

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

REBECA EMANUELLE DA SILVA CASTOR

**INFLUÊNCIA DAS ETIQUETAS ELETRÔNICAS DE RFID NA CAPACIDADE DE  
REPELÊNCIA DE *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini) AO  
IMIDACLOPRIDO**

Sorocaba

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

REBECA EMANUELLE DA SILVA CASTOR

**INFLUÊNCIA DAS ETIQUETAS ELETRÔNICAS DE RFID NA CAPACIDADE DE  
REPELÊNCIA DE *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini) AO  
IMIDACLOPRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, Centro de Ciências Humanas e Biológicas da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientação: Prof. Dr. Rogério Hartung Toppa  
Coorientação: Ma. Rafaela Tadei

Sorocaba  
2022

Castor, Rebeca Emanuelle da Silva

Influência das etiquetas eletrônicas de RFID na capacidade de repelência de *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini) ao imidacloprido / Rebeca Emanuelle da Silva Castor -- 2022.  
52f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Rogério Hartung Toppa  
Banca Examinadora: Elaine Cristina Mathias da Silva Zacarin, Mariana Victorino Nicolosi Arena  
Bibliografia

1. Agrotóxico. 2. RFID. 3. Tecnologia. I. Castor, Rebeca Emanuelle da Silva. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979

**Folha de aprovação**

Rebeca Emanuelle da Silva Castor

“Influência das etiquetas eletrônicas de RFID na capacidade de repelência de *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini) ao imidacloprido”

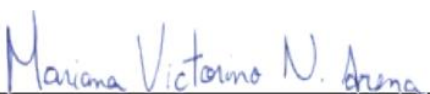
Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Sorocaba, 06 de setembro de 2022.

Orientador   
Prof. Dr. Rogério Hartung Toppa

Membro 1   
Profa. Dra. Elaine Cristina Mathias da Silva Zacarin

Membro 2   
Ma. Mariana Victorino Nicolosi Arena

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo cuidado durante todos esses anos.

À minha família, especialmente à minha mãe, Ana, meu pai, Renildo, e minha irmã, Raquel, pelo amor incondicional, esforços para que eu conquistasse os meus sonhos, e pelo apoio independente das circunstâncias.

Ao meu orientador Rogério Toppa, por quem tenho grande respeito e admiração. Agradeço a paciência, dedicação, conselhos e orientações, todos os ensinamentos foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e meu crescimento profissional.

A minha coorientadora Rafaela Tadei, por quem tenho imensa admiração, respeito e carinho. Ela me ensinou o que é ser cientista, e como lidar com toda pressão do meio acadêmico. Sou muito grata por todos os ensinamentos ao longo desses meses.

Às minhas amigas da UFSCar, Agatha, Aline, Beatriz, Caroline, Iara, Keila, Leilane, Luiza, Mayara, Natália, Suzana e Yasmin, que sempre me apoiaram e juntas tivemos muitos momentos incríveis.

Ao NuPECA (Núcleo de Pesquisa em Ecotoxicologia e Conservação de Abelhas), especialmente à Barbara, que me acompanhou e auxiliou durante todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho. E à Pamela e Kyl pelo apoio e ajuda durante os últimos meses. Agradeço pelos ensinamentos.

A todos que não citei, mas que de fizeram parte dessa trajetória.

## RESUMO

CASTOR, Rebeca Emanuelle da Silva. Influência das etiquetas eletrônicas de RFID na capacidade de repelência de *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini) ao imidacloprido. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.

Devido a importância das abelhas brasileiras sem ferrão para polinização da flora nativa e a crescente preocupação no declínio da população de polinizadores, desencadeado por alterações ambientais e presença de agrotóxicos, o número de estudos envolvendo esses insetos aumentaram. Assim, a fim de subsidiar a conservação, o uso de tecnologias como as etiquetas eletrônicas de radiofrequência (RFID) vêm sendo utilizadas como ferramentas para o monitoramento ambiental. Com a finalidade de avaliar a influência das etiquetas eletrônicas no comportamento das abelhas, o presente estudo teve como objetivo analisar parâmetros comportamentais de locomoção e de escolha de recurso alimentar entre alimentadores com e sem o inseticida neonicotinóide imidacloprido da espécie *Melipona quadrifasciata*. Para obtenção dos dados comportamentais, abelhas operárias de *M. quadrifasciata* foram colocadas individualmente em arenas de filmagens, durante 10 minutos, com disponibilidade a alimentos contaminados com alta e baixa concentração de inseticida imidacloprido, 10 ppm e 10 ppb respectivamente, além do alimento puro e do controle solvente ( $N_{\text{final}}=251$  abelhas). Observou-se que as abelhas *M. quadrifasciata* não apresentam a capacidade de identificar e evitar os alimentos contaminados, além disso, a presença da etiqueta eletrônica não alterou a frequência de visitas entre alimento contaminado e alimento puro. A presença de alimento contendo imidacloprido nas situações de filmagem reduziu o tempo de movimentação das abelhas, mas não interferiu em outros parâmetros de locomoção. Contudo, as etiquetas eletrônicas de RFID interferiram na locomoção das abelhas, de modo que reduziu a velocidade média, a frequência de rotação, o número de visitas à área da saída, a distância percorrida e o tempo de movimento dos indivíduos. Portanto, em condições laboratoriais a etiqueta de RFID influenciou a locomoção das abelhas, porém essa tecnologia vem se mostrando útil em pesquisas comportamentais, sendo necessário mais estudos para compreender se os efeitos comportamentais observados no presente trabalho ocorrem em situações de campo e dentro da colônia.

