e a persistência do produto. Dessa maneira pode-se utilizar um produto fitossanitário de forma seletiva, ainda que sua molécula não seja (MINGUELA; CUNHA, 2017).

Nesse sentido, fatores relacionados não só a toxicidade dos produtos fitossanitários, mas também à forma com que são aplicados (momento da aplicação, número de aplicações e espectro de gotas) devem ser melhor abordados. Não apenas problemas relacionados à deriva, mas também àqueles envolvendo as visitas de polinizadores aos cultivos pós-aplicação.

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos da aplicação de diferentes produtos fitossanitários sobre insetos polinizadores.

2.1 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da aplicação de diferentes classes de produtos fitossanitários sobre a riqueza e abundância de polinizadores no girassol, durante o período de florescimento da cultura, assim como se o emprego de diferentes espectros de gotas de pulverização pode atuar minimizando os efeitos tóxicos desses produtos, observando ao final o impacto sobre a produção da cultura.
- Avaliar o efeito de diferentes inseticidas sistêmicos, pertencentes à classe dos neonicotinóides, bem como do número de suas aplicações, durante o período de pré-florescimento, sobre a visitação das abelhas, e seus impactos sobre a produção no cultivo de girassol. Avaliou-se também o efeito dessas aplicações sobre a abundância de insetos-praga e inimigos naturais dentro do cultivo.
- Avaliar por meio da meta-análise os efeitos dos inseticidas neonicotinóides no comportamento alimentar dos polinizadores e vigor dos ninhos, baseando-se em estudos realizados a campo e em laboratório.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R. *et al.* **Entendendo a tecnologia de aplicação**. 1 ed. Botucatu: Editora FEPAF, 2017.
- BARBOSA, D. B. *et al.* As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 4, p. 694-703, 2017. DOI: 10.21674/2448-0479.34.694-703.
- BARTELLI, B. F.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Pollination Services Provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in Greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 510-516, 2014. DOI: 10.13102/sociobiology.v61i4.510-516.
- BARTELLI, B. F.; SANTOS, A. O. R.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Colony performance of *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera, Meliponina) in a Greenhouse of *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). **Sociobiology**, v. 61, n. 1, p. 60-67, 2014. DOI: 10.13102/sociobiology.v61i1.60-67.
- BECHER, M. A. *et al.* Towards a systems approach for understanding honeybee decline: a stocktaking and synthesis of existing models. **The Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 868–880, 2013. DOI: 10.1111/1365-2664.12112.
- BONZINI, S. *et al.* Predicting pesticide fate in the hive (part 1): experimentally determined τ -fluvialinate residues in bees, honey and wax. **Apidologie**, v. 42, n. 3, p. 378–390, 2011. DOI: 10.1007/s13592-011-0011-2.
- BOYLE, K. *et al.* Workshop on pesticide exposure assessment paradigm for non-*Apis* bees: foundation and summaries. **Environmental entomology**, v. 48, n. 1, p. 4-11, 2019. DOI: 10.1093/ee/nvy103.
- BREEZE, T. D. *et al.* Pollination services in the UK: How important are honeybees?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n. 3, p. 137-143, 2011. DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.020.
- CASTLE, D.; GRASS, I.; WESTPHAL, C. Fruit quantity and quality of strawberries benefit from enhanced pollinator abundance at hedgerows in agricultural landscapes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 275, p. 14–22, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.01.003.
- CENTNER, T. J.; COLSON, G.; LAWRENCE, A. Assigning liability for pesticide spray drift. **Land Use Policy**, v. 36, p. 83–88, 2014. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.06.013.
- CHAIM, A. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos: fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. Silva CMMS e Fay EF. **Agrotóxicos & Ambiente**. Brasília: Embrapa, p. 289-317, 2012.

CHAKRABARTI, P. *et al.* Field rates of Sivanto™ (flupyradifurone) and Transform® (sulfoxaflor) increase oxidative stress and induce apoptosis in honey bees (*Apis mellifera* L.). **PLOS ONE**, v. 15, n. 5, p. e0233033, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0233033.

CHUTTONG, B. *et al.* Physicochemical profiles of stingless bee (Apidae: Meliponini) honey from South East Asia (Thailand). **Food Chemistry**, v. 192, p. 149–155, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.089.

COSTA-MAIA, F. M.; LOURENÇO, D. A. L.; TOLEDO, V. A. A. Aspectos econômicos e sustentáveis da polinização por abelhas. **Sistemas de Produção Agropecuária (Ciências Agrárias, Animais e Florestais)**, p. 45-67, 2010.

COUTO, R. H. N.; COUTO, L. A. **Apicultura: manejo e produtos**. Jaboticabal, Funep, 2006.

CRUZ, D. DE O. *et al.* Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1197–1201, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005001200006.

CUNHA, J. P. A. R. da.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. SPE, p. 10–15, 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000200002.

DE OLIVEIRA, A. C.; JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Pesticides affect pollinator abundance and productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Apicultural Research**, v. 58, n. 1, p. 2–8, 2019. DOI: 10.1080/00218839.2018.1494441.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, n. 1, p. 81–106, 2007. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.

DUPONT, Y. L.; DAMGAARD, C.; SIMONSEN, V. Quantitative Historical Change in Bumblebee (*Bombus* spp.) Assemblages of Red Clover Fields. **PLoS ONE**, v. 6, n. 9, p. 1-7, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0025172.

FINE, J. D.; COX-FOSTER, D. L.; MULLIN, C. A. An Inert Pesticide Adjuvant Synergizes Viral Pathogenicity and Mortality in Honey Bee Larvae. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017. DOI: 10.1038/srep40499.

FREITAS, B. M. Beekeeping and Cashew in North-Eastern Brazil: The Balance of Honey and Nut Production. **Bee World**, v. 75, n. 4, p. 160–168, 1994. DOI: 10.1080/0005772X.1994.11099223.

FREITAS, B. M.; BOMFIM, I. G. A. A necessidade de uma convivência harmônica da agricultura com os polinizadores. *In*: LAPLANE, M. F. *et al.* **Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global**. Brasília: CGEE, 2017. cap. 2, p.39-50.

FREITAS, B. M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, v. 40, n. 3, 2009. DOI: 10.1051/apido/2009012.

FREITAS, B. M.; PINHEIRO, J. N. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, p. 282-298, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.17.

FREITAS, B. M.; PINHEIRO, J. N. **Polinizadores e pesticidas: princípios e manejo para os agroecossistemas brasileiros**. Brasília: MMA, p. 112, 2012. Disponível em: <http://www.semabelhasemalimento.com.br/wp-content/uploads/2015/02/polinizadores-e-pesticidas-final-.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608–1611, 2013. DOI: 10.1126/science.1230200.

GARÓFALO, C. A. *et al.* As abelhas solitárias e perspectivas para seu uso na polinização do Brasil. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. *et al.* **Polinizadores no Brasil: Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo: Edusp, 2012. cap. 9, p. 183-202.

GARRATT, M. P. D. *et al.* Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 184, p. 34-40, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.032.

GAZZONI, D. L. **Soja e abelhas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

GIANNINI, T. C. *et al.* The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 3, p. 849–857, 2015. DOI: 10.1093/jee/tov093.

GILL, R. J. *et al.* Protecting an Ecosystem Service. **Advances in Ecological Research**, v. 54, p. 135–206, 2016. DOI: 10.1016/bs.aecr.2015.10.007.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.

HALINSKI, R.; DORNELES, A. L.; BLOCHTEIN, B. Bee assemblage in habitats associated with *Brassica napus* L. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 3, p. 222–228, 2015. OI: 10.1016/j.rbe.2015.07.001.

HOFFMANN, W. C. *et al.* Determination of Selection Criteria for Spray Drift Reduction from Atomization Data. In: BERNARDS, M. L. (Ed.). **Pesticide Formulation and Delivery Systems: 32nd Volume, Innovating Legacy Products for New Uses**. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International, p. 65–79, 2013.

IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L. *et al.* **Polinizadores no Brasil: Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo: EDUSP, 2012.

IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. (eds S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca & H. Ngo). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy**, Bonn, Germany, p. 552, 2016.

JUNQUEIRA, C. N. *et al.* Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. **Apidologie**, v. 44, n. 6, p. 729-737, 2013. DOI: 10.1007/s13592-013-0219-4.

JUNQUEIRA, C. N.; HOGENDOORN, K.; AUGUSTO, S. C. The use of trap-nests to manage carpenter bees (Hymenoptera: Apidae: Xylocopini), pollinators of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 105, n. 6, p. 884-889, 2012. DOI: 10.13140/2.1.4402.7523.

KLATT, B. K. *et al.* Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proceedings of the Royal Society of London B: **Biological Sciences**, v. 281, n. 1775, p. 20132440, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2013.2440.

KLEIN, A. M. *et al.* **Insect pollination of crops in Brazil: a guide for farmers, gardeners, politicians and conservationists**. Albert-Ludwigs University Freiburg, Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020. DOI: 10.6094/UNIFR/151200.

KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? **Ecology letters**, v. 8, n. 5, p. 468-479, 2005. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x.

LAURENT, M. *et al.* A pan-European epidemiological study on honeybee colony losses 2012–2014. **EPILOBEE Report**, v. 2, p. 1-44, 2015. Disponível em: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/la_bees_epilobee-report_2012-2014.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

LAUTENBACH, S. *et al.* Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. **PLOS ONE**, v. 7, n. 4, p. e35954, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0035954.

LEE, K. V. *et al.* A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. **Apidologie**, v. 46, n. 3, p. 292–305, 2015. DOI: 10.1007/s13592-015-0356-z.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 495p, 2005.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R. P.; MILLER, P. C. H. **Pesticide application methods**. London: Longman, 2014. 556 p.

MCGREGOR, S. E. Insect pollination of cultivated crop plants. **Agricultural Research Service**, US Department of Agriculture, 1976.

MEDRZYCHI, P. *et al.* Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory test. **Bulletin of Insectology**, v.56, n.1, p.59-62, 2003.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2017.

- MORENO-GONZÁLEZ, D. *et al.* Quantitative determination of pesticide residues in specific parts of bee specimens by nanoflow liquid chromatography high resolution mass spectrometry. **Science of The Total Environment**, v. 715, p. 137005, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137005.
- MORSE, R. A.; CALDERONE, N. W. The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. **Bee culture**, v. 128, n. 3, p. 1-15, 2000.
- MOTA, A. A. B. **Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- NIETO, A. *et al.* **European red list of bees**. Luxembourg: Publications Office, 2014. DOI: 10.2779/77003.
- NUYTTENS, D. *et al.* Drift from Field Crop Sprayers Using an Integrated Approach: Results of a Five-Year Study. **Transactions of the ASABE**, v. 54, n. 2, p. 403–408, 2011. DOI: 10.13031/2013.36442.
- OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, n. 3, p. 321–326, 2011. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
- OSTEEN, C. D.; FERNANDEZ-CORNEJO, J. Economic and policy issues of U.S. agricultural pesticide use trends. **Pest Management Science**, v. 69, n. 9, p. 1001–1025, 2013. DOI: 10.1002/ps.3529.
- PALMA, G. *et al.* Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). **Journal of Applied Entomology**, v. 132, n. 1, p. 79–85, 2008. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2007.01246.x.
- PEDRO, S. R. M. The Stingless Bee Fauna In Brazil (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 348–354, 2014. DOI: 10.13102/sociobiology.v61i4.348-354.
- PEREIRA, N. C.; DINIZ, T. DE O.; RUVOLO-TAKASUSUKI, M. C. C. Abelhas Nativas e Sua Importância. In: OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B. DE; CALVÃO, L. B. (Eds.). **A Interface do Conhecimento sobre Abelhas 2**. 1. ed. Atena Editora, 2020. p. 1–9. DOI: 10.22533/at.ed.062191510.
- PERUQUETTI, R.C.; TEIXEIRA, L. V.; COELHO, F. M. Introdução ao estudo sobre polinização. Grupo de estudos sobre abelhas. 2017. Disponível em: <<http://www.ufac.br/ppgespa/polen>>. Acesso em: 15 de out. 2020
- PIMENTEL, D. Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 8, n. 1, p. 17–29, 1995. DOI: 10.1007/BF02286399.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Small amounts of pesticides reaching target insects. **Environment, Development and Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 1–2, 2012. DOI: 10.1007/s10668-011-9325-5.

PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 01, p. 266–281, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.16.

PIRES, C. S. S. *et al.* Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 422–442, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500003.

POLVERENTE, M. R.; FONTES, D. C.; CARDOSO, A. I. I. Produção e qualidade de sementes de berinjela em função do horário de polinização manual. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 467–472, 2005. DOI: 10.1590/S0006-87052005000300017.

POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

POTTS, S. G. *et al.* **The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.** 2016. DOI: 10.5281/zenodo.3402856.

RECH, André R. *et al.* (org.). **Biologia da polinização.** 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014.

RIGO, N. **Influência de insetos polinizadores na produtividade e qualidade de pepinos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Olericultura) - Instituto Federal de Educação, Morrinhos, 2018.

ROCHA, M. C. DE L. **Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil: proposta metodológicas de acompanhamento.** Brasília: IBAMA, 2012.

RORTAIS, A. *et al.* Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European Food Safety Authority. **Science of The Total Environment**, v. 587–588, p. 524–537, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.127.

ROUBIK, D. W.; FAO. **The pollination of cultivated plants a compendium for practitioners.** v. 1, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i9201en/I9201EN.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195–212, 2018. DOI: 10.1590/1234-56781806-94790560201.

SAMUELSON, E. E. W. *et al.* Effect of acute pesticide exposure on bee spatial working memory using an analogue of the radial-arm maze. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 38957, 2016. DOI: 10.1038/srep38957.

SANCHEZ-BAYO, F.; GOKA, K. Pesticide Residues and Bees – A Risk Assessment. **PLoS ONE**, v. 9, n. 4, p. e94482, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0094482.

SILVA, I. P.-; MELO, M. M.; BLANCO, B. S. Efeitos tóxicos dos praguicidas para abelhas. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 1, p. 142–157, 2016. DOI: 10.5935/rbhsa.v10i1.296.

STEHLE, S.; SCHULZ, R. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 18, p. 5750–5755, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1500232112.

TILMAN, D.; CLARK, M. Food, Agriculture & the Environment: Can We Feed the World & Save the Earth? **Daedalus**, v. 144, n. 4, p. 8–23, 2015. DOI: 10.1162/DAEDa00350.

VANENGELSDORP, D. *et al.* Colony collapse disorder: a descriptive study. **PloS One**, v. 4, n. 8, p. e6481, 2009. DOI: 10.1371/journal.pone.0006481.

VILHENA, A. M. G. F. *et al.* Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. **Apidologie**, v. 43, n. 1, p. 51-62, 2012. DOI: 10.1007/s13592-011-0081-1.

CAPÍTULO II

EFEITOS TÓXICOS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS APLICADOS COM DIFERENTES ESPECTROS DE GOTAS SOBRE POLINIZADORES NO GIRASSOL

EFEITOS TÓXICOS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS APLICADOS COM DIFERENTES ESPECTROS DE GOTAS SOBRE POLINIZADORES NO GIRASSOL

RESUMO

A polinização mediada por abelhas contribui tanto para a manutenção da diversidade vegetal, como para o incremento da produção agrícola. No entanto, estudos demonstram um declínio dessas populações, o que pode estar ligado ao uso inadequado de produtos fitossanitários. Estes produtos podem ser aplicados por meio de diferentes equipamentos e com diferentes espectros de gota. O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura importante economicamente e que demanda tanto o uso destes produtos como uma grande necessidade de polinizadores. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes classes de produtos fitossanitários sobre a diversidade de polinizadores na cultura do girassol, assim como se o emprego de diferentes espectros de gotas de pulverização pode atuar minimizando os efeitos desses produtos, observando ao final do ciclo o impacto sobre a produção da cultura. O estudo foi realizado em duas localidades, nas Fazendas Água Limpa e Capim Branco, ambas pertencentes à Universidade Federal de Uberlândia. Foi adotado um delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2+1, constituído de três produtos fitossanitários (um fungicida, um herbicida e um inseticida) e dois espectros de gotas (finas e extremamente grossas), mais um tratamento adicional (testemunha) sem aplicação, com quatro repetições. As observações dos polinizadores, assim como sua identificação e contagem do número de visitas, ocorreram no período da manhã, durante quatro dias consecutivos após as aplicações, no estágio de floração da cultura R_{5,5}. Também foi avaliada a produção de aquênios. Observou-se que não houve interferência dos tratamentos sobre a riqueza de polinizadores, sendo todos visitados pelas mesmas espécies. As aplicações dos produtos, independentemente do tipo, promoveram efeito de repelência sobre os polinizadores, sendo mais significativos para *Apis mellifera* L. e *Paratrigona lineata* Lepeletier. Porém, esse efeito foi menor com a pulverização empregando espectro de gotas finas. As condições ambientais, incluindo local e época do ano, mostraram-se determinantes, interferindo diretamente nos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: *Helianthus annuus*; Polinização; Defensivos agrícolas; Tecnologia de aplicação; Tamanho de gotas.

TOXIC EFFECTS OF PESTICIDES APPLIED WITH DIFFERENT DROP SPECTERS ON POLLINATORS IN SUNFLOWER

ABSTRACT

Bee-mediated pollination contributes both to maintaining plant diversity and to increasing agricultural production. However, studies show a decline in these populations, which may be linked to the inappropriate use of pesticides. These products can be applied using different equipment and with different droplet spectra. The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an economically important crop that demands both the use of these products and a great need for pollinators. The objective of the work was to evaluate the effect of different classes of pesticides on the pollinator diversity in sunflower crop, as well as whether the use of different spray drop spectra can act minimizing the effects of these products, observing at the end of the cycle the impact on crop production. The study was carried out in two locations, at Fazenda Água Limpa and Capim Branco, both belonging to the Federal University of Uberlândia. A randomized block design was adopted, in a $3 \times 2 + 1$ factorial scheme, consisting of three pesticides (a fungicide, a herbicide and an insecticide) and two spectra of droplets (fine and extremely coarse), with an additional treatment (witness) without application, with four repetitions. The pollinators' observations, as well as their identification and counting the visit numbers, took place in the morning, for four consecutive days after the applications, in the flowering stage of the R_{5.5} culture. The production of achenes was also evaluated. It was observed that there was no interference of treatments on the richness of pollinators, all of which were visited by the same species. Pesticides applications, regardless of the type, promoted a repellency effect on the pollinators, being more significant for *Apis mellifera* L. and *Paratrigona lineata* Lepeletier. However, this effect was minimized by using fine spray droplet spectra. Environmental conditions, including location and time of year, proved to be decisive, directly interfering in the results.

KEYWORDS: *Helianthus annuus*; Pollination; Pesticides; Application technology; Droplets size.

1. INTRODUÇÃO

A polinização mediada por insetos é considerada como um dos principais serviços ecossistêmicos do planeta, assegurando tanto a manutenção da variabilidade genética entre as espécies vegetais, como a produção e a qualidade de diversas culturas agrícolas, sendo nesse sentido essencial para se garantir segurança alimentar (BREEZE et al., 2011; IPBES, 2016). Estima-se que somente no Brasil os valores dos serviços de polinização relacionados à produção de alimentos movimentem em torno de 43 bilhões de reais ao ano (WOLOWSKI et al., 2019). Dentre os insetos, as abelhas devido ao seu hábito de forrageamento se destacam, pois, tanto os adultos quanto suas crias, são dependentes de pólen e néctar para alimentação (RASMUSSEN et al., 2010), exigindo dessa forma um grande número de visitas florais para garantir esses recursos (CORBET et al., 1991). Isso torna esses organismos os principais agentes polinizadores de diversas espécies vegetais nativas e cultivadas (BARBOSA et al., 2017).

No entanto, nos últimos anos, estudos têm demonstrado um declínio nas populações de abelhas, ocorrendo tanto em áreas agrícolas, quanto em áreas naturais (BIESMEIJER, 2006; POTTS et al., 2010). Este declínio foi primeiramente observado nos Estados Unidos e Europa, com a espécie *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, conhecida popularmente como abelha europa ou abelha africanizada (BECHER et al., 2013; STEINHAEUER et al., 2016) em um fenômeno conhecido como “Colony Collapse Disorder” (CCD). Esse fenômeno é caracterizado pela redução rápida das populações de adultos dentro dos ninhos, sem nenhum motivo relacionado à falta de alimento ou mesmo ataque de outros insetos (VANENGELSDORP et al., 2009). No mundo também existem relatos de desaparecimento de espécies de abelhas nativas (CAMERON et al., 2011), inclusive no Brasil (KERR et al., 2010), o que gera grande preocupação em relação aos possíveis impactos gerados por esse fenômeno na produção de alimentos, podendo se tornar inclusive um limitante produtivo (REILLY et al., 2020).

Estima-se que mais de 75% dos cultivos agrícolas mundiais são polinizados por alguma espécie de abelha (KLEIN et al., 2007) e que, comprovadamente, a riqueza e a abundância (diversidade) das comunidades de abelhas estão associadas ao aumento da produtividade em diferentes cultivos (GREENLEAF; KREMEN, 2006; VILHENA et al., 2011). A interação com polinizadores também está associada à melhora na qualidade produtiva, resultando na produção de frutos de melhor formato, maior valor energético, melhor sabor e com maior tempo de prateleira, além de uma maior produção de sementes por fruto (GARRATT et al., 2014; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2017; KLATT et al., 2014).

Estudos foram realizados com o objetivo de se investigar os possíveis responsáveis pelo fenômeno CCD tanto em relação a *A. mellifera*, como também relacionado às abelhas nativas. Concluiu-se que o uso inadequado de produtos fitossanitários seria um dos principais fatores envolvidos com esse fenômeno (FREITAS et al., 2009; ROCHA, 2012; NAKASU et al., 2014; KOVÁCS-HOSTYÁNSZKI et al., 2017). O Brasil se destaca pelo grande consumo desses produtos, respondendo por cerca de 10% do consumo mundial (MORAES; FRACALOSSO, 2019), totalizando no ano de 2019 cerca de 990 mil toneladas de produtos (SINDVEG, 2020).

Os produtos fitossanitários, também conhecidos como agrotóxicos, pesticidas, praguicidas ou defensivos agrícolas, são substâncias ou misturas de substâncias químicas utilizadas como forma de prevenir, destruir, repelir ou inibir a ocorrência ou efeito de organismos vivos capazes de prejudicar as lavouras agrícolas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000). Esses produtos podem ser classificados segundo a sua finalidade em diversas classes, dentre as quais se destacam pelo seu grande consumo, herbicidas, inseticidas e fungicidas (SILVA; COSTA, 2012), respondendo, respectivamente, por 49%, 21% e 19% de todo o volume de produtos fitossanitários aplicados no país (SINDVEG, 2020).

Os produtos inseticidas são o foco principal dos estudos toxicológicos relacionados às abelhas (BLACQUIÈRE et al., 2012). São considerados altamente tóxicos, podendo levá-las a morte de forma imediata (EL HASSANI et al., 2005). Além disso, estão associados a alterações no comportamento social, afetando o comportamento de forrageamento, capacidade de comunicação, repasse de informações sobre a localização de fontes de alimento e memória de navegação, fazendo com que se desorientem e se percam, não conseguindo retornar para seus ninhos, morrendo longe de seus locais de origem (GODFRAY et al., 2014; MALASPINA et al., 2008).

Esses produtos estariam também afetando as abelhas de forma indireta, deprimindo seu sistema imunológico, as expondo a parasitas que as estariam levando a morte (ROCHA, 2012). Mesmo produtos que não possuem insetos como alvo, como herbicidas e fungicidas, mostraram de alguma forma afetar as abelhas, seja interferindo na sua saúde, causando sua morte (MOTTA; RAYMANN; MORAN, 2018), ou alterando seus comportamentos (ação repelente). Exemplos são aqueles relacionados à divisão de trabalho nos ninhos e às atividades de forrageamento, reduzindo a eficácia de polinização dos cultivos (MAY; WILSON; ISAACS, 2015; OLIVEIRA JÚNIOR; MACIEL, 2019).

A aplicação dos produtos fitossanitários na grande maioria dos cultivos ocorre por meio de pulverização, sendo essa caracterizada como processo mecânico de formação de gotas a partir de

uma calda composta pelo produto e um líquido, geralmente água (MINGUELA; CUNHA, 2017). As gotas produzidas em geral apresentam diferentes tamanhos, sendo dessa forma denominado de espectro de gotas (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019). O padrão de gotas é extremamente importante, pois está ligado diretamente a qualidade da pulverização, interferindo na deposição, penetração, cobertura do alvo e nos riscos de perdas, principalmente relacionadas à deriva e evaporação (BARBIERI MOTTA; ANTUNIASSI, 2013; ANTUNIASSI; BOLLER, 2019). Quanto menor o tamanho de gotas, maior será a cobertura e penetração da calda sobre os alvos, porém mais propensas estarão a perdas por deriva e evaporação (MINGUELA; CUNHA, 2017).

No entanto, pouco se sabe sobre a relação do espectro de gotas utilizado durante as pulverizações e os insetos polinizadores. Apesar dos problemas relacionados ao uso dos produtos fitossanitários, principalmente em relação a insetos polinizadores, esses produtos são de grande necessidade para a produção agrícola mundial, sendo uma importante ferramenta para suprir a alta demanda mundial de alimentos, ajudando a manter as safras agrícolas saudáveis e com alto rendimento (ARCE et al., 2018; ECPA, 2008). São requeridos principalmente em cultivos extensivos, monoculturas, dentre as quais se encaixa a cultura do girassol (*Helianthus annuus* Linnaeus, 1753) (ECPA, 2008).

O girassol é uma das principais culturas produtoras de óleo vegetal comestível cultivada no Brasil, tendo sua produção para safra 2019/2020 estimada em 85,2 mil toneladas (CONAB, 2020). Minas Gerais é o maior Estado produtor da região Sudeste, com cerca de 2 mil toneladas, produzidas principalmente em segunda safra, constituindo uma alternativa rentável nesse período (CONAB, 2020; SILVA et al., 2007). Por ser uma espécie alógama, é altamente dependente de polinização cruzada, realizada principalmente por abelhas, o que garante inclusive incremento na sua produtividade (DE OLIVEIRA; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2019; SILVA et al., 2007). Dessa forma, é uma cultura que requer ao mesmo tempo aplicações de produtos fitossanitários e a presença de agentes polinizadores.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes classes de produtos fitossanitários, sobre a diversidade de polinizadores (riqueza e abundância) na cultura do girassol durante o florescimento; bem como se o emprego de diferentes espectros de gotas de pulverização pode atuar minimizando os efeitos desses produtos, observando ao final do ciclo o impacto sobre a produção da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo e procedimentos

O estudo foi realizado em dois locais, durante os meses de abril a agosto de 2018, na Fazenda Experimental Água Limpa (19°05'16,9"S 48°21'41,4"O), e de fevereiro a maio de 2019, na Fazenda Capim Branco (18°53'23,46"S 48°20'27,46"O), ambas pertencentes à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no Município de Uberlândia, Minas Gerais. A fazenda Água Limpa possui 104 ha de área de mata nativa, composta por diversas fitofisionomias do cerrado, sendo, cerrado sentido restrito, cerrado denso, vereda e mata de galeria e 151,72 ha de área com utilização para fins agrícolas (NETO, 2008) (Figura 1), localizada na zona rural a 23 km do centro de Uberlândia. A Fazenda Capim Branco está localizada mais próxima a cidade de Uberlândia, distante 9,4 km do centro, fazendo divisa inclusive com alguns bairros. Possui uma área total de cerca de 367 ha, utilizada principalmente para fins agrícolas relacionados à pesquisa (SIQUEIRA, 2017) (Figura 2).

O experimento foi estabelecido em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 2 (três classes de produtos fitossanitários e dois espectros de gotas de pulverização) + 1 tratamento adicional, testemunha (sem utilização de nenhum tipo de produto fitossanitário), totalizando sete tratamentos com quatro repetições. Os produtos fitossanitários utilizados foram tiametoxam + lambda-cialotrina, fluazinam, e haloxifope-P-metílico, pulverizados com gotas finas (classe de gotas finas; de 150 a 250 micra) e gotas extremamente grossas (classe de gotas extremamente grossas; > 550 micra). As classificações dos espectros de gotas foram baseadas no catálogo do fabricante das pontas de pulverização, considerando as especificações da BCPC (*British Crop Production Council*).

O inseticida tiametoxam + lambda-cialotrina corresponde a uma mistura de dois ingredientes ativos. É classificado como produto sistêmico, de contato e ingestão, pertencente aos grupos químicos neonicotinóide (tiametoxam) e piretroide (lambda-cialotrina). Ambos atuam diretamente no sistema nervoso dos insetos, respectivamente, como modulador competitivo dos receptores nicotínicos da acetilcolina e como modulador dos canais de Na⁺. O produto comercial (Engeo Pleno[®]) empregado era composto por 141 g L⁻¹ de tiametoxam, 106 g L⁻¹ de lambda-cialotrina, 72,76 g L⁻¹ de nafta de petróleo e 872 g L⁻¹ de outros ingredientes (Classificação toxicológica: Categoria 3; Classificação ambiental: Classe I) (AGROFIT, 2020).

O fluazinam é um produto de ação fungicida, de contato, pertencente ao grupo químico das fenilpiridinilaminas. Atua diretamente no processo de respiração celular, como desacoplador da fosforilação oxidativa. O produto comercial (Curado[®]) usado era composto por 500 g L⁻¹ de fluazinam e 750 g L⁻¹ de outros ingredientes (Classificação toxicológica: Categoria 5; Classificação ambiental: Classe II) (AGROFIT, 2020). O haloxifope-P-metílico é um herbicida seletivo, sistêmico, pertencente ao grupo químico ácido ariloxifenoxipropiônico e atua como inibidor da síntese de lipídeos. O produto comercial (Verdict R[®]) era composto por 124,70 g L⁻¹ de haloxifope-P-metílico (equivalente a 120 g L⁻¹ de equivalente ácido) e 804 g L⁻¹ de outros ingredientes (Classificação toxicológica: Categoria 1; Classificação ambiental: Classe III) (AGROFIT, 2020).

Todos os produtos são de uso autorizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil, sendo de comum utilização na cultura do girassol para controle da lagarta do girassol (*Chlosyine lacinia* Geyer, 1837), considerada como uma das principais pragas da cultura (GAZZOLA et al., 2012), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum* Bary, 1884) e plantas daninhas de folhas estreitas (monocotiledôneas). Nesse sentido, as doses dos produtos foram estabelecidas conforme bula, adotando-se a maior dose permitida para o controle desses organismos.

Figura 1 - Fazenda Experimental Água Limpa (Uberlândia - Minas Gerais).



Área da fazenda (■), local do experimento (■). Fonte: Google Maps, 2020.

Figura 2 - Fazenda Experimental Capim Branco (Uberlândia - Minas Gerais).



Área da fazenda (■), local do experimento (■). **Fonte:** Google Maps, 2020.

A unidade amostral foi composta de parcelas de 8 m² (4 m de largura e 2 m de comprimento), espaçadas entre si em 1 m. Em cada parcela foi semeado o híbrido comercial de girassol, HELIO 250 (sementes não tratadas) com espaçamento entre linhas de 1 m e entre plantas de 0,5 m, em uma profundidade de 0,05 m, totalizando 25 plantas por parcela (cinco linhas com cinco plantas cada). Foi semeado três sementes em cada uma das covas, com o intuito de assegurar que pelo menos uma delas se desenvolvesse e germinasse. Quinze dias após emergência das plântulas foi feito o desbaste para permanência de apenas uma planta por cova.

A aplicação dos produtos fitossanitários iniciou-se sessenta dias após a semeadura, no período do início da manhã, no estágio R₅, no florescimento da cultura, obedecendo às indicações disponíveis na bula (Figura 3A). Foram utilizados para todos os tratamentos as mesmas pontas de pulverização (MagnoJet[®]), sendo ADIA 110015 (jato plano com indução de ar), para aplicação de gotas extremamente grossas, e BD 110015 (jato plano), para aplicação de gotas finas. Foi utilizado um pulverizador costal acionado por pressão constante (CO₂) equipado com barra contendo quatro pontas espaçadas entre si em 0,5 m, conferindo uma faixa de aplicação de 2 m. Foi adotada uma pressão de trabalho de 2 bar (200 kPa), com vazão de 0,50 L min⁻¹ por ponta, velocidade de 4 km h⁻¹ e taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹ (Figura 3B). Durante as aplicações foi utilizada uma barreira

de lona plástica medindo 2 m de altura por 6 m de largura, como forma de evitar uma possível contaminação entre os tratamentos.

Foram realizadas inspeções semanais durante todo o período de realização do experimento, como forma de evitar a interferência de algum agente que pudesse afetar o bom desenvolvimento da cultura. O controle de pragas e plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura ocorreu de forma mecânica, por meio de esmagamento e capina, respectivamente.

Figura 3 - Aplicação dos produtos fitossanitários.



(A) Estádio de desenvolvimento R₅ – Início da antese, disco de flores visível. (B) Aplicação via pulverizador costal acionado por pressão constante (CO₂). **Fonte:** Arthur Oliveira.

2.2 Avaliações

2.2.1 Riqueza e abundância de polinizadores

Para identificação e quantificação dos polinizadores, foram realizadas observações durante quatro dias corridos, iniciadas no dia seguinte às aplicações, em cinco horários diferentes: às 08:00, 9:00, 10:00, 11:00 e 12:00 h. Em cada dia de observação, era escolhido um capítulo por parcela em estágio de desenvolvimento R_{5,5}, considerado como estágio de floração plena, onde 50% das

flores presentes no capítulo estavam abertas (CASTIGLIONI et al., 1994). Os capítulos escolhidos foram observados durante dois minutos em cada um dos cinco horários. Durante esse período, eram feitas a identificação das espécies de polinizadores (riqueza) e a contabilização do número de visitas (abundância) de cada uma dessas espécies (DE OLIVEIRA; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2019). Ao final dos 4 dias de observação, o número de visitas de cada uma das espécies foi somado, resultando em um total de visitas por tratamento.

O capítulo utilizado para observação em cada dia era marcado com fita colorida e identificado com um código, indicando o dia de observação, o bloco e o referido tratamento, impedindo-o de ser utilizado novamente. Foram utilizados apenas capítulos localizados no interior da parcela, como forma de diminuir possíveis interferências entre os tratamentos. Após a coleta de todos os dados, os capítulos utilizados (quatro por parcela) foram então envolvidos com sacos de papel medindo 45 cm de altura e 40 cm de largura (Figura 4A), como forma de evitar o ataque de aves até a colheita dos aquênios (Figura 4B). Ao todo, em cada uma das duas áreas, foram observados/ensacados 112 capítulos de girassol.

Figura 4 - Ensacamento dos capítulos observados.



(A) Capítulo ensacado. **(B)** Capítulo não previamente ensacado (atacado por aves). **Fonte:** Arthur Oliveira.

2.2.2 Produção de aquênios

Após o aguardo do período de maturação e secagem dos aquênios, cerca de 40 dias após a coleta dos dados dos polinizadores, os capítulos ensacados em cada uma das parcelas foram colhidos e levados até o Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) da UFU, onde foram debulhados, e seus aquênios peneirados e armazenados em sacos de papel previamente identificados. Cada um dos sacos continha o total de aquênios provenientes dos quatro girassóis colhidos por parcela. Essas amostras foram então pesadas em balança de precisão e o valor da massa em gramas (g) registrado.

2.2.3 Condições meteorológicas

As condições meteorológicas (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) durante o período de aplicação e observação dos polinizadores foram registradas com o auxílio de um termo-higro-anemômetro (Tabela 1).

Tabela 1 - Condições meteorológicas no momento das aplicações e durante os dias de observações dos polinizadores nas diferentes áreas experimentais.

Áreas experimentais	Aplicação dos tratamentos			Observação dos polinizadores (\bar{X})		
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (km h ⁻¹)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (km h ⁻¹)
Fazenda Água Limpa	22,6	60,7	4,1	24,8	46,12	4,6
Fazenda Capim Branco	22,0	85,0	4,3	29,4	68,12	4,4

\bar{X} : Média dos quatro dias de observações dos polinizadores.

2.3 Análises estatísticas

Com o auxílio do software R v3.6.1 (R CORE TEAM, 2019), e com todas as pressuposições atendidas, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelos testes de Tukey, para comparação de médias, e Dunnett, para comparação com o tratamento adicional.

Pelo fato do estudo ter sido realizado em duas áreas experimentais, e como forma de se obter informações a respeito da relação entre os tratamentos com o ambiente foi realizada por meio do software Genes (CRUZ, 2006), uma análise conjunta, seguida por um teste de Tukey para comparação de médias dos tratamentos entre as duas áreas experimentais. Para todas as análises estatísticas, foi adotada uma significância de 0,05.

3. RESULTADOS

3.1 Fazenda Água Limpa

Considerando a riqueza de polinizadores, foi observado que, independente do tratamento utilizado, todas as unidades experimentais foram visitadas pelas mesmas espécies de abelhas: *A. mellifera*, *Trigona spinipes* Fabricius, 1793 e *Paratrigona lineata* Lepeletier, 1836, sendo a primeira uma espécie exótica, e as demais, espécies nativas da região, todas de comportamento social. Foram observadas no total 2055 visitas, das quais, 1198 foram realizadas por *P. lineata* (58,3 %), 561 por *A. mellifera* (27,3%) e 296 por *T. spinipes* (14,4%).

Para *A. mellifera* a aplicação dos produtos fitossanitários, resultou em redução na abundância de visitas, independente do espectro de gotas utilizado na pulverização (Tabela 2). Para *P. lineata*, esse efeito negativo também foi observado, porém apenas quando os produtos foram aplicados com espectro de gotas extremamente grossas. Resultados contrastantes foram encontrados em *T. spinipes*, onde a espécie não foi significativamente afetada pelos produtos fitossanitários nem pelos espectros de gotas utilizados na aplicação (Tabela 2).

Todas as espécies foram afetadas de forma semelhante pelas aplicações dos produtos, independente de sua classe de ação (fungicida, herbicida ou inseticida), sendo assim considerados igualmente tóxicos. A utilização de gotas finas se mostrou uma alternativa viável frente a utilização de gotas extremamente grossas, minimizando os efeitos nocivos desses produtos e contribuindo para um maior número de visitas. As diferenças observadas nas abundâncias das visitas das espécies de polinizadores não refletiram em variações significativas na produção de aquênios, não havendo diferenças inclusive com a testemunha (Tabela 3).

Tabela 2 – Média da abundância de visitas de polinizadores à cultura do girassol após a pulverização de diferentes classes de produtos fitossanitários, utilizando-se dois espectros de gotas. Fazenda Água Limpa, Uberlândia – MG.

Produto fitossanitário	Número de visitas								
	<i>Apis mellifera</i>			<i>Trigona spinnipes</i>			<i>Paratrigona lineata</i>		
	Espectro de gotas			Espectro de gotas			Espectro de gotas		
	Fina	E. grossa	Média	Fina	E. grossa	Média	Fina	E. grossa	Média
Herbicida	21,75 ^o	17,50 ^o	19,63 A	6,25	9,25	7,75 A	50,00	34,25 ^o	42,13 A
Inseticida	16,00 ^o	16,50 ^o	16,25 A	13,50	12,00	12,75 A	45,50	33,25 ^o	39,38 A
Fungicida	22,00 ^o	15,75 ^o	18,88 A	8,25	7,75	8,00 A	40,50	36,50 ^o	38,50 A
Testemunha ^o	30,75			17,00			64,25		
Média	19,92 a	16,58 b		9,33 a	9,67 a		45,33 a	34,67 b	
CV(%)	7,06			23,17			6,09		
F _{Produtos Fitossanitários}	1,8246 ^{ns}			1,3752 ^{ns}			0,3048 ^{ns}		
F _{Espectro de gotas}	4,8415*			0,0144 ^{ns}			7,2698*		
F _{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}	1,7460 ^{ns}			0,2418 ^{ns}			0,7752 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	38,9049*			4,1767 ^{ns}			21,4708*		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^oMédia que difere da testemunha (sem aplicação de produtos fitossanitários) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação; F_{Produtos Fitossanitários}: Valor do teste de F para produtos fitossanitários; F_{Espectro de gotas}: Valor do teste de F para espectro de gotas; F_{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}: Valor do teste de F para a interação produtos fitossanitários x espectro de gotas; F_{Adicional x Fatorial}: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 3 – Média da produção de aquênios de girassol (quatro plantas por parcela) após a pulverização de diferentes classes de produtos fitossanitários, utilizando-se dois espectros de gotas. Fazenda Água Limpa, Uberlândia – MG.

Produto fitossanitário	Produção (g)		
	Espectro de gotas		
	Fina	E. grossa	Média
Herbicida	275,00	285,50	280,25
Inseticida	279,00	309,50	294,25
Fungicida	316,50	324,50	320,50
Testemunha	288,50		
Média	290,17	306,50	
CV (%)		0,58	
F _{Produtos Fitossanitários}		1,2516 ^{ns}	
F _{Espectro de gotas}		0,5998 ^{ns}	
F _{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}		0,1140 ^{ns}	
F _{Adicional x Fatorial}		0,1242 ^{ns}	

CV (%): Coeficiente de variação; F_{Produtos Fitossanitários}: Valor do teste de F para produtos fitossanitários; F_{Espectro de gotas}: Valor do teste de F para espectro de gotas; F_{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}: Valor do teste de F para interação produtos fitossanitários x espectro de gotas; F_{Adicional x Fatorial}: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; ^{ns}Não significativo.

3.2 Fazenda Capim Branco

Com um total de 1516 visitas, apenas a espécie *A. mellifera* foi observada visitando os capítulos de girassol na Fazenda Capim Branco. Não foram encontradas diferenças na abundância de suas visitas entre os produtos fitossanitários utilizados, assim como no espectro de gotas de pulverização. A não aplicação de produtos fitossanitários apesar de ter conferido maior média de visitas na testemunha, não foi significativamente diferente dos demais tratamentos (Tabela 4). A produção de aquênios também não variou, não sendo influenciada por nenhum dos produtos fitossanitários ou pelos espectros de gotas utilizados nas aplicações (Tabela 5).

Tabela 4 – Média da abundância de visitas de *Apis mellifera* à cultura do girassol após a pulverização de diferentes classes de produtos fitossanitários, utilizando-se dois espectros de gotas. Fazenda Capim Branco, Uberlândia – MG.

Produto fitossanitário	Número de visitas		
	<i>Apis mellifera</i>		
	Espectro de gotas		
	Fina	E. grossa	Média
Herbicida	49,00	52,00	50,50
Inseticida	52,50	51,00	51,75
Fungicida	58,25	56,75	57,50
Testemunha	59,50		
Média	53,25	53,25	
CV(%)	11,62		
F _{Produtos Fitossanitários}	2,8151 ^{ns}		
F _{Espectro de gotas}	0,0000 ^{ns}		
F _{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}	0,3408 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	3,3814 ^{ns}		

CV (%): Coeficiente de variação; F_{Produtos Fitossanitários}: Valor do teste de F para produtos fitossanitários; F_{Espectro de gotas}: Valor do teste de F para espectro de gotas; F_{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}: Valor do teste de F para interação produtos fitossanitários x espectro de gotas; F_{Adicional x Fatorial}: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; ^{ns}Não significativo.

Tabela 5 – Média da produção de aquênios na cultura do girassol (quatro plantas por parcela) após a pulverização de diferentes classes de produtos fitossanitários, utilizando-se dois espectros de gotas. Fazenda Capim Branco, Uberlândia – MG.

Produto fitossanitário	Produção (g)		
	Espectro de gotas		
	Fina	E. grossa	Média
Herbicida	375,50	388,50	382,00
Inseticida	354,50	382,50	368,50
Fungicida	357,00	360,50	358,75
Testemunha	365,00		
Média	362,33	377,17	
CV(%)	0,54		
F _{Produtos Fitossanitários}	0,7547 ^{ns}		
F _{Espectro de gotas}	0,9137 ^{ns}		
F _{Produtos Fitossanitários x Espectro de gotas}	0,2112 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	0,0535 ^{ns}		

Tabela 5 – Continuação

CV (%): Coeficiente de variação; $F_{\text{Produtos Fitossanitários}}$: Valor do teste de F para produtos fitossanitários; $F_{\text{Espectro de gotas}}$: Valor do teste de F para espectro de gotas; $F_{\text{Produtos Fitossanitários} \times \text{Espectro de gotas}}$: Valor do teste de F para a interação produtos fitossanitários x espectro de gotas; $F_{\text{Adicional} \times \text{Fatorial}}$: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; ^{ns}Não significativo.

3.3 Análise conjunta

A análise conjunta realizada entre as duas áreas experimentais demonstrou um efeito significativo do ambiente (Tabelas 6 e 7), o que indicou que as condições ambientais presentes nas duas áreas influenciaram nos resultados observados. As visitas de *A. mellifera* foram mais abundantes na fazenda Capim Branco quando comparadas às visitas ocorridas na fazenda Água Limpa, independente do tratamento analisado (Tabela 6). Esse comportamento também foi verificado em relação à produção de aquênios, sendo superior na fazenda Capim Branco na maioria dos tratamentos (Tabela 7).

A análise conjunta também demonstrou um efeito significativo dos tratamentos sobre a abundância de visitas de *A. mellifera* dentro de cada uma das áreas experimentais (Tabela 6). Porém, esses resultados não foram aprofundados dentro desta análise, pelo fato de terem sido apresentados anteriormente na análise fatorial (Tabela 4), de forma isolada para cada área experimental.

Tabela 6 - Média da abundância de visitas de *Apis mellifera* à cultura do girassol nos diferentes tratamentos, nas duas áreas experimentais.

Tratamentos		Número de visitas de <i>Apis mellifera</i>	
		Fazenda Água Limpa	Fazenda Capim Branco
Herbicida	Gota Fina	21,75	49,00
	Gota Grossa	17,50	52,00
Inseticida	Gota Fina	16,00	52,50
	Gota Grossa	16,50	51,00
Fungicida	Gota Fina	22,00	58,25
	Gota Grossa	15,75	56,75
Testemunha		30,75	59,50
Média		20,04 b	54,14 a
CV (%)		13,93	

Tabela 6 – Continuação.

$F_{\text{tratamento}}$	5,1016*
F_{ambiente}	143,9206*
$F_{\text{Tratamentos x Ambiente}}$	1,6719 ^{ns}

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação; $F_{\text{Tratamentos}}$: Valor do teste de F para tratamentos; F_{Ambiente} : Valor do teste de F para ambiente; $F_{\text{Tratamento x Ambiente}}$: Valor do teste de F para a interação tratamento x ambiente; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Tabela 7 - Média da produção de aquênios de girassol (g) nos diferentes tratamentos, nas duas áreas experimentais.

Tratamentos		Produção (g)	
		Fazenda Água Limpa	Fazenda Capim Branco
Herbicida	Gota Fina	275,00	375,50
	Gota Grossa	285,50	388,50
Inseticida	Gota Fina	279,00	354,50
	Gota Grossa	309,50	382,50
Fungicida	Gota Fina	316,50	357,00
	Gota Grossa	324,50	360,50
Testemunha		288,50	365,00
Média		296,93 b	369,07 a
CV (%)		13,62	
$F_{\text{tratamento}}$		0,4230 ^{ns}	
F_{ambiente}		14,7734*	
$F_{\text{Tratamentos x Ambiente}}$		0,6636 ^{ns}	

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação; $F_{\text{Tratamentos}}$: Valor do teste de F para tratamentos; F_{Ambiente} : Valor do teste de F para ambiente; $F_{\text{Tratamento x Ambiente}}$: Valor do teste de F para a interação tratamento x ambiente; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

4. DISCUSSÃO

A riqueza de polinizadores está muito associada à qualidade da área de entorno, principalmente com relação à presença de áreas naturais próximas aos cultivos (COSTA; KRUPPECK; KRAWCZYK, 2015). A maior distância do meio urbano associada à presença de uma grande área de mata nativa contribuiu para a existência de um maior número de espécies visitando

o cultivo na fazenda Água Limpa. Nesse mesmo sentido, o predomínio apenas da espécie *A. mellifera* encontrada na Fazenda Capim Branco condiz com sua proximidade à área urbana, sendo inclusive apontada como espécie frequente nesses locais (ALVES; PERUCHI; AGOSTINI, 2010). Suas populações possuem uma capacidade superior em se manter em ambientes mais degradados, e desfavoráveis, principalmente quando comparadas a outras espécies de abelhas (CELY-SANTOS; PHILPOTT, 2019).

De Oliveira, Junqueira e Augusto (2019), em um trabalho realizado com a aplicação de inseticida também na cultura do girassol, observaram que dentre os componentes que formam a diversidade biológica, apenas a abundância de polinizadores foi influenciada pela aplicação de produtos fitossanitários. Além disso, as espécies *A. mellifera* e *P. lineata* foram mais sensíveis quando comparadas a *T. spinipes*, apresentando uma redução significativa nas suas visitas após as aplicações, o que corrobora com os resultados apresentados neste estudo. Porém, considerando a proporção de visitas entre essas espécies, o presente trabalho difere do observado por esses autores, assim como de Castro Melo (2014), onde houve um predomínio expressivo de *A. mellifera* sobre as demais espécies.

Após uma pulverização, as abelhas que visitam as flores (forrageiras) ficam expostas a contaminações, ocorrendo por contato direto com o produto, e/ou por ingestão de pólen e néctar contaminados (ROCHA, 2012). Segundo Després, David e Gallet (2007), grande parte dos insetos possuem capacidade de detectar a presença de produtos químicos, podendo ocorrer de forma genética ou por meio de processo de aprendizagem. Dessa forma, as abelhas podem detectar a presença de produtos fitossanitários, e assim evitar consumi-los, obtendo uma repelência inata ou aprendida a um novo fitossanitário no ambiente (ARCE et al., 2018). Godfrey et al. (2014) inclusive sugerem que as abelhas podem escolher forragear em outras flores disponíveis no ambiente e, portanto, evitar ou diluir a exposição aos produtos fitossanitários.

Estudos têm demonstrado a ocorrência de repelência com diversos produtos, tanto aqueles de ação inseticida (FREITAS; PINHEIRO, 2012), quanto fungicida (SILVA NETO et al., 2018) e herbicida (BALBUENA et al., 2015). Estes produtos podem ficar ainda ativos por diversos dias nas superfícies vegetais (MUSSEN, 1996; ARAÚJO, 2019).

Por serem espécies sociais, as abelhas possuem entre si uma ampla comunicação, principalmente no que diz respeito ao forrageamento e recrutamento de novos indivíduos (GODFREY et al., 2014). Nessa comunicação, as abelhas forrageiras conseguem repassar para suas companheiras informações sobre a qualidade do alimento, sua localização e distância para que as demais possam também o coletar (NIEH et al., 2004). Nesse sentido, abelhas que tiveram

contato com os tratamentos com presença de produtos fitossanitários podem ter passado a evitá-los e ao retornarem aos ninhos, no momento de recrutamento de novas forrageiras, não indicaram os recursos presentes nesses tratamentos. De forma geral, na fazenda Água Limpa, por não haver aplicação de produtos na testemunha, e por consequência a não repelência, provavelmente houve maior recrutamento, resultando na maior abundância de visitas observadas no estudo.

Segundo Radunz e Smith (1996 *apud* SOUSA et al., 2013), a toxicidade de um produto fitossanitário pode estar relacionada com o espectro de gotas utilizado no momento da aplicação, conferindo a pulverizações com gotas finas menor toxicidade quando comparadas a gotas mais grossas. Estudos demonstraram que a toxicidade de um produto pode cair até 50% quando o mesmo tem a oportunidade de evaporar antes do contato com a abelha (MORAES; BAUTISTA; VIANA, 2000). Dessa forma, gotas menores por evaporarem mais rapidamente podem ter sensibilizado as abelhas de forma menos significativa, reduzindo o efeito de repelência desses produtos. Outro fator importante e que pode estar relacionado ao resultado apresentado, é o fato de que gotas de menor tamanho proporcionam maior cobertura, aumentando a área de contato dos produtos com a superfície vegetal, e nesse sentido, possibilitam uma maior absorção, em uma velocidade mais elevada (LENZ et al., 2011), o que pode ter contribuído para reduzir a repelência dos produtos, devido a menor quantidade de resíduos na superfície vegetal.

A maior abundância de visitas das espécies *A. mellifera* e *P. lineata*, na Fazenda Água Limpa, não resultou em incrementos produtivos na massa de aquênios, contrariando o observado por De Oliveira, Junqueira e Augusto (2019). Estudos indicam que entre os híbridos de girassol podem haver diferenças quanto às respostas produtivas frente a visitas de polinizadores, sendo alguns híbridos indiferentes a presença ou ausência de agentes polinizadores (CHAMBÓ et al., 2010). Segundo Alves (2006), o híbrido HELIO 250 utilizado no presente estudo seria um desses híbridos não responsivos.

O potencial de toxicidade também pode ser influenciado por fatores ambientais, em especial, a umidade relativa do ar e a temperatura (FREITAS; PINHEIRO, 2012). Em geral, temperaturas mais altas contribuem para redução na toxicidade residual dos ingredientes ativos, aumentando sua degradação e tornando-os menos persistentes no ambiente (PINHEIRO; FREITAS, 2010). Johansen e Mayer (1990), por exemplo, observaram que a toxicidade de um mesmo produto pode variar em até 18 vezes dependendo da temperatura a qual ele foi exposto.

Da mesma forma, a associação de altas temperaturas com a presença de umidade relativa também elevada atuam provocando maior penetração dos produtos nos tecidos vegetais, promovendo maior difusão, e consequentemente absorção dos ingredientes ativos pela planta,

tornando-os menos disponíveis no ambiente (ANTUNIASSI; BOLLER, 2019). A presença de alta umidade relativa também favorece a formação de orvalho sobre as folhas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), que em grandes quantidades, pode promover a retirada de produtos da superfície vegetal, provocando uma espécie de lavagem (RODRIGUES, 2003; ROMAN et al., 2004).

Os dois experimentos, apesar de serem idênticos, foram realizados em períodos diferentes, o que também pode ter influenciado nos resultados distintos encontrados nas duas áreas. Na fazenda Água Limpa, as aplicações dos tratamentos, assim como as observações dos polinizadores, ocorreram durante o mês de junho, com temperaturas diurnas mais amenas e baixa umidade relativa. Enquanto na fazenda Capim Branco, esses mesmos procedimentos foram realizados durante o mês de abril com a presença de temperaturas mais elevadas durante o dia e alta umidade relativa, ficando inclusive acima de 90% no início das manhãs nos dias posteriores à aplicação. Nesse sentido, a união de temperaturas mais elevadas e alta umidade, associada à formação de grandes quantidades de orvalho ocorrida na fazenda Capim Branco, possivelmente reduziram a toxicidade dos produtos, minimizando os efeitos de repelência dos tratamentos sobre as visitas de *A. melífera*, tornando-os indiferentes.

A produção também está muito relacionada a fatores ambientais, com destaque para aqueles que interferem na fotossíntese (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; DA SILVA, 2015). Dessa forma, a maior produção de aquênios encontrada na fazenda Capim Branco pode estar associada com a maior quantidade de luz recebida pela cultura durante o processo de enchimento dos aquênios. Em média, durante esse período, o cultivo presente na fazenda Capim Branco recebeu cerca de uma hora a mais de luz por dia que o cultivo realizado na fazenda Água Limpa. Isso pode ter contribuído para o aumento do processo fotossintético e acúmulo de fotoassimilados, resultando em maior massa de aquênios.

O aumento da produtividade dos cultivos agrícolas tem se tornado cada vez mais um fator fundamental para se garantir a segurança alimentar, principalmente perante o atual cenário de aumento crescente da população mundial (TILMAN; CLARK, 2015) e a restrição de áreas agricultáveis (SCHNEIDER et al., 2011). Diante disso, buscar técnicas que permitam a complementariedade entre a utilização de produtos fitossanitários e a ação de polinizadores tem se tornado cada vez mais necessárias.

A adoção de um espectro de gotas de menor tamanho, por exemplo, embora tenha sido positiva na redução da repelência às abelhas, traz consigo alguns riscos, principalmente relacionados à deriva (DORUCHOWSKI et al., 2017). Deste modo, a atenção às condições

ambientais deve ser primordial. A aplicação de gotas finas deve estar pautada em condições que permitam sua deposição e absorção, de forma que consigam atuar sobre seus alvos de forma efetiva. Nesse sentido, condições de altas temperaturas (acima dos 30 °C), baixa umidade relativa (abaixo de 55%) e ventos inferiores a 3 km h⁻¹ e superiores a 10 km h⁻¹ devem sempre ser evitadas (ANTUNIASSI; BOLLER; 2019). Neste estudo, não foi avaliado o efeito da deriva, que deve ser manejada adequadamente a campo, principalmente considerando a velocidade do vento durante as aplicações.

5. CONCLUSÕES

As aplicações de produtos fitossanitários, independente da sua ação fungicida, inseticida ou herbicida, promoveram redução na abundância de visitas de algumas espécies de polinizadores ao cultivo de girassol, em uma das áreas experimentais. Esses produtos proporcionaram um efeito de repelência sobre as abelhas, resultando em uma diminuição no forrageamento desses polinizadores, variando de intensidade dependendo da espécie. *Apis mellifera* e *Paratrigona lineata* se mostraram mais sensíveis às aplicações, enquanto *Trigona spinnipes* se mostrou indiferente.

As pulverizações empregando espectros de gotas de menor tamanho contribuíram para a minimização dos efeitos de repelência dos produtos fitossanitários sobre as espécies mais sensíveis, apesar do maior risco de deriva. As condições ambientais do local estudado foram determinantes, interferindo diretamente nos resultados.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 20 set. 2020.
- ALVES, G.R, PERUCHI, A. AGOSTINI, K. Polinização em área urbana: o estudo de caso de *Jacaranda mimosifolia* D. Don (Bignoniaceae). **Bioikos**, Campinas v. 24, n. 1, p. 31–41, 2010.
- ALVES, T.T.L. **Biologia floral e produtividade de grãos de três híbridos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em função do comportamento de pastejo e eficiência polinizadora da abelha *Apis mellifera***. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu: Fedaf, 2019.
- ARAÚJO, W. L. **Toxicidade de inseticidas sobre abelhas sem ferrão**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.
- ARCE, A. N. *et al.* Foraging bumblebees acquire a preference for neonicotinoid-treated food with prolonged exposure. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1885, p. 20180655, 2018. DOI: 10.1098/rspb.2018.0655.
- BALBUENA, M. S. *et al.* Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. **Journal of Experimental Biology**, v. 218, n. 17, p. 2799–2805, 2015. DOI: 10.1242/jeb.117291.
- BARBIERI MOTA, A. A.; ANTUNIASSI, U. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 28, n. 1, p. 01, 2013. DOI: 10.17224/EnergAgric.2013v28n1p01-05.
- BARBOSA, D. B. *et al.* As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 4, p. 694–703, 2017. DOI: 10.21674/2448-0479.34.694-703.
- BECHER, M. A. *et al.* Towards a systems approach for understanding honeybee decline: a stocktaking and synthesis of existing models. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 868–880, 2013. DOI: 10.1111/1365-2664.12112.
- BIESMEIJER, J. C. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, n. 5785, p. 351–354, 2006. DOI: 10.1126/science.1127863.
- BLACQUIÈRE, T. *et al.* Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 4, p. 973–992, 2012. DOI: 10.1007/s10646-012-0863-x.

- BREEZE, T. D. *et al.* Pollination services in the UK: How important are honeybees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n. 3–4, p. 137–143, 2011. DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.020.
- CAMERON, S. A. *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 2, p. 662–667, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1014743108.
- CASTIGLIONI, V. B. R. *et al.* Fases de desenvolvimento da planta de girassol. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 24p, 1994. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/445797/1/doc059.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.
- CASTRO-MELO, A. L. S. **Effect of pollination services in the production and quality of sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- CELY-SANTOS, M.; PHILPOTT, S. M. Local and landscape habitat influences on bee diversity in agricultural landscapes in Anolaima, Colombia. **Journal of Insect Conservation**, v. 23, n. 1, p. 133–146, 2019. DOI: 10.1007/s10841-018-00122-w.
- CHAMBÓ, E. D. *et al.* Produção de genótipos de girassol pela ação de insetos polinizadores. **Varia Scientia**, v. 9, n. 15, p. 131-139, 2010.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2019/2020 – Quarto levantamento, Brasília, p. 1-104, janeiro 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2019/2020 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, agosto 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- CORBET, S. A.; WILLIAMS, I. H.; OSBORNE, J. L. Bees and the Pollination of Crops and Wild Flowers in the European Community. **Bee World**, v. 72, n. 2, p. 47–59, 1991. DOI: 10.1080/0005772X.1991.11099079.
- COSTA, C. C. F.; KRUPK, R. A.; KRAWCZYK, A. C. D. B. Diversidade de visitantes florais e biologia reprodutiva do Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) em fragmento de mata e área urbana. **Bioikos**, v. 29, n. 2, p. 11-18, 2015.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- DE OLIVEIRA, A. C.; JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Pesticides affect pollinator abundance and productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Apicultural Research**, v. 58, n. 1, p. 2–8, 2019. DOI: 10.1080/00218839.2018.1494441.

DESPRÉS, L.; DAVID, J.-P.; GALLET, C. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 6, p. 298–307, 2007. DOI: 10.1016/j.tree.2007.02.010.

DORUCHOWSKI, G. *et al.* Low-drift nozzles vs. standard nozzles for pesticide application in the biological efficacy trials of pesticides in apple pest and disease control. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 1239–1246, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.200.

ECPA (European Crop Protection Association). Pesticides and honey bees – both essential to agriculture. In: MISC/08/CG/17834, 2008. Disponível em: <[http://www.bayercropscience.com/BSCWeb/CropProtection.nsf/id/EN_Bee_safety_and_Colony_Collapse_Disorder/\\$file/ECPA-Pesticides and Honey Bees %E2%80%93 both Essential to Agriculture.pdf](http://www.bayercropscience.com/BSCWeb/CropProtection.nsf/id/EN_Bee_safety_and_Colony_Collapse_Disorder/$file/ECPA-Pesticides%20and%20Honey%20Bees%20-%20both%20Essential%20to%20Agriculture.pdf). Acesso em: 25 ago. 2020.

EL HASSANI, A. K. *et al.* Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 82, n. 1, p. 30–39, 2005. DOI: 10.1016/j.pbb.2005.07.008.

FREITAS, B. M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, v. 40, n. 3, p. 332–346, 2009. DOI: 10.1051/apido/2009012.

FREITAS, B. M.; PINHEIRO, J. N. **Polinizadores e pesticidas: princípios e manejo para os agrossistemas brasileiros**. Brasília: MMA, 2012. Disponível em: <http://www.semabelhasemalimento.com.br/wp-content/uploads/2015/02/polinizadores-e-pesticidas-final-.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

GARRATT, M. P. D. *et al.* Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 184, p. 34–40, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.032.

GAZZOLA, A. *et al.* A cultura do girassol. **Piracicaba: ESALQ**, v. 69, 2012. Disponível em: [http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroecologia_4%C2%B0M%C3%B3duloGr%C3%A3os/Girassol/LPV-0506%20-%20GIRASSOL%20APOSTILA%202012%20\(1\).pdf](http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroecologia_4%C2%B0M%C3%B3duloGr%C3%A3os/Girassol/LPV-0506%20-%20GIRASSOL%20APOSTILA%202012%20(1).pdf). Acesso em: 25 set. 2020.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1786, p. 20140558, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.0558.

GREENLEAF, S. S.; KREMEN, C. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 37, p. 13890–13895, 2006. DOI: 10.1073/pnas.0600929103.

IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. (eds S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca & H. Ngo). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy**, Bonn, Germany, p. 552, 2016.

JOHANSEN, C. A.; MAYER, D. F. **Pollinator protection: a bee & pesticide handbook**. Cheshire, Conn., USA: Wicwas Press, 1990.

JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Bigger and sweeter passion fruits: effect of pollinator enhancement on fruit production and quality. **Apidologie**, v. 48, n. 2, p. 131–140, 2017. DOI: 10.1007/s13592-016-0458-2.

KERR, W. E. *et al.* Aspectos pouco mencionados da biodiversidade amazônica. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 20-41, 2010.

KLATT, B. K. *et al.* Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1775, p. 20132440, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2013.2440.

KLEIN, A.-M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303–313, 2007. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. DA. Physiological and Environmental Aspects of Photosynthesis. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, 2015. DOI: 10.5935/1984-6835.20150004.

KOVÁCS-HOSTYÁNSZKI, A. *et al.* Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. **Ecology Letters**, v. 20, n. 5, p. 673–689, 2017. DOI: 10.1111/ele.12762.

LENZ, G. *et al.* Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1702–1708, 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000127.

MALASPINA, O. *et al.* Efeitos provocados por agrotóxicos em abelhas no Brasil. **VIII Encontro sobre Abelhas. Resumos, Ribeirão Preto, SP, Brasil. FUNPEC**, p. 41-48, 2008.

MAY, E., WILSON, J., ISAACS, R. Minimizing pesticide risk to bees in fruit crops. **Extension Bulletin E3245**, p. 1-16, 2015. Disponível em: <http://msue.anr.msu.edu/uploads/236/68700/E-3245.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. 1. ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2017.

MORAES, D.; FRACALOSSO, R. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. [s.l.] Texto para Discussão, 2019. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/211457>. Acesso em: 24 set. 2020.

MORAES, S. S.; BAUTISTA, A. R. L.; VIANA, B. F. Avaliação da toxicidade aguda (DL50 e CL50) de inseticidas para *Scaptotrigona tubiba* (Smith) (Hymenoptera: Apidae): via de contato. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 1, p. 31–37, 2000. DOI: 10.1590/S0301-80592000000100004.

MOTTA, E. V. S.; RAYMANN, K.; MORAN, N. A. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 41, p. 10305–10310, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1803880115.

MUSSEN, E. C. Honey Bees and Agricultural Sprays. **Extension Apiculturist, University California Davis**, 1996.

NAKASU, E. Y. T. *et al.* Novel biopesticide based on a spider venom peptide shows no adverse effects on honeybees. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1787, p. 20140619, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.0619.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.); (EDS.). **The future role of pesticides in US agriculture**. Washington, D.C: National Academy Press, 2000.

NETO, P.L. **Levantamento planimétrico nº 36.243**. Prefeitura de Uberlândia, Minas Gerais. 2008.

NIEH, J. C. *et al.* Polarized short odor-trail recruitment communication by a stingless bee, *Trigona spinipes*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 56, n. 5, p. 435-448, 2004. DOI: 10.1007/s00265-004-0804-7.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. N. de; MACIEL, C. D. **Statistical evaluation of dynamical interaction involving bees: bayesian tracking and mutual information**. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaibá: Agropecuária, 2002.

PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 01, p. 266–281, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.16.

POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RADUNZ, L., SMITH, S. C. Pesticides-Hazard to Honey Bees. **Darwin Entomology**, 1996.

RASMUSSEN, C.; NIEH, J.; BIESMEIJER, J. C. Foraging Biology of Neglected Bee Pollinators. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2010, p. 1–2, 2010. DOI: 10.1155/2010/134028.

REILLY, J. R. *et al.* Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1931, p. 20200922, 2020. DOI: 10.1098/rspb.2020.0922.

ROCHA, M. C. DE L. **Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil: proposta metodológicas de acompanhamento**. Brasília: IBAMA, 2012.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia vegetal e sua importância na tecnologia de aplicação de defensivos. **Biológico, São Paulo**, v. 65, n. 1/2, p. 59-61, 2003.

ROMAN, E. S. *et al.* Influência do orvalho e volume de calda de aplicação na eficácia do glyphosate na dessecação de *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 479–482, 2004. DOI: 10.1590/S0100-83582004000300019.

SCHNEIDER, U. A. *et al.* Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 2, p. 204–215, 2011. DOI: 10.1016/j.agsy.2010.11.003.

SILVA, M. DE L. O. E *et al.* Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 200–205, fev. 2007. DOI: 10.1590/S1413-70542007000100029.

SILVA, M. F. de O.; COSTA, L. M. da. A indústria de defensivos agrícolas. **BNDES Setorial**, n. 35, p. 233–276, 2012.

SILVA-NETO, C. D. M. E *et al.* Interaction between biological and chemistry fungicides and tomato pollinators. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 12, n. 2, p. 425–435, 2018. DOI: 10.17584/rcch.2018v12i2.7690.

SINDVEG. **Mercado total de defensivos agrícolas por produto aplicado**. Disponível em: <https://sindveg.org.br/mercado-total/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SIQUEIRA, S. M. de. **Fluxo de carrapatos entre ambientes e animais na fazenda Capim-Branco, Uberlândia-MG: Considerações epidemiológicas**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências veterinárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SOUSA, J. R. L. *et al.* Ação de pesticidas sobre abelhas: avaliação do risco de contaminação de méis. **Acta Tecnológica**, v. 8, n. 1, p. 28–36, 2013.

STEINHAUER, N. *et al.* Colony loss 2015–2016: preliminary results. **Bee Informed Partnership**, 2016. Disponível em: <https://pnwhoneybeesurvey.com/wp-content/uploads/2016/06/PNW-SURVEY-posting-CanadaUS-Europe-losses.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

TILMAN, D.; CLARK, M. Food, Agriculture & the Environment: Can We Feed the World & Save the Earth? **Daedalus**, v. 144, n. 4, p. 8–23, 2015. DOI: 10.1162/DAED_a_00350.

VANENGELSDORP, D. *et al.* Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study. **PLoS ONE**, v. 4, n. 8, p. e6481, 2009. DOI: 10.1371/journal.pone.0006481.

VILHENA, A. M. G. F. *et al.* Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. **Apidologie**, v. 43, n. 1, p. 51–62, 2012. DOI: 10.1007/s13592-011-0081-1.

WOLOWSKI, M. *et al.* **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil.** São Carlos: Editora Cubo, 2019.

CAPÍTULO III

NEONICOTINÓIDES E SEUS EFEITOS SOBRE A VISITAÇÃO DE *Apis mellifera* L. NA CULTURA DO GIRASSOL

NEONICOTINÓIDES E SEUS EFEITOS SOBRE A VISITAÇÃO DE *Apis mellifera* L. NA CULTURA DO GIRASSOL

RESUMO

Inseticidas neonicotinóides são apontados como um dos principais responsáveis pelo fenômeno de declínio das populações de abelhas em todo o mundo. No entanto, esses produtos fitossanitários representam uma grande ferramenta no controle de insetos-praga em diversas culturas, devido as suas características específicas, dentre as quais está o fato de serem sistêmicos. E nesse sentido, estariam contaminando as abelhas através de resíduos presentes nos recursos florais (pólen e néctar), alterando seus comportamentos e, conseqüentemente, gerando impactos produtivos, principalmente naquelas culturas mais atrativas, como é o caso do girassol (*Helianthus annuus* L.). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes neonicotinóides aplicados no pré-florescimento da cultura, sobre a atividade de forrageamento das abelhas, assim como seu impacto sobre a produção do girassol. Também foi avaliada a abundância de insetos-praga e inimigos naturais. O estudo foi realizado na Fazenda Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. Foi utilizado um delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2+1, constituído de três neonicotinóides (imidacloprido, tiametoxam e acetamiprido) e duas frequências de aplicações (uma ou duas aplicações), mais um tratamento adicional (testemunha) sem aplicação, com seis repetições. Os inseticidas foram aplicados no estágio R₃ e R₄, utilizando um pulverizador hidráulico empregando pontas com espectro de gotas médio. As observações dos polinizadores, assim como sua identificação e contagem do número de visitas, ocorreram no período da manhã (8:00 - 12:00), durante quatro dias consecutivos transcorridas 72 h das aplicações, no estágio de floração R_{5.5}. Após a maturação também foi avaliada a produção de aquênios. Entre os polinizadores apenas *Apis mellifera* L. foi observada visitando o cultivo. A atividade de forrageamento das abelhas no cultivo de girassol não foi afetada pelas aplicações prévias dos diferentes neonicotinóides. A produção de aquênios variou conforme os inseticidas aplicados, no entanto essa diferença não foi atribuída aos polinizadores, mas possivelmente aos efeitos sobre insetos-praga e inimigos naturais presentes no cultivo, que se mostraram sensíveis ao tipo de ingrediente ativo empregado.

PALAVRAS-CHAVE: *Helianthus annuus*; Polinização; Abelha; Produtos fitossanitários; CCD; Insetos-praga.

**NEONICOTINOIDS AND THEIR EFFECTS ON THE VISITATION OF *Apis mellifera* L.
ON THE SUNFLOWER CULTURE**

ABSTRACT

Neonicotinoid insecticides are considered to be one of the main factors responsible for the phenomenon of declining bee populations worldwide. However, these pesticides represent a great tool in the control of insect pests in several cultures, due to their specific characteristics, among which is the fact that they are systemic. In this sense, they would be contaminating the bees through residues present in the floral resources (pollen and nectar), altering their behaviors and, consequently, generating productive impacts, mainly in attractive crops, as sunflower crop (*Helianthus annuus* L.). The objective of this work was to evaluate the effect of different neonicotinoids applied on pre-flowering of the crop, on the foraging activity of bees, as well as their impact on sunflower production. The abundance of insect pests and natural enemies was also evaluated. The study was carried out at Fazenda Capim Branco, belonging to the Federal University of Uberlândia. A randomized block design was used, in a 3x2 + 1 factorial scheme, consisting of three neonicotinoids (imidacloprid, thiamethoxam and acetamiprid) and two application frequencies (one or two applications), with an additional treatment (control) without application, with six repetitions. The insecticides were applied in stages R₃ and R₄, using a hydraulic sprayer employing tips with a medium droplet spectrum. The pollinators' observations, as well as their identification and counting the number of visits, took place in the morning (8:00 - 12:00), for four consecutive days after 72 h of applications, at the R_{5,5} flowering stage. After maturation, the production of achenes was also evaluated. Among pollinators only *Apis mellifera* L. was observed visiting the crop. The foraging activity of bees in sunflower cultivation was not affected by previous applications of different neonicotinoids. The production of achenes varied according to the insecticides applied, however this difference was not attributed to the pollinators, but possibly to the effects on insect pests and natural enemies present in the cultivation, which were shown to be sensitive to the type of active ingredient used.

KEYWORDS: *Helianthus annuus*; Pollination; Bee; Pesticides; CCD; Insect pests.

1. INTRODUÇÃO

Os neonicotinóides são conhecidos pela sua alta toxicidade e sua baixa seletividade aos insetos polinizadores em especial às abelhas (VAN DER SLUIJS et al., 2013). Estão associados a efeitos prejudiciais que incluem desde alterações anormais no forrageamento (LUDICKE; NIEH, 2020; SHI et al., 2020b; VAN DER SLUIJS., 2013), como desorientação (FISCHER et al., 2014) e dificuldades para retorno ao ninho (HENRY et al., 2012), alteração na termorregulação (AZPIAZU et al., 2019), aumento de sensibilidade a doenças (DI PRISCO et al., 2013; TESOVNIK et al., 2017), além de redução na capacidade reprodutiva (STRAUB et al., 2016), no crescimento da colônia e na produção de rainhas (WHITEHORN et al., 2012). Dessa forma, foram apontados como um dos principais responsáveis pelo declínio das populações desses polinizadores em todo o mundo (CCD) (IPBES, 2016; SHARDLOW, 2013; VAN DER SLUIJS et al., 2013; WOODCOCK et al., 2016).

O aumento consistente da população mundial destacou a necessidade de identificar novas maneiras de se aumentar a quantidade e melhorar a qualidade da produção de alimentos, o que tornou o controle eficaz de insetos em áreas agrícolas um componente fundamental (GODFRAY et al., 2010; PESHIN; ZHANG, 2014). Estima-se que em todo mundo cerca de 9 mil espécies de insetos e ácaros são consideradas pragas de culturas agrícolas (PIMENTEL, 2009). Nesse sentido, foram desenvolvidas diversas ferramentas de controle, partindo da utilização de inseticidas sintéticos, do controle biológico e mais atualmente utilizando plantas e insetos geneticamente modificados (KARABORKLU; AZIZOGLU; AZIZOGLU, 2017; MACIAS; OHM; RASGON, 2017; WANG; WANG, 2017).

Embora cada uma dessas ferramentas tenha suas aplicações, os inseticidas sintéticos continuam sendo o principal mecanismo para o controle de pragas em ambientes agrícolas, graças à sua alta confiabilidade e sua ação rápida (BOLZONELLA et al., 2019; SWALE, 2019). Porém, apesar desses benefícios, esses pesticidas permanecem controversos, principalmente quando considerados seus efeitos à saúde e ao ambiente (LAI, 2017), e suas ações não seletivas a insetos não alvo em especial às abelhas (SILVA; MELO; BLANCO, 2016), como também aos inimigos naturais (REGAN et al., 2017).

Os inimigos naturais são responsáveis por conservar as populações das pragas abaixo do nível de controle, consistindo em sua maioria por insetos predadores, parasitoides e microrganismos, como fungos, vírus e bactérias (EMBRAPA, 2019). É uma importante ferramenta dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), contribuindo para aumento na produtividade e

redução tanto dos custos produtivos, como dos impactos ao ambiente dentro do sistema agrícola (LANDIS et al., 2008; CRUZ et al., 2017).

O Brasil, devido ao seu clima tropical, oferece condições ideais para o desenvolvimento de uma grande variedade de pragas, configurando-se como um dos países com maior consumo de produtos fitossanitários no mundo, com destaque aos inseticidas (RIGOTTO et al., 2014). Dentre esses inseticidas, os neonicotinóides apresentam grande importância, sendo considerada a classe de inseticidas mais utilizada no mundo (BASS et al., 2015; SPARKS; NAUEN, 2015). Esses produtos foram inseridos no mercado no início da década de 90 (YAMAMOTO; CASIDA, 1999), e daí em diante, devido a sua alta eficiência (BONMATIN et al., 2005), foram ganhando espaço, frente a inseticidas tradicionais, como aqueles pertencentes às classes dos organofosforados, piretróides e carbamatos (STIVAKTAKIS et al., 2016).

Os neonicotinóides possuem ação neurotóxica, ligando-se de maneira agonista aos receptores nicotínicos da acetilcolina (nAChR), o que resulta em estímulo nervoso excessivo, seguido por uma hiperexcitação, paralisia e morte dos insetos (GOULSON, 2013). Esses produtos apresentam uma combinação única de propriedades, que incluem alta toxicidade, amplo efeito residual, alta sistemicidade e alta mobilidade, aliados a uma grande versatilidade de aplicação, os diferenciando dos demais inseticidas (SGOLASTRA et al., 2020; SIMON-DELISO et al., 2015). Atualmente esses produtos representam mais de 25% do mercado global de inseticidas (CASIDA, 2018), com uso autorizado em 140 culturas, em mais de 120 países (BASS et al., 2015; JESCHKE et al., 2011; NAUEN; JESCHKE; COPPING, 2008).

A União Europeia no ano de 2013 suspendeu em todos seus países constituintes, o uso e comercialização de produtos com a presença dos neonicotinóides clotianidina, imidacloprido e tiametoxam (AUTERI et al., 2017; STOKSTAD, 2013). Essa decisão foi reavaliada pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos em 2018, sendo decidido pela permanência da proibição (BASS; FIELD, 2018; EFSA, 2018). Nos Estados Unidos, o uso desses produtos está restrito a algumas áreas (SGOLASTRA et al., 2020), contudo existem movimentos para restringir sua utilização (GOULSON, 2018). No Brasil, a utilização de neonicotinóides continua permitida nos cultivos, com algumas restrições, porém sofre pressão de órgãos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que inclusive considerou proibir o uso desses produtos de forma cautelosa (RANGEL et al., 2014).

Os inseticidas imidacloprido, tiametoxam, e acetamiprido estão entre os principais neonicotinóides disponíveis no mercado (CASIDA, 2011; SIMON-DELISO et al., 2015). O imidacloprido foi o precursor entre os neonicotinóides, com lançamento no ano de 1991, sendo

considerado o mais importante inseticida químico dessa classe (JESCHKE et al., 2011), constituindo também, como o principal alvo de estudos relacionados a saúde dos polinizadores (LAYCOCK et al., 2014). No entanto, outros neonicotinóides mais atuais, como é o caso do tiametoxam, vem ganhando cada vez mais espaço no mercado de proteção dos cultivos (LAYCOCK et al., 2014), e atualmente ocupam também parcela expressiva do mercado de inseticidas (BASS et al., 2015).

Em relação aos polinizadores, estão relacionados a efeitos sobre o forrageamento, em especial, ao potencial de aprendizado e a memória (LUDICKE; NIEH, 2020). Em comparação aos demais neonicotinóides, o acetamiprido demonstra possuir uma menor toxicidade aguda às abelhas (IWASA et al., 2004), por outro lado apresenta efeitos subletais evidentes, principalmente no desenvolvimento das larvas (SHI et al., 2020a) e no forrageamento (SHI et al., 2020b) com efeitos significativos sobre a atividade locomotora (FERREIRA et al., 2020). Além disso, estudos recentes demonstram que esse produto associado a outros inseticidas pode promover um efeito tóxico sinérgico sobre as abelhas (WANG; ZHU; LI, 2020). Todos esses produtos são amplamente utilizados no controle de pragas agrícolas, estando presentes em culturas altamente produtivas, e de grande importância no país, como soja, milho, café, algodão, cana-de-açúcar e feijão (AGROFIT, 2020).

Os neonicotinóides podem ser aplicados e utilizados de diversas formas, seja através da água de irrigação no solo, no tratamento de sementes ou via pulverização foliar (BLACQUIÈRE et al., 2012). Desta maneira, podem contaminar as abelhas diretamente durante a aplicação no campo, ou através do consumo de recursos florais, como pólen e néctar, uma vez que são inseticidas sistêmicos (FAIRBROTHER et al., 2014; FAROOQUI, 2013), e podem ser acumulados nesses locais (ELBERT et al., 2008), tornando-se uma ameaça às abelhas forrageiras (WINTERMANTEL et al., 2020). Culturas como a do girassol, devido a sua alta atratividade às abelhas têm sido comumente utilizadas em estudos sobre os efeitos dos inseticidas, em especial os neonicotinóides (FLORES et al., 2021; HERNANDO et al., 2018; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ et al., 2016), principalmente considerando que sua produtividade também está relacionada com a frequência de visitas desses polinizadores (DE OLIVEIRA; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2019).

Outro ponto de destaque é que, como em outras culturas, muitas vezes necessita de mais de uma aplicação desses produtos para o combate eficaz de suas pragas (AGROFIT, 2020), o que também pode aumentar o efeito tóxico. Embora pesquisas realizadas em laboratório forneçam resultados de alta confiabilidade em relação aos efeitos desses produtos sobre as abelhas, é possível

que não reflitam de forma correta a realidade encontrada no campo (HERNANDO et al., 2018), o que demanda maior número de estudos nesse contexto.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes neonicotinóides, assim como do número de aplicações, durante a fase de pré-florescimento do girassol, sobre a visitação das abelhas e seus impactos na produção da cultura. Avaliou-se também o efeito dessas aplicações sobre a abundância de insetos-praga e inimigos naturais dentro do cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e procedimentos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco ($18^{\circ} 53' 23,46''$ S $48^{\circ} 20' 27,46''$ O), pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, durante o período de fevereiro a maio de 2020. A Fazenda Capim Branco está localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, a uma altitude de 865 m. Possui uma área total de 367 ha, dos quais 207,32 ha estão voltados para fins agropecuários (SIQUEIRA, 2017), relacionados tanto à produção, como à pesquisa científica dentro da universidade. Apresenta uma topografia plana e clima do tipo Aw conforme classificação de Köppen (KÖPPEN, 1948), sendo caracterizado como tropical úmido com inverno seco (BECK et al., 2018). Áreas de produção de soja estavam próximas à área em estudo (Figura 1).

Figura 1 - Fazenda Experimental Capim Branco (Uberlândia – Minas Gerais).



Área total da fazenda (■), local do experimento (■), áreas com cultivo de soja (■).
Fonte: Google Maps, 2020.

O experimento foi estabelecido em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$ (três inseticidas neonicotinóides, duas frequências de aplicação e uma testemunha, sem aplicação), totalizando 7 tratamentos com 6 repetições. Foram utilizados os inseticidas imidacloprido (Produto comercial: Imidagold 700 WG / Composição: 700 g kg⁻¹ i.a - 300g kg⁻¹ de outros ingredientes / Formulação: grânulos dispersíveis (WG) / Dose: 150 g ha⁻¹ / Classificação toxicológica: Categoria 3; Classificação ambiental: Classe III), tiametoxam (Produto comercial: Actara[®] 250 WG / Composição: 250 g kg⁻¹ i.a – 750 g kg⁻¹ de outros ingredientes / Formulação: grânulos dispersíveis (WG) / Dose: 200 g ha⁻¹ / Classificação toxicológica: Categoria 5; Classificação ambiental: Classe III) e acetamiprido (Produto comercial: Battus[®] / Composição: 200 g kg⁻¹ i.a – 800 g kg⁻¹ de outros ingredientes / Formulação: pó solúvel (SP) / Dose: 300 g ha⁻¹ / Classificação toxicológica: Categoria 1; Classificação ambiental: Classe II) (AGROFIT, 2020), com uma ou duas aplicações, dependendo do tratamento, ocorridas antes do período de florescimento. As doses dos produtos foram estabelecidas conforme bula, utilizando-se como base a cultura do feijão, por essa se tratar de uma cultura representativa para a cultura do girassol, conforme Anexo 1 da Instrução Normativa Conjunta nº 1, de 16 de junho de 2014, que considera o girassol como uma cultura com suporte fitossanitário insuficiente (CSFI), “minor crops”.

A unidade amostral foi composta de parcelas de 8 m² (2 m de largura e 4 m de comprimento), espaçadas entre si em 1 m. Em cada parcela foi semeado o híbrido comercial de girassol, HELIO 251 (sementes não tratadas), com espaçamento entre linhas de 1,0 m e entre plantas de 0,5 m, em uma profundidade de 0,05 m, totalizando 27 plantas por parcela (3 linhas com 9 plantas cada). Foram semeadas 3 sementes em cada uma das covas, com o intuito de assegurar que pelo menos uma delas se desenvolvesse e germinasse. Quinze dias após emergência das plântulas, foi feito um desbaste, para permanência de apenas uma planta por cova.

As aplicações dos inseticidas ocorreram obedecendo ao intervalo de aplicações descrito em bula, 14 dias para o imidacloprido e 7 dias para o tiametoxam e o acetamiprido. Dessa forma, a primeira aplicação do produto imidacloprido, por possuir maior intervalo de aplicação, foi realizada no dia 16 de março, com 7 dias de antecedência das primeiras aplicações dos demais produtos (tiametoxam e acetamiprido), realizadas no dia 23 de março (Tabela 1), ambas durante o estágio fenológico R₃ (Figura 2A). A segunda aplicação, conduzida nas parcelas cujos tratamentos a requeria, de todos os produtos ocorreu no dia 30 de março, 14 dias após a primeira aplicação do imidacloprido e 7 dias após as aplicações do tiametoxam e do acetamiprido (Tabela 1), durante estágio R₄ (Figura 2B).

Figura 2 - Estádios fenológicos do girassol utilizados como referência nas aplicações.



(A) Estádio de desenvolvimento R₃ - Alongamento do internódio imediatamente abaixo do botão. **(B)** Estádio de desenvolvimento R₄ - Flores liguladas (amarelas) visíveis. **Fonte:** Arthur Oliveira.

As aplicações foram realizadas no início da manhã utilizando-se um pulverizador costal acionado por pressão constante (CO₂), com quatro pontas AD 110015 (MagnoJet[®]) (jato plano), espaçadas entre si em 0,5 m, conferindo uma faixa de aplicação de 2 m. Foi adotada uma pressão de trabalho de 2 bar (200 kPa), vazão de 0,50 L min⁻¹ por ponta, espectro de gotas médio (Classe de gotas média; de 250 a 350 micra), velocidade de 4 km h⁻¹ e taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹. Para evitar contaminações entre os tratamentos durante as aplicações, foi utilizada uma barreira de lona plástica na bordadura da parcela no sentido do vento, medindo 2 m de altura por 6 m de largura. As condições meteorológicas (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) durante as aplicações foram registradas com o auxílio de um termo-higro-anemômetro, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Condições meteorológicas no momento das aplicações dos diferentes inseticidas.

Inseticidas	Condições meteorológicas								
	Aplicação (16/03/2020)			Aplicação (23/03/2020)			Aplicação (30/03/2020)		
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (km h ⁻¹)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (km h ⁻¹)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (km h ⁻¹)
Imidacloprido	23,2	73,5	4,0	-	-	-	21,9	77,7	5,3
Tiametoxam	-	-	-	23,7	74,7	3,8	23,1	82,7	4,0
Acetamiprido	-	-	-	23,4	74,5	5,9	22,4	80,5	3,8

Durante todo o período do experimento, foram realizadas inspeções semanais, como forma de evitar a interferência de algum agente que pudesse afetar o bom desenvolvimento da cultura. O controle de plantas daninhas ocorreu em um primeiro momento de forma mecânica, por meio de capina, sendo posteriormente substituída pela aplicação de herbicida de forma localizada. O controle de pragas e doenças ocorreu apenas no final do ciclo da cultura, após a coleta de todos os dados referentes aos polinizadores, insetos-praga e inimigos naturais, por meio de aplicações de inseticida e fungicida, respectivamente.

2.2 Avaliações

2.2.1 Frequência de visitação das abelhas

A identificação e a quantificação da frequência de visitação das abelhas ocorreram por meio de observações, durante quatro dias consecutivos, iniciados três dias após as últimas aplicações, em 5 horários diferentes, às 08:00, 9:00, 10:00, 11:00 e 12:00 h. Em cada dia de observação, era escolhido aleatoriamente um capítulo por parcela em estágio de desenvolvimento R_{5,5}, considerado como estágio de floração plena, onde 50% das flores presentes no capítulo estavam abertas (CASTIGLIONI et al., 1994). Foram utilizados apenas capítulos localizados no interior da parcela, como forma de diminuir possíveis interferências entre os tratamentos. Os capítulos foram observados durante 2 min em cada um dos 5 horários. Durante esse período, eram feitas a identificação das espécies de polinizadores e a contabilização do número de visitas de cada uma dessas espécies, conforme metodologia apresentada por De Oliveira, Junqueira e Augusto (2019). Ao final dos 4 dias de observação, o número de visitas de cada espécie foi somado, resultando em um total de visitas por parcela de cada tratamento (somatório dos 4 dias e 5 horários).

O capítulo utilizado para observação em cada dia foi marcado com fita colorida e identificado com um código, indicando o dia de observação, o bloco e o referido tratamento, impedindo-o de ser utilizado novamente. Após a coleta de todos os dados, os capítulos utilizados (quatro por parcela) foram então envolvidos com sacos de polietileno tipo Raschel, medindo 45 cm de altura e 40 cm de largura (Figura 3), como forma de evitar o ataque de aves até a colheita dos aquênios. Ao todo foram observados e ensacados 168 capítulos de girassol.

Figura 3 - Girassol envolvido com saco de polietileno tipo Raschel.



Fonte: Arthur Oliveira.

2.2.2 Abundância de insetos-praga e inimigos naturais

As avaliações dos insetos-praga e dos inimigos naturais ocorreram 24 horas após a última avaliação da abundância de visitas de abelhas, por meio de observação direta em cinco girassóis centrais de cada parcela. Cada girassol era analisado, incluindo folhas, caule e capítulo. Todos os insetos encontrados eram identificados, e então quantificados, totalizando o número de insetos-praga e inimigos naturais presentes em cada parcela. Os insetos aos quais havia alguma dúvida quanto à sua identificação foram coletados e transportados para o Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) para identificação posterior. Devido ao seu alto número e por ficarem intensamente aglomeradas, a quantificação da lagarta do girassol (*Chlosyine lacinia* Geyer, 1837) em seus estádios iniciais de desenvolvimento ocorreu por meio do número de folhas consumidas/danificadas.

2.2.3 Produção de aquênios

Após o aguardo do período de maturação e secagem dos aquênios, cerca de 40 dias após a coleta dos dados dos polinizadores, os capítulos ensacados em cada uma das parcelas foram colhidos e levados até o Laboratório de Mecanização Agrícola da UFU, onde foram debulhados, e seus aquênios peneirados e armazenados em sacos de papel previamente identificados. Cada um dos sacos continha o total de aquênios provenientes dos quatro girassóis colhidos por parcela. Essas amostras foram então pesadas em balança de precisão e o valor da massa em gramas (g) registrado.

2.3 Análises estatísticas

Com todas as pressuposições atendidas, os dados referentes à frequência de visitação de abelhas, abundâncias de insetos-praga e inimigos naturais e produção de aquênios, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelos testes de Tukey, para comparação de médias, e Dunnett, para comparação com o tratamento adicional. Todas as análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software R v3.6.1 (R CORE TEAM, 2019), adotando-se uma significância de 0,05.

3. RESULTADOS

3.1 Frequência de visitação das abelhas

Apenas a espécie *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 foi observada visitando o cultivo de girassol durante o período de florescimento, totalizando 2855 visitas. A aplicação dos inseticidas neonicotinóides, quando comparados à testemunha (sem aplicação), não resultou em reduções no número de visitas desses polinizadores. Da mesma forma, não foram observadas diferenças na visitação entre os neonicotinóides utilizados, assim como no número de aplicações, o que sugere haver uma toxicidade semelhante entre esses produtos sobre a espécie, e não acumulativa pelo número de aplicações (Tabela 2).

Tabela 2 – Média da frequência de visitação de *Apis mellifera* em capítulos de girassol após aplicação de neonicotinóides. Fazenda Capim Branco (Uberlândia – MG).

Inseticida	Número de visitas de <i>Apis mellifera</i>		
	N° de aplicações		
	Uma	Duas	Média
Imidacloprido	71,17	69,33	70,25
Tiametoxam	57,50	68,83	63,17
Acetamiprido	66,83	66,67	66,75
Testemunha	75,50		
Média	65,17	68,28	
CV(%)	2,08		
F _{Inseticidas}	1,4825 ^{ns}		
F _{N° de Aplicações}	0,8579 ^{ns}		
F _{Inseticidas x N° de Aplicações}	1,5186 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	3,9026 ^{ns}		

CV (%): Coeficiente de variação; F_{Inseticidas}: Valor do teste de F para inseticidas; F_{N° de Aplicações}: Valor do teste de F para número de aplicações; F_{Inseticidas x N° de Aplicações}: Valor do teste de F para a interação inseticidas x número de aplicações; F_{Adicional x Fatorial}: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; ^{ns}Não significativo.

3.2 Abundância de insetos-praga e inimigos naturais

Foram observados ao todo durante a avaliação 226 insetos-praga, dos quais 120 (53,10%) pertenciam à espécie *Euschistus heros* Fabricius, 1798 (percevejo marrom), 77 (34,07%) da espécie *Diabrotica speciosa* Germar, 1824 (vaquinha ou brasileirinho), 27 (11,95%) da espécie *Xyonysius major* Berg, 1978 (percevejo) e dois (0,88%) da espécie *Rachiplusia nu* Guenne, 1852 (lagarta falsa-medideira). Não foram observadas diferenças dos tratamentos com aplicações dos inseticidas neonicotinóides em relação à testemunha (sem aplicação) (Tabela 3).

Tabela 3 – Média da abundância de insetos-praga e inimigos naturais (cinco plantas por parcela) na cultura do girassol após uma ou duas aplicações de diferentes neonicotinóides. Fazenda Capim Branco (Uberlândia – MG).

Inseticidas	Número de insetos-praga			Número de inimigos naturais		
	N° de aplicações			N° de aplicações		
	Uma	Duas	Média	Uma	Duas	Média
Imidacloprido	3,00	2,67	2,84 A	0,17 ^o aB	0,17 ^o aA	0,17
Tiametoxam	6,68	5,00	5,83AB	0,17 ^o aB	0,17 ^o aA	0,17
Acetamiprido	5,50	7,67	6,59 B	1,67 aA	0,33 ^o bA	1,00
Testemunha ^o	7,17			1,50		
Média	5,06 a	5,11 a		0,67	0,22	
CV(%)	61,44			112,20		
F _{Inseticidas}	4,3235*			6,2278*		
F _{N° de Aplicações}	0,0025 ^{ns}			3,9858 ^{ns}		
F _{Inseticidas x N° de Aplicações}	1,0396 ^{ns}			3,9858*		
F _{Adicional x Fatorial}	2,0425 ^{ns}			12,8470*		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^oMédia que difere da testemunha (sem aplicação de produtos fitossanitários) pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação; F_{Inseticidas}: Valor do teste de F para inseticidas; F_{N° de Aplicações}: Valor do teste de F para número de aplicações; F_{Inseticidas x N° de Aplicações}: Valor do teste de F para a interação inseticidas x número de aplicações; F_{Adicional x Fatorial}: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

A aplicação do imidacloprido resultou em uma menor abundância de insetos-praga em comparação ao acetamiprido, conferindo dessa forma, maior efeito sobre esses organismos. A aplicação do acetamiprido resultou em maior abundância de insetos-praga, indicando uma menor ação sobre esses insetos, enquanto o tiametoxam apresentou efeitos intermediários. O número de aplicações demonstrou não ser um fator significativo (Tabela 3). Não foram encontradas folhas atacadas por *Chlosyine lacinia* em seus estádios iniciais em nenhum dos tratamentos.

Em relação aos inimigos naturais, ao todo foram observados 25 espécimes entre insetos e aracnídeos. Desses, 13 (52%) eram joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae), nove (36%) eram percevejos predadores (Hemiptera: Reduviidae), dois (0,08%) eram vespas (Hymenoptera) e 1 (0,04%) aranha (Araneae). A aplicação única do inseticida acetamiprido resultou em maior abundância de inimigos naturais no cultivo, quando comparada às duas aplicações sequenciais. Essa abundância, inclusive, foi indiferente em relação à encontrada na testemunha, o que não ocorreu para os demais tratamentos, que sempre apresentaram menor quantidade de inimigos

naturais do que a testemunha. O emprego de uma ou duas aplicações de imidacloprido e tiametoxam não resultou diferença quanto a abundância dos inimigos naturais. Duas aplicações desses dois inseticidas ocasionaram menor abundância em comparação ao acetamiprido, apesar de essa não ser significativa (Tabela 3).

3.3 Produção de aquênios

Todos os tratamentos com a aplicação dos inseticidas neonicotinóides obtiveram produção equivalente à testemunha. Considerando apenas os tratamentos com as aplicações dos inseticidas, foi observado que aqueles onde foram realizadas aplicações do imidacloprido apresentaram média produtiva superior. Enquanto que, nas aplicações com acetamiprido, foram encontradas as menores médias produtivas. Nas aplicações com tiametoxam, foram encontradas produções intermediárias, estatisticamente semelhantes às encontradas nas aplicações do imidacloprido e acetamiprido. O número de aplicações não demonstrou ser um fator determinante (Tabela 4).

Tabela 4 – Média da produção de aquênios no cultivo de girassol (quatro plantas por parcela), após uma ou duas aplicações de diferentes inseticidas neonicotinóides. Fazenda Capim Branco (Uberlândia – MG).

Inseticidas	Produção (g)		
	Nº de Aplicações		
	Uma	Duas	Média
Imidacloprido	375,33	349,67	362,50 A
Tiametoxam	307,33	337,66	322,50 AB
Acetamiprido	312,33	275,00	293,67 B
Testemunha	322,33		
Média	331,67 a	320,78 a	
CV(%)	0,61		
F _{Inseticidas}	5,1006*		
F _{Nº de Aplicações}	0,3796 ^{ns}		
F _{Inseticidas x Nº de Aplicações}	1,3964 ^{ns}		
F _{Adicional x Fatorial}	0,0277 ^{ns}		

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação; F_{Inseticidas}: Valor do teste de F para inseticidas; F_{Nº de Aplicações}: Valor do teste de F para número de aplicações; F_{Inseticidas x Nº de Aplicações}: Valor do

Tabela 4 – Continuação.

teste de F para a interação inseticidas x número de aplicações; $F_{\text{Adicional} \times \text{Fatorial}}$: Valor do teste de F para interação adicional x fatorial; *Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

4. DISCUSSÃO

Não existe consenso entre os pesquisadores sobre os reais efeitos dos inseticidas neonicotinóides sobre os polinizadores quando esses estão presentes no pólen e no néctar das flores. Alguns autores demonstraram em seus estudos que os resíduos nesses recursos alimentares seriam mínimos, não gerando efeitos nocivos às abelhas (POHORECKA et al, 2012), principalmente considerando a frequência de visitas dos polinizadores e suas implicações produtivas. Por outro lado, outros apontam que a utilização desses produtos até mesmo no tratamento de sementes, seria importante fonte de contaminação (RUNDLÖF et al., 2015). Outro fator importante, é que, diferentemente dos estudos realizados em laboratório, aqueles ocorridos em campo estão sujeitos a diferentes fatores ambientais e, dessa forma, podem apresentar resultados contrastantes com aqueles apresentados em ambiente controlado, considerados por alguns autores irreais (CAMPBELL, 2013) ou superestimados (CARRECK; RATNIEKS, 2014).

Os resultados apresentados no presente trabalho demonstraram não haver, pelo menos em um primeiro momento, aumento ou queda na frequência de visitação das abelhas *A. mellifera* passados três dias após as últimas aplicações dos diferentes inseticidas neonicotinóides, já que esses foram os mesmos apresentados no tratamento sem aplicação. O que corrobora com os dados apresentados por Silva e Carvalho (2015) em um estudo com as culturas do tomate e do pimentão, os quais inclusive apontam a existência de uma possível seletividade ecológica de alguns desses neonicotinóides aos polinizadores, quando aplicados a campo. No entanto, essas culturas por apresentarem anteras poricidas, necessitam de vibração para liberação do pólen (BUCHMANN; HURLEY, 1978; RAW, 2000) capacidade não encontrada, por exemplo, em *A. mellifera* (SILVA; HRNCIR; FONSECA, 2010), indicando que essas abelhas apesar de visitarem essas culturas não tinham contato efetivo com o pólen.

O termo “em um primeiro momento” foi empregado porque os efeitos desses inseticidas podem não aparecer de forma imediata, mas progressivamente, de forma crônica, à medida que as abelhas aumentam seu contato com os recursos contaminados (ARCE et al., 2018). Os diferentes neonicotinóides apresentaram efeito similar na visitação das abelhas, indicando que esses

compostos geram nos recursos florais (pólen e néctar) resíduos com a mesma toxicidade. Esse resultado, no entanto, contraria estudos que demonstram haver sobre essa espécie, variações de toxicidade entre os neonicotinóides (SOARES, 2016), com destaque a um menor efeito tóxico do acetamiprido (IWASA et al., 2004; YANG et al., 2020).

Segundo Arce et al. (2018), a introdução de um novo composto nocivo no ambiente, concomitante com a presença de alimento não contaminado com esse composto, conforme ocorrido neste estudo, pode provocar comportamentos distintos no forrageamento das abelhas, denominados de desadaptativo, adaptativo e mal-adaptativo. No comportamento desadaptativo, não há nenhuma mudança comportamental, a abelha consome o composto nocivo conforme sua prevalência no meio ambiente. Por outro lado, nos demais comportamentos existe uma predileção, seja pelo recurso sem contaminação, adaptativo, havendo uma rejeição dos alimentos contaminados e, dessa forma, estariam menos expostas ao composto tóxico. Ou mal adaptativo, onde as abelhas aumentam o forrageamento e conseqüentemente o consumo do alimento contaminado, desenvolvendo uma preferência adquirida, aumentando também sua exposição ao composto nocivo.

Diante dos resultados obtidos, e baseando-se nesses comportamentos, pode-se apresentar três desdobramentos principais: (i) os resíduos dos diferentes inseticidas neonicotinóides estariam em quantidades muito baixas, seja pela metabolização da cultura, ou mesmo pela degradação do ambiente, e assim não sendo nocivos às abelhas, não impactando na performance de forrageamento; (ii) as abelhas poderiam estar apresentando um comportamento desadaptativo, consumindo os recursos contaminados, sem alteração nas suas visitas e (iii) esses polinizadores poderiam apresentar os comportamentos adaptativo ou mal-adaptativo, porém, o período de contato/observação não teria sido suficiente para a apresentação de algum desses comportamentos.

Dentre essas possibilidades, e diante de alguns estudos contrários, a adoção de que os resíduos encontrados nos recursos florais seriam mínimos e não afetariam de nenhuma forma as abelhas seria o menos provável, já que alguns experimentos realizados também a campo demonstram que a aplicação desses neonicotinóides, até mesmo durante tratamento de sementes, confere toxicidade suficiente para gerar efeitos nocivos às abelhas polinizadoras no momento do florescimento dessa mesma cultura (GODFRAY et al., 2014). As demais possibilidades, com a presença dos comportamentos desadaptativo, adaptativo e mal adaptativo seriam mais plausíveis, e ao mesmo tempo, em alguns casos, mais preocupantes.

A presença de um comportamento mal adaptativo indica que as abelhas forrageadoras podem procurar ativamente por flores tratadas com neonicotinóides, se tornando “viciadas” nesses

produtos (ARCE et al., 2018). Nesse sentido, as plantações com aplicações de inseticidas neonicotinóides se tornariam mais atrativas para as abelhas forrageiras, resultando inclusive em aumento temporário no desempenho de polinização da cultura, porém, ao mesmo tempo aumentaria a exposição alimentar a esses inseticidas (KESSLER et al., 2015), afetando não somente os adultos, mas também os imaturos alimentados com esses recursos (SMITH et al., 2020). O que em longo prazo pode culminar em efeitos depressivos nas populações desses polinizadores na área e conseqüentemente em quedas produtivas (POTTS et al., 2016).

KESSLER et al. (2015) em um experimento simulando a presença de néctar contaminado, através do oferecimento de soluções de sacarose com concentrações de tiametoxam e imidacloprido semelhantes às encontradas no campo, observaram que não havia qualquer inibição no reflexo de alimentação para *A. mellifera*, contrapondo dessa forma a existência de um comportamento adaptativo através de recursos florais para essa espécie, porém esse estudo foi realizado com apenas 24 horas de exposição. Segundo Wright et al. (2010), as abelhas possuem a capacidade de detectar toxinas, e assim podem aprender a associar tanto o odor quanto o sabor, as conseqüências provenientes do seu consumo. Diante desses fatos, o comportamento desadaptativo se torna menos provável, apesar de ser esse o comportamento observado a campo, quando analisamos os dados de forma isolada.

O aprendizado pode exigir tempo, dessa forma a exposição a esses inseticidas poderia ter sido mais prolongada, para que dessa forma houvesse tempo suficiente para o aprendizado, e assim posteriormente provocar os comportamentos adaptativos ou mal adaptativos. As concentrações de neonicotinóides no pólen e néctar estão quase sempre abaixo daquelas que causariam a morte imediata dos polinizadores (doses subletais) (GODFRAY et al., 2014), o que favorece o contato mais extenso com esses produtos. Arce et al. (2018) observaram maior efeito em relação ao forrageamento das abelhas *Bombus terrestris* Linnaeus, 1758, após 5 dias de contato com o inseticida tiametoxam, aumentando progressivamente à medida que se passavam os dias de interação com o inseticida, indicando ao final do estudo, que esse comportamento provavelmente persistiria com o contato contínuo com o produto.

No entanto, sabe-se que os efeitos dos produtos fitossanitários podem variar conforme a espécie de polinizador, podendo esses serem mais ou menos sensíveis (ARENA; SGOLASTRA, 2014). Nesse sentido, a espécie *A. mellifera* possivelmente apresenta uma sensibilidade menor, sendo mais tolerante, e dessa forma, necessitaria de mais tempo de contato com os recursos contaminados para apresentar efeitos comportamentais subletais. O contato dos polinizadores com os produtos neonicotinóides (7 dias – 3 de contato + 4 dias de observação das visitas), possíveis

diante da sincronia do florescimento da cultura do girassol, provavelmente não foram suficientes para sensibilizar as abelhas, e consequentemente afetar a frequência de visitação.

Considerando os resultados apresentados por De Oliveira, Junqueira e Augusto (2019), era esperado que não houvesse diferenças em relação à produção de aquênios de girassol, pois independente do tratamento, ocorreram visitas semelhantes de *A. mellifera*. Porém, isso não ocorreu, provavelmente pela ação diferenciada dos inseticidas sobre os insetos-praga. Durante o experimento foi observada uma infestação alta de diferentes pragas, das quais se destacaram *Euschistus heros* e *Diabrotica speciosa*, espécies consideradas de grande importância tanto na cultura do girassol (AFONSO, 2009; GALLO et al., 2002), quanto na cultura da soja (DEGRANDE; VIVAN, 2011). Incidência justificada possivelmente pela proximidade do cultivo experimental de girassol com cultivos de soja na fazenda.

Fonseca et al. (2011), em um estudo realizado com diferentes inseticidas neonicotinóides, constataram que o controle desses produtos, principalmente considerando o período após as suas aplicações, não era o mesmo. Nesse trabalho, os autores observaram que o inseticida imidacloprido apresentava uma eficácia de controle de pragas maior que a apresentada pelo acetamiprido, enquanto o tiametoxam possuía uma eficácia intermediária, significativamente igual a esses dois inseticidas, sendo semelhante ao observado no presente estudo. Esse comportamento pode ser atribuído a um fator estrutural específico de cada molécula, e também ao fato de que o acetamiprido, ao contrário do tiametoxam e do imidacloprido, não gera outros compostos tóxicos durante o processo de metabolização “in vivo”, o que implicaria em uma menor toxicidade (BRUNET; BADIOU; BELZUNCES, 2005). Aliado a isso, estaria a possibilidade do acetamiprido ser degradado por enzimas específicas do citocromo P450 (BASS; FILDE, 2018).

A menor toxicidade do inseticida acetamiprido frente aos demais neonicotinóides também explicaria a maior abundância de inimigos naturais observado nos tratamentos com sua aplicação (BRUNET; BADIOU; BELZUNCES, 2005), principalmente quando é feita de forma única. Não diferindo inclusive da testemunha, indicando dessa maneira, uma maior seletividade a esses organismos (DA FONSECA et al., 2008). A maior abundância de inimigos naturais também pode estar relacionada à maior produção de voláteis atrativos, produzidos pela cultura em resposta a maior intensidade de herbivoria ocasionada pelos insetos-praga nesses tratamentos (ABDOLLAHIPOUR; FATHIPOUR; MOLLAHOSSEINI, 2020; DIAS, 2015; PEÑAFLORES; BENTO, 2013), ou mesmo pelos próprios odores produzidos pelos insetos-praga (ABDOLLAHIPOUR; FATHIPOUR; MOLLAHOSSEINI, 2020; VERÍSSIMO et al., 2018),

resultando no aumento da população de inimigos naturais, com destaque aos predadores generalistas.

Outros fatores importantes e que devem ser considerados são os possíveis efeitos diferenciados de repelência proporcionados pelos neonicotinóides (EASTON; GOULSON, 2013), e a presença de efeitos subletais comportamentais (GONTIJO et al., 2014; MALAQUIAS et al., 2014). Dai et al. (2020) observaram que a aplicação de inseticidas neonicotinóides reduzem o desempenho predatório dos inimigos naturais. Isso faz com que esses organismos, apesar de presentes na área, não se alimentem de forma efetiva dos insetos-praga, impactando diretamente na eficácia desse método de controle biológico (DAI et al., 2020; YAO et al., 2015). Fato que poderia explicar a maior eficácia do controle biológico na testemunha em relação aos demais tratamentos, onde não houve queda significativa na produção de aquênios, mesmo com a alta presença de insetos-praga.

Os inseticidas neonicotinóides demonstraram ser apenas uma das peças que formam o quebra-cabeças responsável por explicar o CCD e, nesse sentido, não deveriam ser responsabilizados de forma isolada, já que esse fenômeno estaria relacionado a uma somatória de estresses, causados por diferentes fatores, atuando de forma combinada ou sinérgica (CORNMAN et al., 2012; PIRES et al., 2016). Diante disso, fica evidente a necessidade de mais estudos voltados a esse tema, principalmente considerando os desdobramentos causados por esse fenômeno, tanto para biodiversidade vegetal, quanto para a segurança produtiva/alimentar.

5. CONCLUSÕES

A frequência de visitação das abelhas *A. mellifera* no cultivo de girassol, avaliada ao longo de quatro dias transcorridas 72 horas das aplicações dos inseticidas neonicotinóides, não foi afetada. A produção de aquênios variou conforme os inseticidas aplicados, no entanto essa diferença não foi atribuída aos polinizadores, mas possivelmente aos efeitos sobre insetos-praga e inimigos naturais presentes no cultivo, que se mostraram sensíveis ao tipo de ingrediente ativo empregado.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHIPOUR, M.; FATHIPOUR, Y.; MOLLAHOSSEINI, A. How does a predator find its prey? *Nesidiocoris tenuis* is able to detect *Tuta absoluta* by HIPVs. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 23, n. 4, p. 1272–1278, 2020. DOI: 10.1016/j.aspen.2020.10.006.
- AFONSO, A.P.S., Pragas do girassol. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 18., **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL**, 6., 2009, Pelotas – RS. Embrapa Anais... Pelotas – RS: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 14 – 25.
- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 20 dez. 2020.
- ARCE, A. N. *et al.* Foraging bumblebees acquire a preference for neonicotinoid-treated food with prolonged exposure. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1885, p. 20180655, 2018. DOI: 10.1098/rspb.2018.0655.
- ARENA, M.; SGOLASTRA, F. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 3, p. 324–334, 2014. DOI: 10.1007/s10646-014-1190-1.
- AUTERI, D. *et al.* Neonicotinoids and bees: The case of the European regulatory risk assessment. **Science of The Total Environment**, v. 579, p. 966–971, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.158.
- AZPIAZU, C. *et al.* Chronic oral exposure to field-realistic pesticide combinations via pollen and nectar: effects on feeding and thermal performance in a solitary bee. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-50255-4.
- BASS, C. *et al.* The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 78–87, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2015.04.004.
- BASS, C., FIELD, L. M. Neonicotinoids. **Current Biology**, v. 28, n. 14, p. R772–R773, 2018. DOI: 10.1016/j.cub.2018.05.061.
- BECK, H. E. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2018. DOI: 10.1038/s41597-020-00616-w.
- BLACQUIÈRE, T. *et al.* Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 4, p. 973–992, 2012. DOI: 10.1007/s10646-012-0863-x.
- BOLZONELLA, C. *et al.* Is there a way to rate insecticides that is less detrimental to human and environmental health? **Global Ecology and Conservation**, v. 20, p. e00699, 2019. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00699.
- BONMATIN, J. M. *et al.* Quantification of Imidacloprid Uptake in Maize Crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 13, p. 5336–5341, 2005. DOI: 10.1021/jf0479362.

- BRUNET, J.L.; BADIOU, A.; BELZUNCES, L.P. In vivo metabolic fate of [14C]- acetamiprid in six biological compartments of the honeybee, *Apis mellifera* Linneaus, 1758. **Pest Management Science**, Sussex, v.61, p.742-748, 2005. DOI: 10.1002/ps.1046.
- BUCHMANN, S. L.; HURLEY, J. P. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. **Journal of Theoretical Biology**, v. 72, n. 4, p. 639–657, 1978. DOI: 10.1016/0022-5193(78)90277-1.
- CAMPBELL, P. J. Declining European Bee Health: Banning the Neonicotinoids is Not the Answer. **Outlooks on Pest Management**, v. 24, n. 2, p. 52–57, 2013. DOI: 10.1564/v24_apr_02.
- CARRECK, N. L.; RATNIEKS, F. L. W. The dose makes the poison: have “field realistic” rates of exposure of bees to neonicotinoid insecticides been overestimated in laboratory studies? **Journal of Apicultural Research**, v. 53, n. 5, p. 607–614, 2014. DOI: 10.3896/IBRA.1.53.5.08.
- CASIDA, J. E. Neonicotinoid Metabolism: Compounds, Substituents, Pathways, Enzymes, Organisms, and Relevance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2923–2931, 2011. DOI: 10.1021/jf102438c.
- CASIDA, J. E. Neonicotinoids and Other Insect Nicotinic Receptor Competitive Modulators: Progress and Prospects. **Annual Review of Entomology**, v. 63, n. 1, p. 125–144, 2018. DOI: 10.1146/annurev-ento-020117-043042.
- CORNMAN, R. S. *et al.* Pathogen Webs in Collapsing Honey Bee Colonies. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, p. e43562, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0043562.
- CRUZ, R. A. L.A *et al.* Side-effects of pesticides on the generalist endoparasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 10064, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-10462-3.
- DA FONSECA, P. R. B. *et al.* Seletividade de inseticidas aos inimigos naturais ocorrentes sobre o solo cultivado com algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 304-309, 2008.
- DAI, C. *et al.* Can contamination by major systemic insecticides affect the voracity of the harlequin ladybird? **Chemosphere**, v. 256, p. 126986, 2020. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126986.
- DE OLIVEIRA, A. C.; JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Pesticides affect pollinator abundance and productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Apicultural Research**, v. 58, n. 1, p. 2–8, 2019. DOI: 10.1080/00218839.2018.1494441.
- DEGRANDE, P. E.; VIVAN, L. M. Pragas da soja. **Tecnologia e produção: soja e milho**, v. 2011, p. 155-206, 2011. Disponível em: <https://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/138/138/newarchive-138.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

- DIAS, A. M. **Resposta olfativa de *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae) para voláteis de plantas induzidos por herbivoria e oviposição de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae)**. 2015. Dissertação (Mestrado Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- DI PRISCO, G. *et al.* Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 46, p. 18466–18471, 2013. DOI: 10.1073/pnas.1314923110.
- EASTON, A. H.; GOULSON, D. The Neonicotinoid Insecticide Imidacloprid Repels Pollinating Flies and Beetles at Field-Realistic Concentrations. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. e54819, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0054819.
- EFSA (European Food Safety Authority). **Neonicotinoids: risk to bees confirmed**, 2018. Disponível em: www.efsa.europa.eu/en/press/news/180228. Acesso em: 21 nov. 2020.
- ELBERT, A. *et al.* Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. **Pest Management Science**, v. 64, n. 11, p. 1099–1105, 2008. DOI: 10.1002/ps.1616.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. **Controle Biológico**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- FAIRBROTHER, A. *et al.* Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 33, n. 4, p. 719–731, 2014. DOI: 10.1002/etc.2527.
- FAROOQUI, T. A potential link among biogenic amines-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: A unique hypothesis. **Neurochemistry International**, v. 62, n. 1, p. 122–136, 2013. DOI: 10.1016/j.neuint.2012.09.020.
- FERREIRA, M. F. DE O. *et al.* Effects of abamectin and acetamiprid pesticides on the survival and behavior of *Scaptotrigona* aff. *xanthotricha* (Apidae, Meliponini). **Journal of Apicultural Research**, p. 1–8, 2020. DOI: 10.1080/00218839.2020.1835262.
- FISCHER, J. *et al.* Neonicotinoids Interfere with Specific Components of Navigation in Honeybees. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. e91364, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0091364.
- FLORES, J. M. *et al.* A three-year large scale study on the risk of honey bee colony exposure to blooming sunflowers grown from seeds treated with thiamethoxam and clothianidin neonicotinoids. **Chemosphere**, v. 262, p. 127735, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127735.
- FONSECA, P. R. B. *et al.* Inseticidas neonicotinoides no controle do bicudo-do-algodoeiro *Anthonomus grandis* (Boheman, 1843) (Coleoptera: Curculionidae) e a falha de controle do endossulfan. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 4, p. 545–551, 2011. DOI: 10.1590/1808-1657v78p5452011.
- GALLO, D. *et al.* **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1786, p. 20140558, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.0558.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.

GONTIJO, P. C. *et al.* Non-target effects of chlorantraniliprole and thiamethoxam on *Chrysoperla carnea* when employed as sunflower seed treatments. **Journal of Pest Science**, v. 87, n. 4, p. 711–719, 2014. DOI: 10.1007/s10340-014-0611-5.

GOULSON, D. Call to restrict neonicotinoids. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 973.1-973, 2018. DOI: 10.1126/science.aau0432.

GOULSON, D. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 977–987, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12111>.

HENRY, M. *et al.* A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 348–350, 2012. DOI: 10.1126/science.1215039.

HERNANDO, M. D. *et al.* Viability of honeybee colonies exposed to sunflowers grown from seeds treated with the neonicotinoids thiamethoxam and clothianidin. **Chemosphere**, v. 202, p. 609–617, 2018. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.115.

IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. (eds S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca & H. Ngo). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy**, Bonn, Germany, p. 552, 2016. Disponível em: <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>. Acesso em: 1 dez. 2020.

IWASA, T. *et al.* Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. **Crop Protection**, v. 23, n. 5, p. 371–378, 2004. DOI: 10.1016/j.cropro.2003.08.018.

JESCHKE, P. *et al.* Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2897–2908, 2011. DOI: 10.1021/jf101303g.

KARABÖRKLÜ, S., AZIZOGLU, U., AZIZOGLU, Z. B. Recombinant entomopathogenic agents: a review of biotechnological approaches to pest insect control. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 14, 2017. DOI: 10.1007/s11274-017-2397-0.

KESSLER, S. C. *et al.* Bees prefer foods containing neonicotinoid pesticides. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 74–76, 2015. DOI: 10.1038/nature14414.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un studio de los climas de la tierra**. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LAI, W. Pesticide use and health outcomes: Evidence from agricultural water pollution in China. **Journal of Environmental Economics and Management**, Special issue on environmental economics in developing countries. v. 86, p. 93–120, 2017. DOI: 10.1016/j.jeem.2017.05.006.

LANDIS, D. A. *et al.* Increasing corn for biofuel production reduces biocontrol services in agricultural landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 51, p. 20552–20557, 2008. DOI: 10.1073/pnas.0804951106.

LAYCOCK, I. *et al.* Effects of the neonicotinoid pesticide thiamethoxam at field-realistic levels on microcolonies of *Bombus terrestris* worker bumble bees. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 100, p. 153–158, 2014. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.10.027.

LUDICKE, J. C.; NIEH, J. C. Thiamethoxam impairs honey bee visual learning, alters decision times, and increases abnormal behaviors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 193, p. 110367, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110367.

MACIAS, V. M.; OHM, J. R.; RASGON, J. L. Gene Drive for Mosquito Control: Where Did It Come from and Where Are We Headed? **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 9, 2017. DOI: 10.3390/ijerph14091006.

MALAQUIAS, J. B. *et al.* Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) on Bt cotton. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 2, p. 192–200, 2014. DOI: 10.1007/s10646-013-1162-x.

NAUEN, R.; JESCHKE, P.; COPPING, L. In Focus: Neonicotinoid insecticides Editorial: In Focus: Editorial. **Pest Management Science**, v. 64, n. 11, p. 1081–1081, 2008. DOI: 10.1002/ps.1659.

PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BENTO, J. M. S. Herbivore-Induced Plant Volatiles to Enhance Biological Control in Agriculture. **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 4, p. 331–343, 2013. DOI: 10.1007/s13744-013-0147-z.

PIMENTEL, D. Pesticides and Pest Control. In: PESHIN, R., DHAWAN, A. K. (Org.), **Integrated Pest Management: Innovation-Development Process: Volume 1**, Dordrecht, Springer Netherlands, 2009. p. 83–87. DOI: 10.1007/978-1-4020-8992-3_3.

PIRES, C. S. S. *et al.* Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 422–442, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500003.

POHORECKA, K. *et al.* Residues of Neonicotinoid Insecticides in Bee Collected Plant Materials from Oilseed Rape Crops and their Effect on Bee Colonies. **Journal of Apicultural Science**, v. 56, n. 2, p. 115–134, 2012. DOI: 10.2478/v10289-012-0029-3.

POTTS, S. G. *et al.* **The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production**. 2016. Disponível em: <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>. Acesso em: 6 dez. 2020.

RANGEL, L.E.P *et al.* Uso de Neonicotinoides no Brasil-situação atual dos produtos registrados. In: Embrapa Uva e Vinho-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **WORKSHOP RELAÇÃO PRODUTIVA ENTRE AGRICULTURA E APICULTURA**, 1., 2014, Belo Horizonte. Anais.. Belo Horizonte: SBDA, 2014., 2014.

RAW, A. Foraging Behaviour of Wild Bees at Hot Pepper Flowers (*Capsicum annuum*) and its Possible Influence on Cross Pollination. **Annals of Botany**, v. 85, n. 4, p. 487–492, 2000. DOI: 10.1006/anbo.1999.1090.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REGAN, K. *et al.* Effects of a pyrethroid and two neonicotinoid insecticides on population dynamics of key pests of soybean and abundance of their natural enemies. **Crop Protection**, v. 98, p. 24–32, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.03.004.

RIGOTTO, R. M. *et al.* Pesticide use in Brazil and problems for public health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 7, p. 1360–1362, 2014. DOI: 10.1590/0102-311XPE020714.

RUNDLÖF, M. *et al.* Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 77–80, 2015. DOI: 10.1038/nature14420.

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L. *et al.* Residues of neonicotinoids and their metabolites in honey and pollen from sunflower and maize seed dressing crops. **Journal of Chromatography A**, v. 1428, p. 220–227, 2016. DOI: 10.1016/j.chroma.2015.10.066.

SGOLASTRA, F. *et al.* Bees and pesticide regulation: Lessons from the neonicotinoid experience. **Biological Conservation**, v. 241, p. 108356, 2020. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108356.

SHARDLOW, M. **A review of recent research relating to the impact of neonicotinoids on the environment**. Buglife, 2013. Disponível em: <http://smallbluemarble.org.uk/wpcontent/uploads/2012/12/Buglife-A-review-of-recent-research-relating-to-the-impact-ofneonicotinoids-on-the-environment.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SHI, J. *et al.* Exposure to acetamiprid influences the development and survival ability of worker bees (*Apis mellifera* L.) from larvae to adults. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115345, 2020a. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115345.

SHI, J. *et al.* Sublethal acetamiprid doses negatively affect the lifespans and foraging behaviors of honey bee (*Apis mellifera* L.) workers. **Science of The Total Environment**, v. 738, p. 139924, 2020b. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139924.

SILVA, F. F. E; CARVALHO, G. A. DE. Espécies, número e frequência de visitantes florais em culturas agrícolas submetidas à aplicação de produtos fitossanitários. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 82, n. 0, 2015. DOI: 10.1590/1808-1657000712013.

- SILVA, I. P.; MELO, M. M.; BLANCO, B. S. Efeitos tóxicos dos praguicidas para abelhas. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 1, p. 142–157, 2016.
- SILVA, P. N.; HRNCIR, M.; FONSECA, V. L. I. A Polinização por vibração. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 01, p. 140–151, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.07.
- SIMON-DELISO, N. *et al.* Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 5–34, 2015. DOI: 10.1007/s11356-014-3470-y.
- SIQUEIRA, S. M. de. **Fluxo de carrapatos entre ambientes e animais na fazenda Capim-Branco, Uberlândia-MG: Considerações epidemiológicas**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências veterinárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- SMITH, D. B. *et al.* Insecticide exposure during brood or early-adult development reduces brain growth and impairs adult learning in bumblebees. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1922, p. 20192442, 2020. DOI: 10.1098/rspb.2019.2442.
- SOARES, J. B. C. **Toxicidade de inseticidas neonicotinoides sobre abelhas *Apis mellifera* L.(africanizadas)**. 2016 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.
- SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 122–128, 2015. DOI: 10.1016/j.pestbp.2014.11.014.
- STIVAKTAKIS, P. D. *et al.* Long-term exposure of rabbits to imidacloprid as quantified in blood induces genotoxic effect. **Chemosphere**, v. 149, p. 108–113, 2016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.040.
- STOKSTAD, E. How big a role should neonicotinoids play in food security? **Science (New York, N.Y.)**, v. 340, n. 6133, p. 675, 2013. DOI: 10.1126/science.340.6133.675.
- STRAUB, L. *et al.* Neonicotinoid insecticides can serve as inadvertent insect contraceptives. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1835, p. 1–8, 2016. DOI: 10.1098/rspb.2016.0506.
- SWALE, D. R. Perspectives on new strategies for the identification and development of insecticide targets. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Special issue: 2018 INSTAR Summit. v. 161, p. 23–32, 2019. DOI: 10.1016/j.pestbp.2019.07.001.
- TESOVNIK, T. *et al.* Immune related gene expression in worker honey bee (*Apis mellifera carnica*) pupae exposed to neonicotinoid thiamethoxam and Varroa mites (Varroa destructor). **PLOS ONE**, v. 12, n. 10, p. e0187079, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0187079.
- VAN DER SLUIJS, J. P. *et al.* Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 3–4, p. 293–305, 2013. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.05.007.

VERÍSSIMO, B. A. *et al.* Biology and Olfactory Response of *Salpingogaster nigra* Schiner (Diptera: Syrphidae). **Florida Entomologist**, v. 101, n. 4, p. 702-704, 2018. DOI: 10.1653/024.101.0412.

WANG, C.; WANG, S. Insect Pathogenic Fungi: Genomics, Molecular Interactions, and Genetic Improvements. **Annual Review of Entomology**, v. 62, p. 73–90, 2017. DOI: 10.1146/annurev-ento-031616-035509.

WANG, Y.; ZHU, Y. C.; LI, W. Interaction patterns and combined toxic effects of acetamiprid in combination with seven pesticides on honey bee (*Apis mellifera* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, p. 110100, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.110100.

WHITEHORN, P. R. *et al.* Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 351–352, 2012. DOI: 10.1126/science.1215025.

WINTERMANTEL, D. *et al.* Neonicotinoid-induced mortality risk for bees foraging on oilseed rape nectar persists despite EU moratorium. **Science of The Total Environment**, v. 704, p. 135400, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135400.

WOODCOCK, B. A. *et al.* Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 12459, 2016. DOI: 10.1038/ncomms12459.

WRIGHT, G. A. *et al.* Parallel reinforcement pathways for conditioned food aversions in the honeybee. **Current biology: CB**, v. 20, n. 24, p. 2234–2240, 2010. DOI: 10.1016/j.cub.2010.11.040.

YAMAMOTO, I.; CASIDA, J. E. **Nicotinoid Insecticides and the Nicotinic Acetylcholine Receptor**. Tokyo: Springer Japan KK, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-4-431-67933-2>. Acesso em: 25 dez. 2020.

YANG, Y. *et al.* Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared *in vitro*. **Pest Management Science**, v. 76, n. 3, p. 978–985, 2020. DOI: 10.1002/ps.5606.

YAO, F.-L. *et al.* Lethal and sublethal effects of thiamethoxam on the whitefly predator *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) through different exposure routes. **Chemosphere**, v. 128, p. 49–55, 2015. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.01.010.

CAPÍTULO IV

NEONICOTINÓIDES E POLINIZADORES: UMA META-ANÁLISE DE ESTUDOS EM CAMPO E LABORATÓRIO

NEONICOTINÓIDES E POLINIZADORES: UMA META-ANÁLISE DE ESTUDOS EM CAMPO E LABORATÓRIO

RESUMO

Os inseticidas neonicotinóides têm sido apontados como um dos principais responsáveis pelo fenômeno de declínio nas populações de polinizadores em todo o mundo. Em 2018 a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) proibiu em toda a União Europeia a utilização dos principais neonicotinóides empregados nos seus cultivos. Essa decisão, no entanto, foi fortemente criticada por alguns pesquisadores, utilizando-se do argumento que a maioria dos estudos utilizados como critério para a decisão teriam sido realizados em laboratório e, dessa forma, não demonstrariam resultados realistas. Diante desse fato, o objetivo desse estudo foi avaliar por meio da meta-análise os efeitos dos neonicotinóides sobre o comportamento alimentar das abelhas e o vigor dos ninhos, baseando-se em estudos realizados a campo e em laboratório. A busca na literatura e seleção dos trabalhos ocorreu de forma sistemática, em múltiplas etapas. Todos os trabalhos selecionados foram classificados conforme as variáveis estudadas (comportamento alimentar e vigor dos ninhos) e ambiente de realização (campo ou laboratório), tendo posteriormente os dados extraídos para realização da meta-análise. O estudo indicou a presença de resultados divergentes entre trabalhos realizados a campo e em laboratório apenas em relação ao vigor dos ninhos. Em laboratório, o vigor não foi alterado pelos neonicotinóides. De forma geral, os resultados demonstraram que os neonicotinóides interferem tanto no comportamento alimentar dos polinizadores quanto no vigor dos seus ninhos. No entanto, o tamanho desses efeitos é de baixa magnitude. Isso reforça o fato desses produtos não serem a principal causa desse fenômeno, mas um dos vários fatores agindo de forma sinérgica.

PALAVRAS-CHAVE: Polinização; Abelha; Inseticida; Produtos fitossanitários; CCD.

NEONICOTINOIDS AND POLLINATORS: A META-ANALYSIS OF FIELD AND LABORATORY STUDIES

ABSTRACT

Neonicotinoid insecticides have been identified as one of the main responsible for the phenomenon of decline in pollinator populations worldwide. In 2018 the European Food Safety Authority (EFSA) banned across the European Union the use of the main neonicotinoids used in its crops. This decision, however, was strongly criticized by some researchers, using the argument that most of the studies used as a criterion for the decision would have been carried out in the laboratory and, thus, would not demonstrate realistic results. Given this fact, the objective of this study was to evaluate using meta-analysis the effects of neonicotinoids on the feeding behavior of bees and the vigor of the nests, based on studies carried out in field and in laboratory. The literature search and selection of works occurred in a systematic way, in multiple stages. All selected works were classified according to the variables studied (feeding behavior and vigor of the nests), and environment of realization (field or laboratory), after that the data were extracted to perform the meta-analysis. The study indicated the presence of divergent results between work carried out in the field and in the laboratory only in relation to the vigor of the nests. In the laboratory, the vigor was not altered by neonicotinoids. In general, the results showed that neonicotinoids interfere both in the feeding behavior of pollinators and in the vigor of their nests. However, the size of these effects is of low magnitude. This reinforces the fact that these products are not the main cause of this phenomenon, but one of several factors acting synergistically.

KEYWORDS: Pollination; Bee; Insecticide; Pesticides; CCD.

1. INTRODUÇÃO

O termo *colony collapse disorder* (CCD) foi apresentado pela primeira vez no fim de 2006, nos Estados Unidos (COX-FOSTER et al., 2007), como forma de designar o fenômeno de queda nas populações de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 ocorrido no país. Daí em diante outros relatos foram sendo apresentados, ainda na América do Norte, em regiões do Canadá e, em seguida, em outros continentes e regiões, com destaque para Europa, Ásia e Oriente Médio (FAROOQUI, 2013). Atualmente existem relatos em outras localidades do mundo (IPBES, 2016), não somente envolvendo *A. mellifera*, mas também outras espécies de polinizadores (GILL et al., 2016). Apesar de existirem relatos de quedas nas populações de abelhas no passado (OERTEL, 1965), seja por condições do clima ou por ações antrópicas (WILLIAMS; KAUFFELD, 1974), o fenômeno atual difere desses demais pela sua velocidade e alta severidade (FAROOQUI, 2013).

Vários estudos foram e ainda estão sendo realizados com o objetivo de explicar quais as reais causas desse fenômeno, se seria algo de cunho específico ou a associação de vários fatores atuando em sinergismo (FAROOQUI, 2013). A utilização de produtos fitossanitários com destaque aos inseticidas neonicotinóides, têm sido alvo de grande parte desses estudos, já que seriam considerados como um dos principais responsáveis por esse fenômeno (GODFRAY et al., 2014; WOODCOCK et al., 2016). Principalmente quando há uma exposição crônica (subletal), caracterizada por doses baixas e tempo prolongado de contato (SILVA; MELO; BLANCO, 2016). A maioria desses efeitos pode ser observada por meio de alterações de comportamento, relacionadas de forma geral ao comportamento alimentar (ARCE et al., 2018), assim como no vigor dos ninhos, tornando-os menos produtivos e conseqüentemente mais fracos (FREITAS; PINHEIRO, 2010).

Em 1993, os neonicotinóides foram introduzidos na Europa, funcionando como uma importante ferramenta para o tratamento de sementes nas culturas do milho e girassol. Nos Estados Unidos sua introdução ocorreu posteriormente, em 1994, também para o tratamento de sementes de milho (FAROOQUI, 2013). Em 1999, devido a problemas relacionados a chamada “doença das abelhas loucas” apontados por apicultores franceses, o imidacloprido, principal neonicotinóide até então, foi proibido pelo governo francês para tratamento de sementes de girassol, ocorrendo também para a cultura do milho em 2004. Países como Alemanha e Itália seguiram o exemplo da França e também proibiram sua utilização (FAROOQUI, 2013).

Em 2013, a União Europeia decretou uma moratória suspendendo a utilização de 3 dos principais ingredientes ativos neonicotinóides do mercado (clotianidina, imidacloprido e

tiametoxam), em razão do forte apelo popular perante a associação desses produtos com o fenômeno do CCD (AUTERI et al., 2017). Em 2018 essa decisão foi novamente avaliada pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), decidindo-se pela proibição desses produtos de forma permanente em áreas de cultivos abertos, continuando permitidos apenas para produções em estufas (BASS; FIELD, 2018).

No entanto, essa decisão foi amplamente criticada por alguns pesquisadores, principalmente pelo motivo que a maioria dos estudos utilizados como critério para a decisão teriam sido realizados em laboratório, e segundo esses críticos não apresentariam de forma realista condições existentes no campo, não sendo confiáveis. Os estudos utilizavam-se muitas vezes de doses ou concentrações exageradamente altas, não encontradas naturalmente a campo (RAINE; GILL, 2015). Além disso, grande parte desses estudos se concentrava nos efeitos da exposição aguda, deixando relativamente de lado os efeitos crônicos (STANLEY et al., 2016). Segundo Godfray et al. (2014), estudos realizados em laboratório permitem realizar experimentos cuidadosamente controlados, no entanto, por serem conduzidos em condições artificiais, não permitem avaliar processos que podem ser importantes no campo. Como por exemplo, o fato que os polinizadores podem evitar ativamente recursos alimentares com a presença de inseticidas, como os neonicotinóides.

Um peso maior pode ser adicionado a essas críticas diante de alguns resultados de estudos realizados a campo, onde a exposição das abelhas a culturas tratadas com neonicotinóides, em sua maioria, não demonstraram nenhum tipo de efeito, ou esse quando presente, era considerado baixo (CHRISTOPHER CUTLER; SCOTT-DUPREE, 2007; CUTLER et al., 2014; PILLING et al., 2013). Diante desse fato, fica evidente a necessidade de se buscar alguma técnica que possa abordar esta problemática, permitindo observar se realmente existe entre esses tipos de estudos diferenças quanto aos seus resultados finais, já que ambos possuem vantagens e limitações.

Nesse sentido, a meta-análise demonstra ser uma ferramenta extremamente útil (GLASS, 1976). Essa análise estatística permite combinar resultados de uma variedade de estudos, sintetizando-os de maneira reproduzível e quantificável (LOVATTO et al., 2007). Embora seja mais difundido em áreas como a medicina e as ciências sociais, seu uso tem se tornado cada vez mais comum em outras áreas, sendo já utilizada inclusive em estudos relacionados a efeitos dos produtos fitossanitários sobre polinizadores (ARENA; SGOLASTRA, 2014; CRESSWELL, 2011). Com o uso desta técnica é possível sintetizar de forma eficaz dados de estudos com diferentes metodologias, escalas e com um conjunto diversificado de variáveis (JUNQUEIRA, 2016).

Diante das considerações anteriores, juntamente com os crescentes debates sobre a confiabilidade dos estudos realizados em ambiente controlado em relação aqueles realizados em ambiente natural, o objetivo deste estudo foi avaliar a partir de uma meta-análise os efeitos dos inseticidas neonicotinóides no comportamento alimentar das abelhas e vigor dos ninhos, baseando-se em estudos realizados a campo e em laboratório.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Planejamento

A organização e a seleção dos estudos para a realização da meta-análise ocorreram com o auxílio do software StArt 3.3 (*State of the Art through Systematic Review*), desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) (HERNANDES et al., 2012). Inicialmente foi estabelecido um protocolo contendo todas as informações e procedimentos que seriam necessários para a correta seleção dos estudos, para então posteriormente dar início a busca e seleção dos trabalhos (Apêndice A).

2.2. Busca e identificação dos estudos

2.2.1 Bases de dados

A busca de trabalhos foi realizada em diferentes bases de dados, sendo todas referências em estudos relacionados ao tema proposto no presente estudo, além de serem compatíveis com o software StArt 3.3. Nesse sentido foram definidas as seguintes bases de dados: Web of Science (www.webofknowledge.com), Scopus (www.scopus.com), Science Direct (www.sciencedirect.com), Springer Link (www.link.springer.com) e Scielo (www.scielo.org).

2.2.2 Estratégias de busca

Devido à especificidade de cada um dos bancos de dados utilizados na pesquisa, foram elaborados diferentes *strings* de busca, utilizando-se da combinação de diferentes palavras-chave (Tabela 1). A língua inglesa, devido a sua grande importância no meio científico, foi utilizada como padrão na maioria das bases de dados, com exceção da base Scielo, onde foi utilizada a língua portuguesa. Buscou-se dessa forma aumentar o espectro de buscas dos estudos e

consequentemente diminuir os riscos de viés. Em cada uma das bases de dados foi aplicado um filtro, como forma de eliminar artigos referentes a revisões. Os resultados finais das buscas foram salvos em formato BibTex ou His, e então exportados para a ferramenta StArt 3.3 para então iniciar o processo de seleção.

Tabela 1 – Bases de dados utilizadas e seus respectivos *strings* de busca.

Bases de dados	<i>Strings</i> de busca
Web of Science	(bee* OR pollinator* OR “honey bee” OR “ <i>Apis mellifera</i> ” OR Apidae) AND (neonicotinoid* OR insecticide* OR acetamiprid OR imidacloprid OR thiamethoxam OR clothianidin) NOT (beetles OR beet).
Scopus	(bee OR pollinator OR “honey bee” OR “ <i>Apis mellifera</i> ” OR Apidae) AND (neonicotinoid OR insecticide OR acetamiprid OR imidacloprid OR thiamethoxam OR clothianidin).
Science Direct	(bee OR pollinator OR “ <i>Apis mellifera</i> ”) AND (neonicotinoid OR insecticide OR acetamiprid OR imidacloprid OR thiamethoxam OR clothianidin).
Springer Link	(bee OR pollinator OR “honey bee” OR “ <i>Apis mellifera</i> ” OR Apidae) AND (neonicotinoid OR insecticide OR acetamiprid OR imidacloprid OR thiamethoxam OR clothianidin).
Scielo	(abelha OR "visitantes florais" OR Apidae OR polinizador* OR " <i>Apis mellifera</i> ") AND (pesticida* OR "produtos fitossanitários" OR neonicotinóide* OR inseticida OR agrotóxicos OR tiametoxam OR acetamiprido OR imidacloprido OR clotianidina).

AND e OR: Operadores booleanos.

2.3 Seleção dos estudos

A seleção dos estudos ocorreu por meio de duas triagens. A primeira baseando-se no título, resumo e palavras-chave dos artigos, considerada como uma seleção inicial, e a segunda como uma seleção final, baseando-se na leitura completa do estudo. Para cada uma dessas triagens foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão, sendo considerados incluídos apenas os trabalhos que contemplavam todos os critérios de inclusão, e nenhum dos critérios de exclusão. Nesse momento também foram identificados e excluídos todos os trabalhos duplicados.

2.3.1 - 1º Triagem - (Título, resumo e palavras-chave)

Critério de inclusão

- Apresenta estudos relacionados a efeitos subletais dos neonicotinóides sobre abelhas, independente da espécie.

Critérios de exclusão

- Estudos não envolvem experimentação (livros, capítulos e revisões).
- Trabalhos anteriores a introdução dos inseticidas neonicotinóides nas áreas agrícolas.

2.3.2 - 2º Triagem - (Texto completo)

Critério de inclusão

- Apresenta tratamento controle (Sem a utilização de inseticidas neonicotinóides).

Critérios de exclusão

- Não avaliaram características relacionadas ao objetivo proposto.
- Não especificam os locais de realização do experimento (campo ou laboratório).
- Neonicotinóides estão em mistura com outros produtos.
- Apresentam dados estatísticos insuficientes (média, medida de dispersão dos dados e o número de amostras).
- Estudo não encontrado.
- Trabalhos com dose letal.

2.4 Classificação

Os estudos selecionados foram divididos em dois grupos principais, utilizando-se como critérios de separação as variáveis de cada um desses estudos. Os grupos foram denominados de grupo comportamento alimentar (variáveis estudadas: quantidade de visitas, porcentagem de visitas e consumo de recurso alimentar) e grupo vigor dos ninhos (variáveis estudadas: quantidade de indivíduos nos ninhos, quantidade de células de cria, quantidade de emergências, quantidade de pupas, sobrevivência, quantidade de alimento armazenado, peso dos indivíduos, peso dos

ninhos, entre outros). Posteriormente esses grupos foram novamente divididos formando para cada um, dois subgrupos, denominados de campo e laboratório. Foram considerados como estudos a campo, aqueles realizados em área natural, onde os polinizadores estavam expostos às diferentes condições ambientais e possuíam a liberdade de forragear outros recursos, não somente aqueles propostos nos respectivos trabalhos. Por outro lado, aqueles estudos realizados em ambiente controlado, e/ou onde não houve liberdade de forrageamento de outros recursos alimentares, foram considerados como grupo laboratório.

2.5 Extração

2.5.1 Organização dos estudos selecionados

Nos estudos onde houve avaliações de múltiplas doses ou concentrações de neonicotinóides, foram extraídos apenas os dados referentes àquelas encontradas em cultivos comerciais, ou aquelas intermediárias, evitando-se dessa maneira valores extremos.

2.5.2 Dados estatísticos

Dos estudos selecionados foram extraídos todos os dados estatísticos, sendo posteriormente transferidos para uma planilha, sendo obrigatório para cada um deles, a média, o número amostral (n) e pelo menos uma medida de dispersão dos dados (desvio padrão, erro padrão, intervalo de confiança e coeficiente de variação). Pelo fato da meta-análise de dados contínuos de forma geral adotar o desvio padrão como medida de dispersão, todos os estudos que possuíam medidas de dispersão diferentes desta, tiveram seus dados convertidos através do software Microsoft Office Excel® 2019.

2.6 Análises estatísticas

A meta-análise foi realizada com o software R v4.0.3 (R CORTE TEAM, 2020), com o auxílio do pacote *meta*. Admitindo-se a existência de diferenças metodológicas entre os estudos e a presença de escalas distintas entre eles, foram adotados nas análises, respectivamente, um modelo de efeitos randômicos e a diferença de médias padronizada (DMP) (*standardized mean difference* – SMD) (g de Hedges), utilizada como estimativa do tamanho do efeito (HIGGINS et al., 2019).

Foi realizada uma meta-análise para cada grupo (comportamento alimentar e vigor dos ninhos) adotando-se para cada um, uma análise de subgrupos (campo e laboratório). Os resultados foram apresentados em um gráfico, denominado de gráfico de floresta (*Forest Plot*). A análise deste gráfico é feita a partir da posição do “Diamante” em relação ao eixo central do gráfico. Caso o diamante esteja inteiramente de um dos lados do gráfico, sem tocar o eixo central, entende-se que houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, e que o tratamento referente à posição do diamante foi favorecido. Caso o diamante encoste no eixo central, entende-se que não houve diferenças entre os tratamentos estudados.

A presença de heterogeneidade foi observada por meio dos testes de Chi^2 e I^2 . O teste do Chi^2 é um dos mais utilizados para se avaliar a existência de heterogeneidade, a partir dele é possível observar se há entre os estudos uma alta incompatibilidade, não permitindo que esses estudos sejam associados, sendo atribuída quando $p < 0,05$ (HIGGINS et al., 2019). O teste de I^2 é utilizado como forma de mensurar a magnitude da heterogeneidade (PEREIRA; GALVÃO, 2014), através da existência de inconsistência entre os estudos, podendo variar de 0 a 100%. Um I^2 abaixo de 40% indica heterogeneidade baixa, não importante, se tornando substancial acima de 50%, e considerável quando superior a 75% (HIGGINS et al., 2019).

Para avaliação do viés de publicação foram utilizados dois métodos complementares. O primeiro baseou-se em uma análise qualitativa, através do *funnel plot* (gráfico em funil), onde a presença de assimetria indica um possível viés de publicação (EGGER et al., 1997). O segundo por outro lado baseou-se em uma análise quantitativa, por meio do teste de hipóteses, sendo utilizado como referência o teste de Begg (BEGG; MAZUMDAR, 1994). Adotou-se em todas as análises estatísticas uma significância de 0,05.

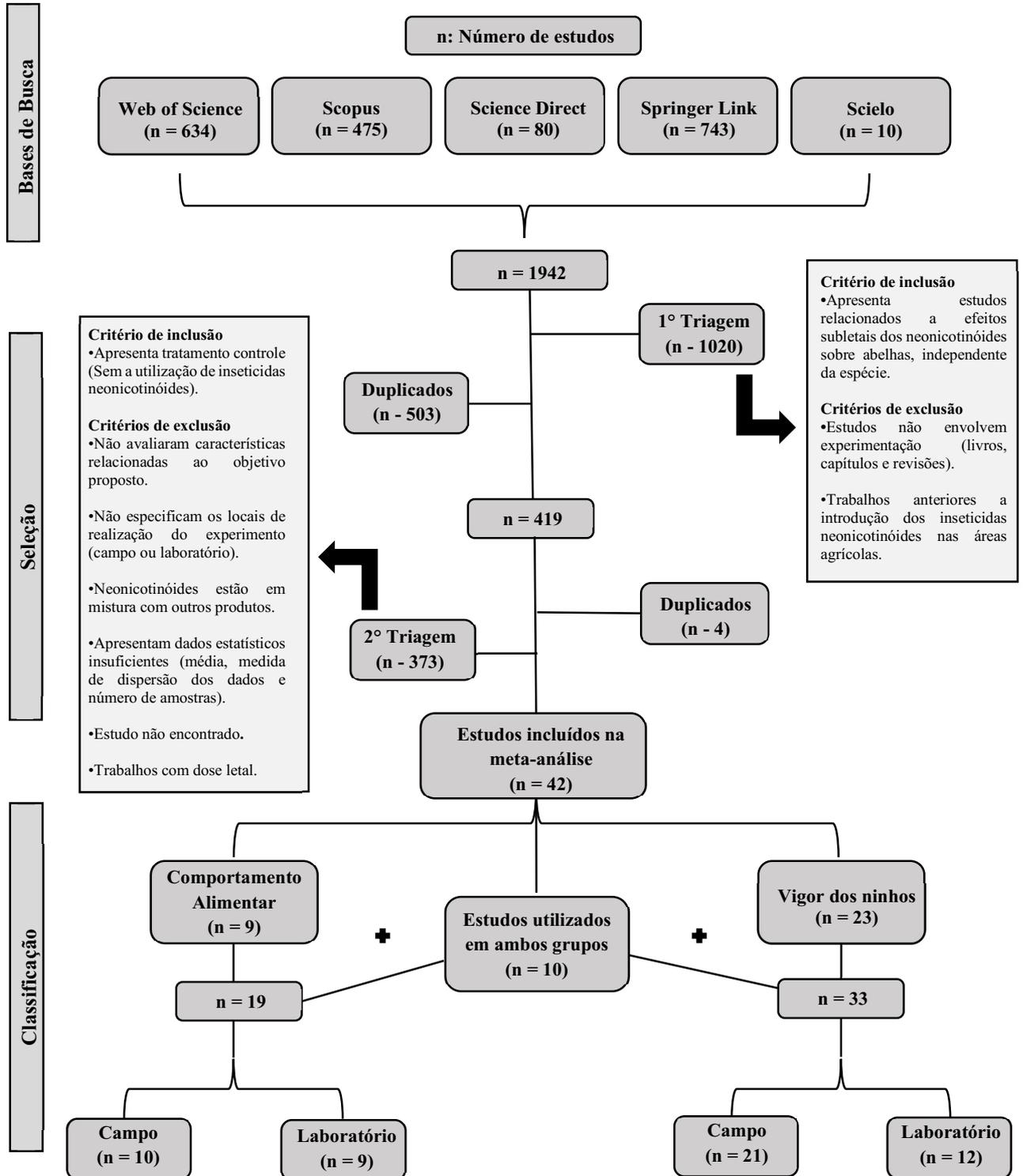
3. RESULTADOS

3.1 Busca, seleção e classificação dos estudos

A pesquisa nas diferentes bases de dados resultou em um total de 1942 estudos. Após a realização dos processos de triagem foram selecionados para a realização da meta-análise um total de 42 estudos (Apêndice B). Desses estudos, nove foram classificados especificamente para o grupo comportamento alimentar, 23 especificamente para o vigor dos ninhos, e 10 compartilhados em ambos os grupos, totalizando para cada um, 19 e 33 estudos, respectivamente. Dentro do grupo comportamento alimentar nove estudos foram classificados para o subgrupo campo e 10 para

laboratório, enquanto que no grupo vigor dos ninhos, 21 foram classificados para subgrupo campo e 12 para laboratório (Figura 1).

Figura 1 – Resumo dos procedimentos de busca, seleção e classificação dos estudos.



A espécie *Apis mellifera* foi a mais estudada em ambos os grupos, estando presente em 12 (68,42 %) estudos do grupo comportamento alimentar e em 18 (54,54%) estudos do grupo vigor dos ninhos. Espécies do gênero *Bombus* foram também representativas em ambos os grupos (Tabelas 2 e 3). Em relação aos inseticidas neonicotinóides, os ingredientes ativos imidacloprido e tiametoxam foram os mais estudados no grupo comportamento alimentar, estando presentes em nove (47,37 %) e oito (42,11%) estudos, respectivamente (Tabela 2). Em relação ao grupo vigor dos ninhos, os ingredientes ativos clotianidina e imidacloprido foram os neonicotinóides mais estudados, estando presentes em 15 (45,45%) e 13 (39,39%) estudos, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2 – Características dos estudos incluídos na meta-análise – Grupo comportamento alimentar.

Estudos	Local	Neonicotinóides	Espécies
Bredeson e Lundgren (2018)	Campo	Tiametoxam	Não especificado
Christopher Cutler e Scott-Dupree (2014)	Campo	Tiametoxam e Clotianidina	<i>Bombus impatiens</i> , <i>Bombus</i> spp. e <i>Apis mellifera</i>
Dively et al. (2015)	Campo	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Gels, david e Potter (2002)	Campo	Imidacloprido	<i>Bombus impatiens</i>
Havstad et al. (2019)	Campo	Tiacloprido	<i>Bombus</i> spp.
Larson, Redmond e Potter (2013)	Campo	Tiacloprido e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i> e <i>Bombus</i> spp.
Tison et al. (2019)	Campo	Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Tison et al. (2016)	Campo	Tiacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Wood et al. (2020)	Campo	Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Zhang et al. (2020)	Campo	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Collison et al. (2018)	Laboratório	Imidacloprido e Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Démares et al. (2018)	Laboratório	Tiametoxam, Clotianidina e Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Gauthier et al. (2018)	Laboratório	Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Li, Yu e Chen. (2019)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Macías-Macías et al. (2020)	Laboratório	Tiametoxam	<i>Melipona colimana</i>
Sánchez-Bayo, Belzunces e Bonmatin (2017)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Siefert et al. (2020)	Laboratório	Clotianidina e Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Tasei, Lerin e Ripault (2000)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Bombus terrestris</i>
Wu-Smart e Spivak (2017)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Bombus impatiens</i>

Tabela 3 – Características dos estudos incluídos na meta-análise – Grupo vigor dos ninhos.

Estudos	Local	Neonicotinóides	Espécie
Chandler et al. (2020)	Campo	Acetamiprido	<i>Bombus impatiens</i>
Christopher Cutler e Scott-Dupree (2014)	Campo	Tiametoxam e Clotianidina	<i>Bombus impatiens</i>
Cutler et al. (2014)	Campo	Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Dively et al. (2015)	Campo	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Flores et al. (2021)	Campo	Tiametoxam e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Gels, David e Potter (2002)	Campo	Imidacloprido	<i>Bombus impatiens</i>
Havstad et al. (2019)	Campo	Tiacloprido	<i>Bombus spp.</i>
Larson, Redmond e Potter (2013)	Campo	Clotianidina	<i>Bombus impatiens</i>
Lu, Warchol e Callahan (2014)	Campo	Imidacloprido e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Overmyer et al. (2017)	Campo	Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Pohorecka et al. (2013)	Campo	Imidacloprido e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Rudle et al. (2017)	Campo	Tiametoxam	<i>Osmia bicornis</i>
Rundlöf et al. (2015)	Campo	Clotianidina	<i>Bombus terrestris</i>
Sgolastra et al. (2012)	Campo	Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Siede et al. (2017)	Campo	Tiacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Siede et al. (2018)	Campo	Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Straub et al. (2016)	Campo	Tiametoxam e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Tasei, Ripault e Rivault (2001)	Campo	Imidacloprido	<i>Bombus terrestris</i>
Wood et al. (2018)	Campo	Tiametoxam, Imidacloprido e Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Wood et al. (2020)	Campo	Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Wu-Smart e Spivak (2016)	Campo	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>
Camp et al. (2020)	Laboratório	Acetamiprido	<i>Bombus impatiens</i>
Démarets et al. (2018)	Laboratório	Clotianidina, Imidacloprido e Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Fortuin, McCarty e Gandhi (2021)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Osmia lignaria</i>
Gauthier et al. (2018)	Laboratório	Imidacloprido e Tiametoxam	<i>Apis mellifera</i>
Laycock e Cresswell (2013)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Bombus terrestris</i>

Tabela 3 – Continuação.

Laycock et al. (2014)	Laboratório	Tiametoxam	<i>Bombus impatiens</i>
Morfin, Goodwin e Guzman-Novoa (2020)	Laboratório	Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>
Nicholls et al. (2017)	Laboratório	Clotianidina	<i>Osmia bicornis</i>
Sandrock et al. (2013)	Laboratório	Tiametoxam e Clotianidina	<i>Osmia bicornis</i>
Shi et al. (2020)	Laboratório	Acetamiprido	<i>Apis mellifera</i>
Tasei, Lerin e Ripault (2000)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Bombus terrestris</i>
Wong, Liao e Berenbaum (2018)	Laboratório	Imidacloprido	<i>Apis mellifera</i>

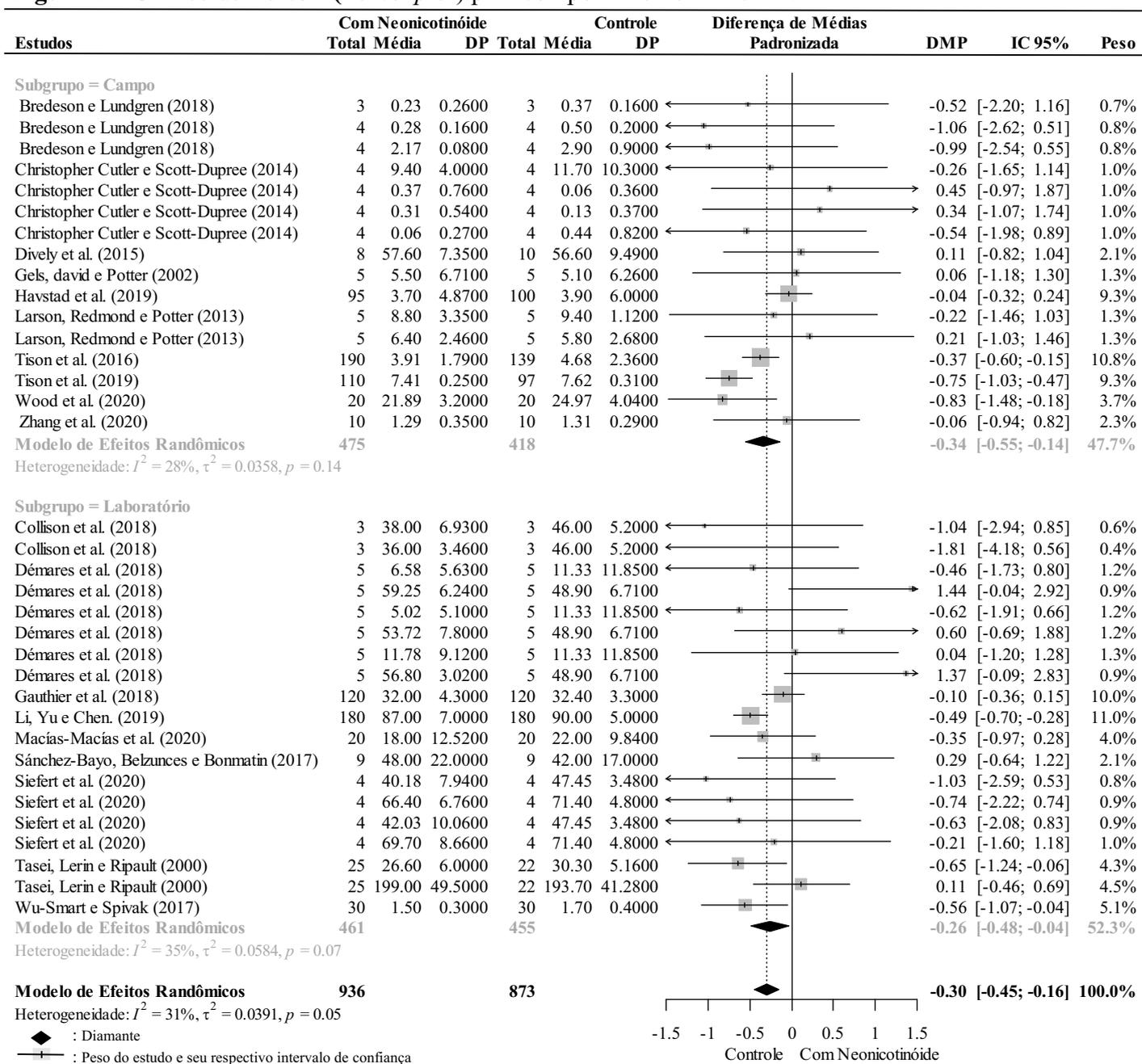
3.2 Meta-análise

3.2.1 Comportamento alimentar

Pelo fato de que muitos estudos avaliaram mais de um neonicotinóide, espécie de polinizador ou possuíam mais de uma variável resposta, dos 19 estudos incluídos na meta-análise foram produzidos 35 tamanhos de efeito. Destes, 16 para a meta-análise no subgrupo campo e 19 para a meta-análise no subgrupo laboratório.

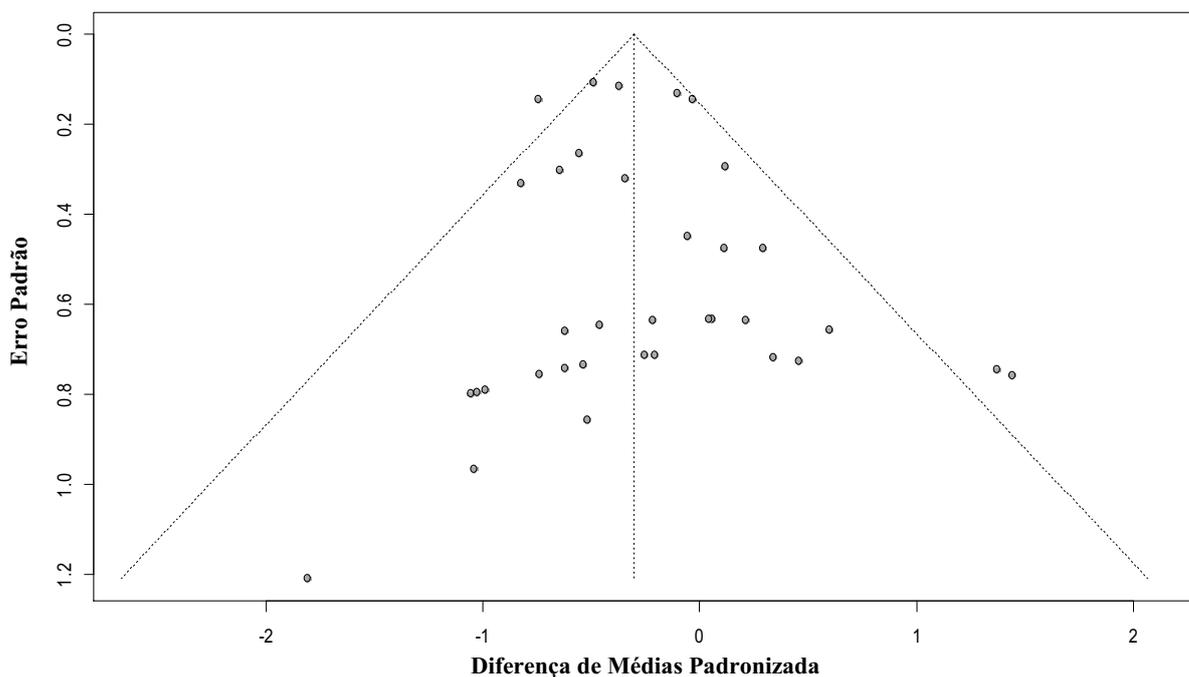
Não foram encontradas diferenças entre os subgrupos. Ambos apresentaram a mesma direção do efeito, favorecendo o tratamento controle em relação ao tratamento com neonicotinóide (Campo: $Z = 3,25$; $p = 0,001$; Laboratório: $Z = 2,28$; $p = 0,020$). Os resultados indicam haver um consumo/preferência maior dos polinizadores por recursos alimentares sem a presença de neonicotinóides em relação àqueles contaminados com esses produtos, independentemente se os estudos foram realizados a campo ou em laboratório. Ocorreram variações apenas em relação às estimativas de tamanho do efeito (Figura 2), apresentadas através da diferença de médias padronizada (DMP), sendo maior no subgrupo campo (DMP = -0,34; IC95%: -0,55 a -0,14), em comparação ao subgrupo laboratório (DMP = -0,26; IC95%: -0,48 a -0,04). A meta-análise geral (campo + laboratório) demonstrou efeito semelhante aos subgrupos, havendo de forma geral um consumo/preferência maior dos polinizadores por recursos alimentares sem a contaminação por neonicotinóides ($Z = 4,06$; $p < 0,001$), com uma estimativa do tamanho do efeito de -0,30 (IC95%: -0,45 a -0,16). O sinal negativo indica apenas qual o lado do gráfico (tratamento) houve a estimativa do tamanho do efeito (favorecido).

Não foram encontradas heterogeneidades significativas em nenhum dos subgrupos (Campo: $\text{Chi}^2 = 20,81$; $\text{gl} = 15$; $p = 0,14$; Laboratório: $\text{Chi}^2 = 27,75$; $\text{gl} = 18$; $p = 0,07$), assim como na meta-análise geral ($\text{Chi}^2 = 48,93$; $\text{df} = 34$; $p = 0,05$). O teste do I^2 demonstrou uma baixa inconsistência entre os estudos ($< 40\%$), tanto nos subgrupos, quanto na meta-análise geral (Figura 2). A avaliação visual do *funel plot* sugeriu a ausência de viés de publicação, confirmada por meio do teste de Begg ($Z = -0,98$; $p = 0,33$) (Figura 3).

Figura 2 – Gráfico de floresta (*Forest plot*) para comportamento alimentar.

DP: Desvio padrão; DMP: Diferença de médias padronizada; IC95%: Intervalo de confiança a 95%; I^2 : Teste de inconsistência; p : Resultado do teste de hipóteses para teste do Chi²; τ^2 : Estimativa da variância entre os estudos.

Figura 3 – Gráfico de funil (*Funnel plot*) para comportamento alimentar.



◊ : Cada ponto no gráfico representa um estudo, e a sua totalidade constitui o conjunto de estudos da meta-análise.

3.2.2 Vigor dos ninhos

Os 33 estudos incluídos na meta-análise resultaram em 139 estimativas de tamanho de efeito. Destas, 104 foram utilizadas para a meta-análise no subgrupo campo e 35 para a meta-análise no subgrupo laboratório. Ao contrário do observado em relação ao comportamento alimentar, foram encontradas diferenças entre os subgrupos. Estudos realizados a campo demonstraram um efeito significativo na direção do tratamento controle ($Z = 3,06$; $p = 0,002$), indicando que o vigor dos ninhos é reduzido quando os polinizadores são expostos aos neonicotinóides (DMP = $-0,11$; IC95%: $-0,18$ a $-0,04$); enquanto que, estudos realizados em laboratório não demonstraram diferenças entre os tratamentos controle em relação ao com neonicotinóide ($Z = 0,91$; $p = 0,36$). A meta-análise geral demonstrou também que o vigor dos ninhos é afetado negativamente pelos neonicotinóides ($Z = 2,97$; $p = 0,003$) com uma estimativa do tamanho do efeito de $-0,09$ (IC95%: $-0,14$ a $-0,03$) (Figura 4).

Os estudos se mostraram homogêneos (Campo: $\text{Chi}^2 = 110,35$; $\text{gl} = 103$; $p = 0,29$; Laboratório: $\text{Chi}^2 = 27,75$; $\text{gl} = 34$; $p = 0,210$; Geral: $\text{Chi}^2 = 151,95$; $\text{df} = 138$; $p = 0,200$). O teste do I^2 demonstrou uma baixa inconsistência entre os estudos ($< 40\%$), tanto em relação aos subgrupos, quanto em relação a meta-análise geral (Figura 4). A avaliação visual do *funnel plot*

sugeriu ausência de viés de publicação, resultado demonstrado também pelo teste de Begg ($Z = -1,44; p = 0,15$) (Figura 5).

Figura 4 - Gráfico de floresta (*Forest plot*) para vigor dos ninhos.

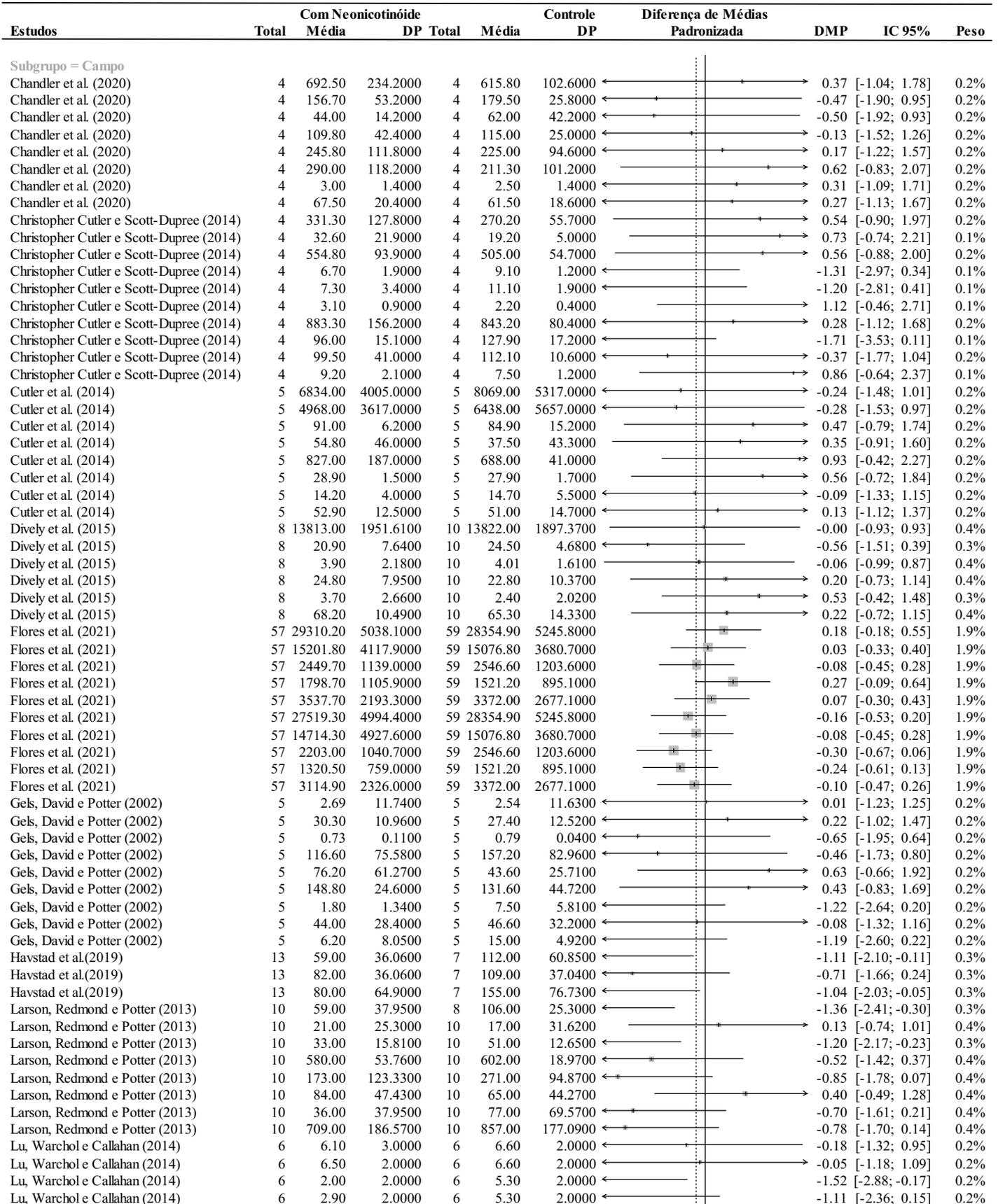


Figura 4 – Continuação.

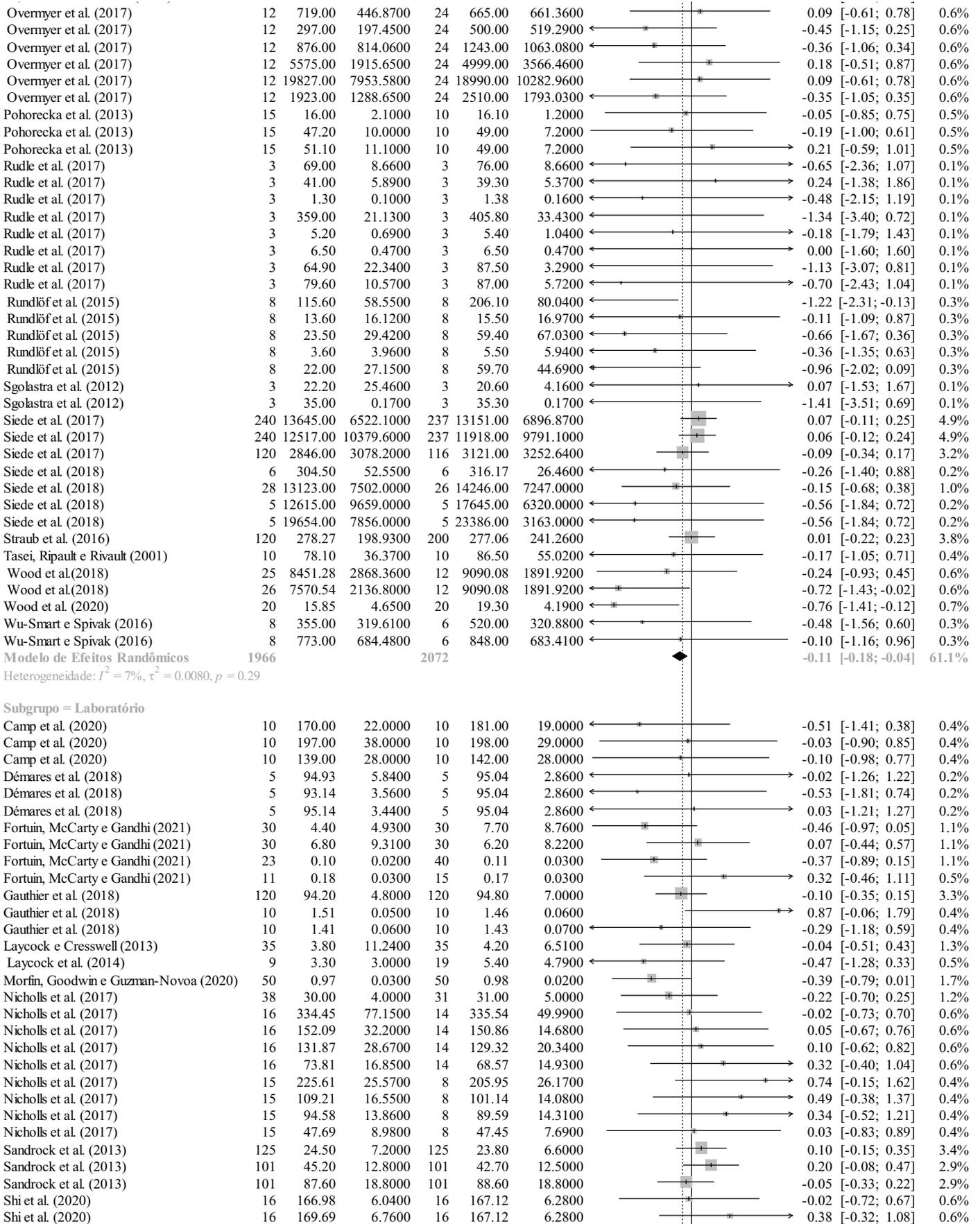
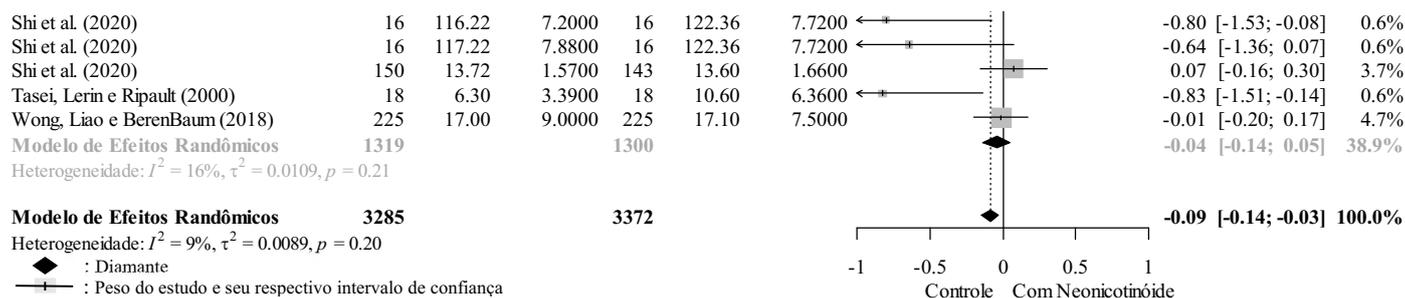
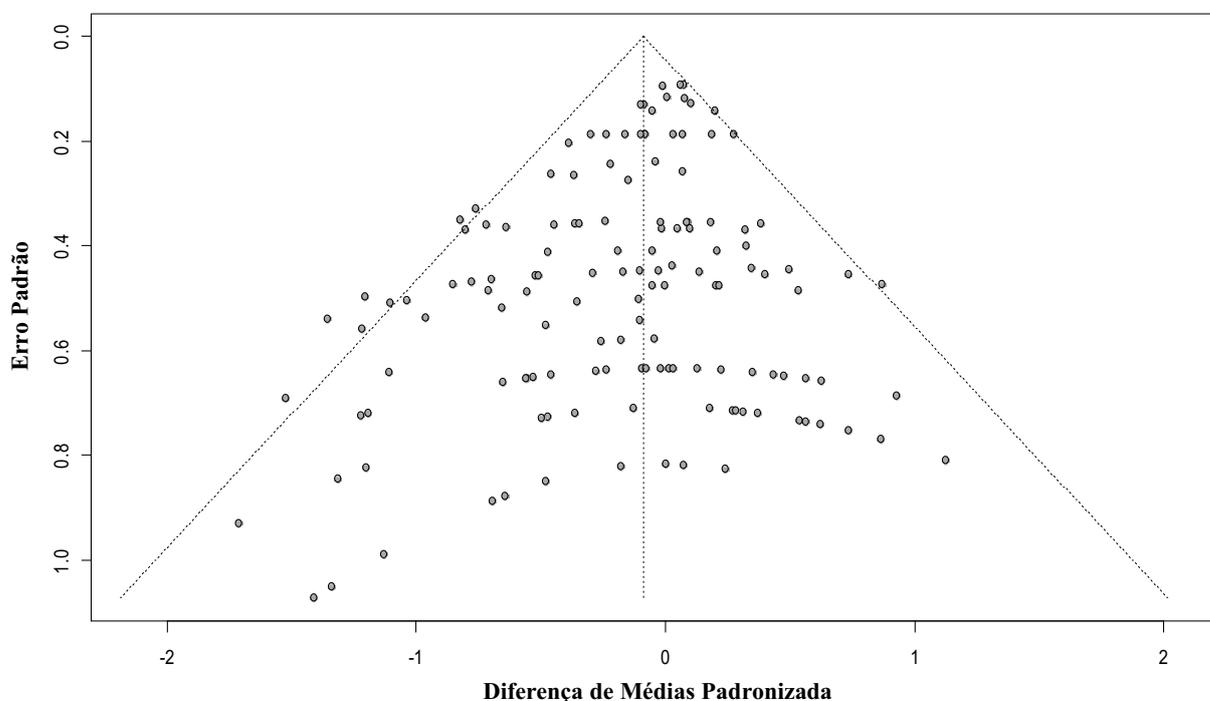


Figura 4 – Continuação.

DP: Desvio padrão; DMP: Diferença de médias padronizada; IC95%: Intervalo de confiança a 95%. I^2 : Teste de inconsistência; p : Resultado do teste de hipóteses para teste do χ^2 ; τ^2 : Estimativa da variância entre os estudos.

Figura 5 - Gráfico de funil (Funnel plot) para vigor dos ninhos.

◦: Cada ponto no gráfico representa um estudo, e a sua totalidade constitui o conjunto de estudos da meta-análise.

4. DISCUSSÃO

Os resultados indicam que podem ocorrer diferenças em relação aos efeitos dos neonicotinóides sobre os polinizadores a depender do ambiente de realização do estudo. O que demonstra que em parte as críticas feitas por alguns pesquisadores possuíam algum tipo de fundamento. Porém não é algo geral ou unânime, havendo variações conforme o objeto de estudo a ser analisado.

Observou-se que os resultados referentes ao comportamento alimentar não diferiram em razão do ambiente de realização dos estudos. Seja a campo ou em laboratório, ambos demonstraram uma mesma tendência de resultado, indicando um consumo ou uma preferência maior dos polinizadores por recursos alimentares livres de neonicotinóides. Esse resultado indica que, ao contrário do que apontam alguns estudos (KESSLER et al., 2015), as abelhas possuem a capacidade de detectar a presença desses produtos, mesmo quando estão em pequenas concentrações (subletais), passando dessa forma a evitá-los. Isso as leva a forragear em outras áreas ou cultivos (recurso alternativo) quando estão a campo (GODFRAY et al., 2014), ou diminuir o consumo do recurso contaminado quando estão restritas em laboratório (THOMPSON et al., 2014).

No entanto, ao analisar o vigor dos ninhos, os resultados se mostraram divergentes. Estudos realizados a campo apontaram um vigor maior nos ninhos livres da ação dos neonicotinóides, enquanto aqueles realizados em laboratório se mostraram indiferentes. Esse fato vai contra os argumentos apresentados pelos críticos a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) no momento da proibição dos neonicotinóides na Europa, sob a argumentativa que os estudos considerados para a decisão poderiam possuir falhas ou erros metodológicos (CARRECK; RATNIEKS, 2014) e por terem sido realizados em laboratório demonstrariam um efeito não realista, resultando em significância onde não existiria (CAMPBELL, 2013).

Os experimentos relacionados ao vigor dos ninhos normalmente quando realizados a campo ocorrem em áreas com a disponibilidade prioritária de um recurso em específico (cultura tratada ou não tratada) ou através do oferecimento de recurso alimentar, normalmente xarope de sacarose contaminado ou não, nas proximidades dos ninhos, ou mesmo dentro deles. Os polinizadores possuem a liberdade de forragear em outras áreas, mas muitas vezes por conta das distâncias podem se utilizar, mesmo que em menores quantidades para a alimentação. Os neonicotinóides mesmo em baixas concentrações possuem o poder de afetar o desenvolvimento dos ninhos, implicando na redução do seu vigor (WHITEHORN et al., 2012). Fato que explicaria a presença de maior vigor nos ninhos no tratamento controle, onde o contato com recursos contaminados é menos provável.

Quando esses experimentos são realizados em laboratório, também é oferecido na maioria das vezes um xarope de sacarose como alimento, estando ou não contaminado com neonicotinóides. Era esperado que nessa situação houvesse a presença de ninhos mais vigorosos nos tratamentos controle, porém a restrição ao forrageio, e conseqüentemente a redução na

diversidade de recursos alimentares, provavelmente impactaram o vigor dos ninhos (PIRES et al., 2016), tornando-os semelhantes com aqueles tratados com neonicotinóides.

Segundo Raine e Gill (2015), estudos realizados a campo são de vital importância, porém devido a sua escala, demandam um alto orçamento, além disso, necessitam de grande esforço humano, o que muitas vezes pode limitar sua realização. Esses estudos de forma geral fornecem evidências correlacionais de impactos, enquanto aqueles realizados em laboratório são mais adequados para determinar relações de causa e efeito por meio de experimentação controlada. Nesse sentido, a complementaridade dessas duas formas de estudo precisa ser cada vez mais considerada pelos formuladores de políticas, assim como para o planejamento de novas pesquisas, para que dessa forma haja uma maior confiança nos dados apresentados.

Cohen (1988) estabeleceu valores de referência para auxiliar a interpretação dos tamanhos do efeito, classificando-os em pequeno, moderado e grande. Posteriormente essa classificação foi sendo alterada, havendo inclusive a inserção de novas categorias (ROSENTHAL, 1996). De forma genérica, atualmente são considerados como “insignificantes” estimativas dos tamanhos do efeito abaixo de 0,19; “pequenas” quando entre 0,20 e 0,49; “médias ou moderadas” quando entre 0,50 e 0,79; “grandes” entre 0,80 e 1,29; “muito grandes” quando maiores que 1,30 (ESPIRITO SANTO; DANIEL, 2015). Os resultados referentes ao comportamento alimentar e vigor dos ninhos obtidos através das meta-análises gerais (campo + laboratório) se mostraram ambos significativos a nível estatístico, indicando que esses fatores sofrem efeitos da ação dos neonicotinóides. Porém, analisando-se os tamanhos desses efeitos, esses se mostraram pequenos e insignificantes, respectivamente.

Estudos apontam que essas categorias podem não ser aplicadas a todas as áreas de estudo (OLEJNIK; ALGINA, 2000) e que as magnitudes dos efeitos podem diferir em relação a sua relevância dependendo da área analisada (LIPSEY et al., 2012). No entanto, de forma geral, podem servir como indicativo de que a ação dos produtos neonicotinóides não é a causa única do fenômeno do CCD, mas sim, apenas mais um fator contribuinte (BASS; FIELD, 2018; STAVELEY et al., 2014), visto a baixa magnitude dos efeitos apresentados. Novos estudos devem ser realizados com o objetivo de analisar as estimativas propostas por Cohen (1988), de forma a associá-las especificamente aos estudos com polinizadores e produtos fitossanitários.

Deve-se, na medida do possível, buscar um equilíbrio entre os riscos dos neonicotinóides aos polinizadores, e o valor que esses produtos fornecem para a produção agrícola (JESCHKE, et al., 2011; RAINE; GILL, 2015). Ambos contribuem para um maior rendimento e uma maior qualidade das safras, principalmente diante de uma demanda que cada dia se torna maior

(TILMAN; CLARK, 2015). Não há dúvidas do grande valor dos neonicotinóides para a agricultura (JESCHKE et al., 2011), bem como da importância dos serviços ecossistêmicos prestados a essa mesma agricultura por polinizadores, sejam eles manejados ou selvagens (DE OLIVEIRA; JUNQUEIRA; AUGUSTO, 2019). Possuem, além de tudo, um importante papel como componentes da biodiversidade natural (BARBOSA et al., 2017; ROUBIK; FAO, 2018). Diante desses fatos, fica evidente a necessidade de se buscar cada vez mais formas que permitam a coexistência de ambos os fatores, de modo a se obter o máximo de benefícios de cada um.

A utilização de métodos de controle alternativos é apontada como solução por alguns pesquisadores, no entanto, esses métodos podem não oferecer os mesmos resultados obtidos pelos neonicotinóides, tanto em termos de eficácia, quanto em termos de aplicabilidade, durabilidade e praticidade. Além do fato de que não necessariamente seriam mais seguros ao ambiente (JACTEL et al., 2019). Uma opção possível seria priorizar a utilização dos neonicotinóides apenas após o período de florescimento da cultura, de forma a diminuir os efeitos subletais proporcionados pelo contato dos polinizadores com recursos contaminados. Previamente ao período de florescimento poderiam ser utilizados produtos sem a presença de sistematicidade na planta, dando preferência sempre aqueles de menor toxicidade aos polinizadores e de menor efeito residual. Deve-se optar por aplicações fora do período de forrageamento dos polinizadores, como forma de diminuir a exposição direta desses organismos (FREITAS; PINHEIRO, 2012). Estudos adicionais devem ser realizados com objetivo de avaliar a viabilidade e eficiência desse manejo.

5. CONCLUSÕES

O vigor dos ninhos frente aos neonicotinóides apresentou resultados divergentes conforme o ambiente de realização dos estudos (campo e laboratório), o que não se observou para o comportamento alimentar. Nesse contexto, estudos realizados em laboratório demonstraram que o vigor dos ninhos não foi alterado pelos neonicotinóides, contrariando os críticos desse tipo de estudo. De forma geral, tanto o comportamento alimentar, quanto o vigor dos ninhos, foram afetados negativamente pelo contato com inseticidas neonicotinóides, porém o tamanho desse efeito se mostrou de baixa magnitude em ambos os parâmetros. Isso reforça o fato de que os neonicotinóides não seriam a principal causa do CCD, mas apenas um dos fatores responsáveis.

REFERÊNCIAS

- ARCE, A. N. *et al.* Foraging bumblebees acquire a preference for neonicotinoid-treated food with prolonged exposure. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1885, p. 20180655, 2018. DOI: 10.1098/rspb.2018.0655.
- ARENA, M.; SGOLASTRA, F. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 3, p. 324–334, 2014. DOI: 10.1007/s10646-014-1190-1.
- AUTERI, D. *et al.* Neonicotinoids and bees: The case of the European regulatory risk assessment. **Science of The Total Environment**, v. 579, p. 966–971, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.158.
- BARBOSA, D. B. *et al.* As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 4, p. 694–703, 2017. DOI: 10.21674/2448-0479.34.694-703.
- BASS, C.; FIELD, L. M. Neonicotinoids. **Current Biology**, v. 28, n. 14, p. 772-773, 2018. DOI: 10.1016/j.cub.2018.05.061.
- BEGG, C. B.; MAZUMDAR, M. Operating Characteristics of a Rank Correlation Test for Publication Bias. **Biometrics**, v. 50, n. 4, p. 1088, 1994. DOI: 10.2307/2533446.
- CAMPBELL, P. J. Declining European Bee Health: Banning the Neonicotinoids is Not the Answer. **Outlooks on Pest Management**, v. 24, n. 2, p. 52–57, 2013. DOI: 10.1564/v24_apr_02.
- CARRECK, N. L.; RATNIEKS, F. L. W. The dose makes the poison: have “field realistic” rates of exposure of bees to neonicotinoid insecticides been overestimated in laboratory studies? **Journal of Apicultural Research**, v. 53, n. 5, p. 607–614, 2014. DOI: 10.3896/IBRA.1.53.5.08.
- CHRISTOPHER CUTLER, G.; SCOTT-DUPREE, C. D. Exposure to Clothianidin Seed-Treated Canola Has No Long-Term Impact on Honey Bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 3, p. 765–772, 2007. DOI: 10.1603/0022-0493(2007)100[765:etcsch]2.0.co;2.
- CRESSWELL, J. E. A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. **Ecotoxicology**, v. 20, n. 1, p. 149–157, 2011. DOI: 10.1007/s10646-010-0566-0.
- COHEN, Jacob. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Nova Iorque: L. Erlbaum Associates, 1988. Disponível em: <http://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.
- COX-FOSTER, D. L., *et al.* A Metagenomic Survey of Microbes in Honey Bee Colony Collapse Disorder. **Science**, v. 318, n. 5848, p. 283–287, 2007. DOI: 10.1126/science.1146498.

CUTLER, G. C. *et al.* A large-scale field study examining effects of exposure to clothianidin seed-treated canola on honey bee colony health, development, and overwintering success. **PeerJ**, v. 2, p. e652, 2014. DOI: 10.7717/peerj.652.

DE OLIVEIRA, A. C.; JUNQUEIRA, C. N.; AUGUSTO, S. C. Pesticides affect pollinator abundance and productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Apicultural Research**, v. 58, n. 1, p. 2–8, 2019. 10.1080/00218839.2018.1494441.

EGGER, M. *et al.* Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. **BMJ**, v. 315, n. 7109, p. 629–634, 13 set. 1997. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.629.

ESPIRITO SANTO, H. A.; DANIEL, F. B. Calcular e apresentar tamanhos do efeito em trabalhos científicos (1): As limitações do $p < 0,05$ na análise de diferenças de médias de dois grupos. **Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social**, v. 1, n. 1, p. 3–16, 2015. DOI: 10.7342/ismt.rpics.2015.1.1.14.

FAROOQUI, T. A potential link among biogenic amines-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: A unique hypothesis. **Neurochemistry International**, v. 62, n. 1, p. 122–136, 2013. DOI: 10.1016/j.neuint.2012.09.020.

FREITAS, B. M.; PINHEIRO, J. N. **Polinizadores e pesticidas: princípios e manejo para os agroecossistemas brasileiros**. Brasília: MMA, p. 112, 2012. Disponível em: <http://www.semabelhasemalimento.com.br/wp-content/uploads/2015/02/polinizadores-e-pesticidas-final-.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

FREITAS, B.M.; PINHEIRO, J.N. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, p. 282–298, 2010.

GILL, R. J. *et al.* Chapter Four - Protecting an Ecosystem Service: Approaches to Understanding and Mitigating Threats to Wild Insect Pollinators. In: WOODWARD, G., BOHAN, D. A. (Org.), **Advances in Ecological Research**, Ecosystem Services: From Biodiversity to Society, Part 2. [S.l.], Academic Press, 2016. v. 54. p. 135–206. DOI: 10.1016/bs.aecr.2015.10.007

GLASS, G. V. Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. **Educational Researcher**, v. 5, n. 10, p. 3–8, 1976. DOI: 10.2307/1174772.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators", **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1786, p. 20140558, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.0558.

HERNANDES, E. *et al.* Using GQM and TAM to evaluate StArt - a tool that supports Systematic Review. **CLEI Electronic Journal**, v. 15, n. 1, p. 3–3, 2012.

HIGGINS, J.P.T. *et al.* **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.1**. Cochrane, 2020. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook/archive/v6>. Acesso em: 5 dez. 2020.

IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. (eds S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca & H. Ngo). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy**, Bonn, Germany, p. 552, 2016. Disponível em: <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>. Acesso em: 4 jan. 2021.

JACTEL, H. *et al.* Alternatives to neonicotinoids. **Environment International**, v. 129, p. 423–429, 2019. DOI: 10.1016/j.envint.2019.04.045.

JESCHKE, P. *et al.* Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2897–2908, 2011. DOI: 10.1021/jf101303g.

JUNQUEIRA, C. N. **Serviços de polinização e manejo de polinizadores do Maracujá-Amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deneger)**. 2016. 135 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Instituto de Biologia Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI:10.14393/ufu.te.2016.34.

KESSLER, S. C. *et al.* Bees prefer foods containing neonicotinoid pesticides. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 74–76, 2015. DOI: 10.1038/nature14414.

LIPSEY, M. W. *et al.* **Translating the statistical representation of the effects of education interventions into more readily interpretable forms**. National Center for Special Education Research. National Center for Special Education Research, Institute of Education Sciences, 2012. Disponível em: <https://ies.ed.gov/ncser/pubs/20133000/pdf/20133000.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2020.

LOVATTO, P. A. *et al.* Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 285–294, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007001000026.

OERTEL, E. Many bee colonies dead of an unknown cause. **American Bee Journal**, v. 105, p. 48-49, 1965.

OLEJNIK, S.; ALGINA, J. Measures of Effect Size for Comparative Studies: Applications, Interpretations, and Limitations. **Contemporary Educational Psychology**, v. 25, n. 3, p. 241–286, 2000. DOI: 10.1006/ceps.2000.1040.

PEREIRA, M. G.; GALVÃO, T. F. Heterogeneidade e viés de publicação em revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 4, p. 775–778, 2014. DOI: 10.5123/S1679-49742014000400021.

PILLING, E. *et al.* A Four-Year Field Program Investigating Long-Term Effects of Repeated Exposure of Honey Bee Colonies to Flowering Crops Treated with Thiamethoxam. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, p. e77193, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0077193.

PIRES, C. S. S. *et al.* Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 422–442, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500003.

RAINE, N. E.; GILL, R. J. Tasteless pesticides affect bees in the field. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 38–39, 2015. DOI: 10.1038/nature14391.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

ROSENTHAL, J. A. Qualitative Descriptors of Strength of Association and Effect Size. **Journal of Social Service Research**, v. 21, n. 4, p. 37–59, 1996. DOI: 10.1300/J079v21n04_02.

ROUBIK, D. W.; FAO. **The pollination of cultivated plants a compendium for practitioners**. v. 1, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i9201en/I9201EN.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

SILVA, I. P., MELO, M. M., BLANCO, B. S. Efeitos tóxicos dos praguicidas para abelhas. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 1, p. 142–157, 2016. DOI: 10.5935/rbhsa.v10i1.296.

STANLEY, D. A. *et al.* Investigating the impacts of field-realistic exposure to a neonicotinoid pesticide on bumblebee foraging, homing ability and colony growth. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 5, p. 1440–1449, 2016. DOI: 10.1111/1365-2664.12689.

STAVELEY, J. P. *et al.* A Causal Analysis of Observed Declines in Managed Honey Bees (*Apis mellifera*). **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 20, n. 2, p. 566–591, 2014. DOI: 10.1080/10807039.2013.831263.

TILMAN, D.; CLARK, M. Food, Agriculture & the Environment: Can We Feed the World & Save the Earth? **Daedalus**, v. 144, n. 4, p. 8–23, 2015. DOI: 10.1162/DAEDa00350.

THOMPSON, H. M. *et al.* Neonicotinoids and bumblebees (*Bombus terrestris*): effects on nectar consumption in individual workers. **Pest Management Science**, v. 71, n. 7, p. 946–950, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3868>.

WHITEHORN, P. R. *et al.* Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 351–352, 2012. DOI: 10.1126/science.1215025.

WILLIAMS, J. L.; KAUFFELD, N. M. Winter conditions in commercial colonies in Louisiana. **American bee journal**, v. 14, p. 219–221, 1974.

WOODCOCK, B. A. *et al.* Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 12459, 2016. DOI: 10.1038/ncomms12459.

APÊNDICE A – PROTOCOLO

StArt - State of the Art through Systematic Review

SYSTEMATIC REVIEW - EFEITOS DOS NEONICOTINÓIDES SOBRE AS ABELHAS.

Data: 18/01/2021 - 02:24:43

Título: Efeitos dos neonicotinóides sobre as abelhas.

Autores: Arthur Oliveira; João Paulo A. R. da Cunha.

Descrição: Esse trabalho tem como objetivo avaliar a partir de uma meta-análise os efeitos dos neonicotinóides sobre as abelhas, considerando experimentos a campo e em laboratório.

Objetivos: Avaliar os efeitos dos neonicotinóides sobre as abelhas, com base em trabalhos realizados a campo e em laboratório.

Minha questão: Existe ou não diferenças nos efeitos observados dos neonicotinóides sobre as abelhas quando realizados a campo ou em laboratório.

Palavras-chave: Apidae; *Apis mellifera*; bee; abelha; honey bee; insecticide; inseticida; pesticida; pollinator; polinizador; neonicotinoids; neonicotinoid; neonicotinóide; produto fitossanitário; agrotóxico; thiamethoxam; tiametoxam; imidacloprid; imidacloprido; acetamiprid; acetamiprido; clothianidin; clotianidina; visitantes florais.

Crerios de seleção de bases de busca: Possuir artigos da área objetivada neste estudo; possuir compatibilidade com o software StArt; permitir acesso aos artigos completos; exportar os artigos no formato BibteX ou His.

Linguagem dos estudos: Inglês e português.

Métodos de pesquisa de fonte: Executar *string* de busca nas bases de buscas selecionadas, exportar os artigos encontrados no formato BibteX ou His, e por fim importa-los para a ferramenta StArt.

Bases de busca: Scopus; Science Direct; Web of Science; Springer; Scielo.

Crítérios de inclusão e exclusão de estudos: (I) Apresentam estudos relacionados a efeitos letais ou subletais dos neonicotinóides sobre as abelhas, independente da espécie.; (I) Apresenta tratamento controle.; (E) Estudos que não envolvem experimentação (livros, capítulos de livros e revisões).; (E) Apresentam dados estatísticos insuficientes (Média, medida de dispersão dos dados, e número de amostras).; (E) Não especificam os locais de realização do experimento (Campo ou Laboratório).; (E) Neonicotinóides estão em mistura com outros produtos.; (E) Trabalhos anteriores a introdução dos inseticidas neonicotióides na área agrícola.; (E) Estudo não encontrado.; (E) Trabalhos com Dose Letal (DL).

Seleção de estudos: 1º Triagem (título, resumo e palavras-chave); ; Inclusão: - (i) Apresenta estudos relacionados a efeitos letais oi subletais dos neonicotióides sobre as abelhas, independente da espécie.; Exclusão: - (E) Estudos não envolvem experimentação (Livros, capítulos e revisões).; - (E) Trabalhos anteriores a introdução dos inseticidas neonicotióides na área agrícola.; 2º Triagem (Texto Completo); ; Inclusão: - (I) Apresenta tratamento controle.; Exclusão: -(E) Não especificam os locais de realização do experimento (Campo ou Laboratório).; -(E) Neonicotinóides estão em mistura com outros produtos.; -(E) Apresentam dados estatísticos insuficientes (média, medida de dispersão dos dados e número de amostras).

Campos de extração de informação: Local do Estudo = {Campo,Laboratório}; Número de neonicotinóides testados={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10}; Qual/quais neonicotinóides utilizados? = [Imidacloprido,Tiametoxam,Acetamiprido,Clotianidina,Outro]; Método de Aplicação = [Pulverização,Tratamento de sementes (TS), Solução com produto]; Forma de contato = [Tópica,Ingestão, pólen e néctar]; N° de espécies abelhas testadas = {1,2,3,4,5,+5}; Quais espécies? = [Apis,Não-Apis]; Efeitos Apresentados = [Comportamento alimentar, Vigor da colônia]. Dados estatísticos presentes = [Média, Desvio padrão (Sd), Erro padrão, intervalo de confiança, coeficiente de variação (CV), N° de amostras (n)].

APÊNDICE B – ESTUDOS UTILIZADOS NA META-ANÁLISE

- BREDESON, M. M.; LUNDGREN, J. G. Thiamethoxam seed treatments reduce foliar predator and pollinator populations in sunflowers (*Helianthus annuus*), and extra-floral nectaries as a route of exposure for seed treatments to affect the predator, *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Crop Protection**, v. 106, p. 86–92, 2018. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.12.019.
- CAMP, A. A. *et al.* Effects of the neonicotinoid acetamiprid in syrup on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) microcolony development. **PLOS ONE**, v. 15, n. 10, p. e0241111, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0241111.
- CHANDLER, A. J. *et al.* Exposure of the Common Eastern Bumble Bee, *Bombus impatiens* (Cresson), to Sub-lethal Doses of Acetamiprid and Propiconazole in Wild Blueberry. **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 36, n. 1, p. 1, 2020. DOI: 10.3954/1523-5475-36.1.1.
- CHRISTOPHER CUTLER, G.; SCOTT-DUPREE, C. D. A field study examining the effects of exposure to neonicotinoid seed-treated corn on commercial bumble bee colonies. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 9, p. 1755–1763, 2014. DOI: 10.1007/s10646-014-1340-5.
- COLLISON, E. J. *et al.* Effects of neonicotinoid exposure on molecular and physiological indicators of honey bee immunocompetence. **Apidologie**, v. 49, n. 2, p. 196–208, 2018. DOI: 10.1007/s13592-017-0541-3.
- CUTLER, G. C. *et al.* A large-scale field study examining effects of exposure to clothianidin seed-treated canola on honey bee colony health, development, and overwintering success. **PeerJ**, v. 2, p. e652, 2014. DOI: 10.7717/peerj.652.
- DÉMARES, F. J. *et al.* Neonicotinoids decrease sucrose responsiveness of honey bees at first contact. **Journal of Insect Physiology**, v. 108, p. 25–30, 2018. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2018.05.004.
- DIVELY, G. P. *et al.* Assessment of Chronic Sublethal Effects of Imidacloprid on Honey Bee Colony Health. **PLOS ONE**, v. 10, n. 3, p. e0118748, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0118748.
- FLORES, J. M. *et al.* A three-year large scale study on the risk of honey bee colony exposure to blooming sunflowers grown from seeds treated with thiamethoxam and clothianidin neonicotinoids. **Chemosphere**, v. 262, p. 127735, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127735.
- FORTUIN, C. C.; MCCARTY, E.; GANDHI, K. JK. Acute contact with imidacloprid in soil affects the nesting and survival success of a solitary wild bee, *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). **Chemosphere**, v. 264, p. 128572, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128572.
- GAUTHIER, M. *et al.* Chronic exposure to imidacloprid or thiamethoxam neonicotinoid causes oxidative damages and alters carotenoid-retinoid levels in caged honey bees (*Apis mellifera*). **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 16274, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-34625-y.

- GELS, J. A.; HELD, D. W.; POTTER, D. A. Hazards of Insecticides to the Bumble Bees *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) Foraging on Flowering White Clover in Turf", **Journal of Economic Entomology**, v. 95, n. 4, p. 722–728, 2002. DOI: 10.1603/0022-0493-95.4.722.
- HAVSTAD, L. T. *et al.* Repellency of insecticides and the effect of thiacloprid on bumble bee colony development in red clover (*Trifolium pratense* L.) seed crops. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 69, n. 5, p. 439–451, 2019. DOI: 10.1080/09064710.2019.1596301.
- LARSON, J. L.; REDMOND, C. T.; POTTER, D. A. Assessing Insecticide Hazard to Bumble Bees Foraging on Flowering Weeds in Treated Lawns. **PLOS ONE**, v. 8, n. 6, p. e66375, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0066375.
- LAYCOCK, I.; CRESSWELL, J. E. Repression and Recuperation of Brood Production in *Bombus terrestris* Bumble Bees Exposed to a Pulse of the Neonicotinoid Pesticide Imidacloprid", **PLoS ONE**, v. 8, n. 11, p. e79872, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0079872.
- LAYCOCK, I. *et al.* Effects of the neonicotinoid pesticide thiamethoxam at field-realistic levels on microcolonies of *Bombus terrestris* worker bumble bees. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 100, p. 153–158, 2014. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.10.027.
- LI, Z.; YU, T.; CHEN, Y. Brain transcriptome of honey bees (*Apis mellifera*) exhibiting impaired olfactory learning induced by a sublethal dose of imidacloprid. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 156, p. 36–43, 2019. DOI: 10.1016/j.pestbp.2019.02.001.
- LU, C.; WARCHOL, K. M.; CALLAHAN, R. A. Sub-lethal exposure to neonicotinoids impaired honey bees winterization before proceeding to colony collapse disorder. **Bulletin of Insectology**, v. 67, n. 1, p. 125-130, 2014.
- MACÍAS-MACÍAS, J. O. *et al.* *Nosema ceranae* causes cellular immunosuppression and interacts with thiamethoxam to increase mortality in the stingless bee *Melipona colimana*. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 17021, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-74209-3.
- MORFIN, N.; GOODWIN, P. H.; GUZMAN-NOVOA, E. Interaction of *Varroa destructor* and Sublethal Clothianidin Doses during the Larval Stage on Subsequent Adult Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Health, Cellular Immunity, Deformed Wing Virus Levels and Differential Gene Expression. **Microorganisms**, v. 8, n. 6, p. 858, 2020. DOI: 10.3390/microorganisms8060858.
- NICHOLLS, E. *et al.* Larval exposure to field-realistic concentrations of clothianidin has no effect on development rate, over-winter survival or adult metabolic rate in a solitary bee, *Osmia bicornis*. **PeerJ**, v. 5, p. e3417, 2017. DOI: 10.7717/peerj.3417.
- OVERMYER, J. *et al.* Thiamethoxam honey bee colony feeding study: Linking effects at the level of the individual to those at the colony level: Thiamethoxam and honey bees: individual and colony effects. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 37, n. 3, p. 816–828, 2017. DOI: 10.1002/etc.4018.
- POHORECKA, K. *et al.* Effects of exposure of honey bee colonies to neonicotinoid seed-treated maize crops. **Journal of Apicultural Science**, v. 57, n. 2, p. 199–208, 2013. DOI: 10.2478/jas-2013-0029.

- RUDDLE, N. *et al.* Effects of exposure to winter oilseed rape grown from thiamethoxam-treated seed on the red mason bee *Osmia bicornis*: Thiamethoxam-treated oilseed rape and *Osmia bicornis* reproduction. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 37, n. 4, p. 1071–1083, 2018. DOI: 10.1002/etc.4034.
- RUNDLÖF, M. *et al.* Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 77–80, 2015. DOI: 10.1038/nature14420.
- SÁNCHEZ-BAYO, F., BELZUNCES, L., BONMATIN, J.-M. Lethal and sublethal effects, and incomplete clearance of ingested imidacloprid in honey bees (*Apis mellifera*). **Ecotoxicology**, v. 26, n. 9, p. 1199–1206, 2017. DOI: 10.1007/s10646-017-1845-9.
- SANDROCK, C. *et al.* Sublethal neonicotinoid insecticide exposure reduces solitary bee reproductive success: Loss of pollinator fitness. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 16, n. 2, p. 119–128, 2014. DOI: 10.1111/afe.12041.
- SGOLASTRA, F. *et al.* Effects of neonicotinoid dust from maize seed-dressing on honey bees. **Bulletin of Insectology**, v. 65, n. 2, p. 273–280, 2012.
- SHI, J. *et al.* Exposure to acetamiprid influences the development and survival ability of worker bees (*Apis mellifera* L.) from larvae to adults. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115345, 2020. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115345.
- SIEDE, R. *et al.* Performance of honey bee colonies under a long-lasting dietary exposure to sublethal concentrations of the neonicotinoid insecticide thiacloprid: Testing thiacloprid on bee colonies in a field trial. **Pest Management Science**, v. 73, n. 7, p. 1334–1344, 2017. DOI: 10.1002/ps.4547.
- SIEDE, R. *et al.* A long-term field study on the effects of dietary exposure of clothianidin to varroosis-weakened honey bee colonies. **Ecotoxicology**, v. 27, n. 7, p. 772–783, 2018. DOI: 10.1007/s10646-018-1937-1.
- SIEFERT, P. *et al.* Chronic within-hive video recordings detect altered nursing behaviour and retarded larval development of neonicotinoid treated honey bees. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 8727, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-65425-y.
- STRAUB, L. *et al.* Neonicotinoid insecticides can serve as inadvertent insect contraceptives. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1835, p. 20160506, 2016. DOI: 10.1098/rspb.2016.0506.
- TASEI, J.-N.; LERIN, J.; RIPAULT, G. Sub-lethal effects of imidacloprid on bumblebees, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae), during a laboratory feeding test. **Pest Management Science**, v. 56, n. 9, p. 784–788, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/1526-4998\(200009\)56:9<784::AID-PS208>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1526-4998(200009)56:9<784::AID-PS208>3.0.CO;2-T).
- TASEI, J. N.; RIPAULT, G.; RIVAULT, E. Hazards of Imidacloprid Seed Coating to *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) When Applied to Sunflower. **Journal of Economic Entomology**, v. 94, n. 3, p. 623–627, 2001. DOI: 10.1603/0022-0493-94.3.623.

TISON, L. *et al.* Honey Bees' Behavior Is Impaired by Chronic Exposure to the Neonicotinoid Thiacloprid in the Field. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 13, p. 7218–7227, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.6b02658.

TISON, L. *et al.* The neonicotinoid clothianidin impairs memory processing in honey bees. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 180, p. 139–145, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.05.007.

WONG, M. J.; LIAO, L.-H.; BERENBAUM, M. R. Biphasic concentration-dependent interaction between imidacloprid and dietary phytochemicals in honey bees (*Apis mellifera*). **PLOS ONE**, v. 13, n. 11, p. e0206625, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0206625.

WOOD, S. C. *et al.* Chronic High-Dose Neonicotinoid Exposure Decreases Overwinter Survival of *Apis mellifera* L. **Insects**, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2020. DOI: 10.3390/insects11010030.

WOOD, S. C. *et al.* Comparative chronic toxicity of three neonicotinoids on New Zealand packaged honey bees. **PLOS ONE**, v. 13, n. 1, p. e0190517, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0190517.

WU-SMART, J.; SPIVAK, M. Sub-lethal effects of dietary neonicotinoid insecticide exposure on honey bee queen fecundity and colony development. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 32108, 2016. DOI: 10.1038/srep32108.

ZHANG, Z. Y. *et al.* Honeybees (*Apis mellifera*) modulate dance communication in response to pollution by imidacloprid. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 23, n. 2, p. 477–482, 2020. DOI: 10.1016/j.aspen.2020.03.011.