Palavras-chaves: abelhas nativas; agrotóxicos; comportamento; conservação; tecnologia.

## ABSTRACT

Due to the importance of Brazilian stingless bees for pollination of native flora and the growing concern about the decline in pollinator populations triggered by environmental changes and the presence of pesticides, the number of studies involving these insects has increased. Therefore, to support conservation, the use of technologies such as Radio Frequency Identification tags (RFID) has been using as tools for environmental monitoring. For the purpose of evaluate the influence of electronic tags on bee behavior, the present study aimed to analyze behavioral parameters of locomotion and food resource choice between feeders with and without the neonicotinoid insecticide imidacloprid. To obtain the behavioral data, worker bees of *M. quadrifasciata* were individually placed in filming arenas for 10 minutes with availability of food contaminated with high and low concentration of the insecticide imidacloprid, 10 ppm and 10 ppb respectively, in addition to pure food and solvent control ( $N_{\text{total}} = 251$  bees). It was observed that *M. quadrifasciata* bees do not have the ability to identify and avoid contaminated food, and the presence of the electronic tag did not change the frequency of visits between contaminated and pure food. The presence of food containing imidacloprid in the shooting situations reduced the movement time of the bees but did not interfere with other locomotion parameters. However, the electronic RFID tags interfered with the locomotion of the bees, so that it reduced the average speed, turning frequency, number of visits to the exit area, distance traveled, and movement time of the individuals. Therefore, under laboratory conditions the RFID tag influenced bee locomotion, but this technology has proven useful in behavioral research, and further studies are needed to understand if the behavioral effects observed in this work occur in field and colony situations.

Keywords: native bees; pesticides; behavior; conservation; technology.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Processo de coleta e aclimatação das abelhas <i>Melipona quadrifasciata</i> .....	18
<b>Figura 2</b> - Processo de etiquetagem das abelhas .....	19
<b>Figura 3</b> - Arena de filmagem contendo duas zonas de alimentação para avaliação de parâmetros comportamentais de <i>Melipona quadrifasciata</i> .....	21
<b>Figura 4</b> - Delineamento experimental para filmagem comportamental de <i>Melipona quadrifasciata</i> . Cada quadrado cinza representa uma arena de filmagem com 20 x 20 x 4 cm de dimensões e os círculos representam o conteúdo e posição do alimentador. ....	22
<b>Figura 5</b> - Etapas sequenciais da execução da metodologia para avaliação da capacidade de repelência de <i>M. quadrifasciata</i> ao imidacloprido .....	23
<b>Figura 6</b> - Estimativa Gardner-Altman para distância percorrida de abelhas operárias da espécie <i>Melipona quadrifasciata</i> durante dez minutos em condições laboratoriais .....	25
<b>Figura 7</b> - Estimativa Gardner-Altman para velocidade média de abelhas operárias da espécie <i>Melipona quadrifasciata</i> durante dez minutos em condições laboratoriais .....	26
<b>Figura 8</b> - Estimativa Gardner-Altman para frequência de rotações das abelhas operárias da espécie <i>Melipona quadrifasciata</i> durante dez minutos em condições laboratoriais .....	27
<b>Figura 9</b> - Estimativa Gardner-Altman para frequência de visitas a área de saída das abelhas operárias da espécie <i>Melipona quadrifasciata</i> durante dez minutos em condições laboratoriais .....	28
<b>Figura 10</b> - Estimativa Gardner-Altman para tempo de movimentação das abelhas operárias da espécie <i>Melipona quadrifasciata</i> durante dez minutos em condições laboratoriais .....	29
<b>Figura 11</b> - Frequência de visitas de <i>M. quadrifasciata</i> aos alimentos presentes na arena de filmagem no lado direito e esquerdo (média $\pm$ intervalo de confiança) .....	30



<b>Figura 12</b> - Frequência de visitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S_agr) (média ± intervalo de confiança) .....	31
<b>Figura 13</b> - Frequência de visitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppb) e sem agrotóxico (S_agr) (média ± intervalo de confiança) .....	31
<b>Figura 14</b> - Frequência de revisitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média ± intervalo de confiança).....	32
<b>Figura 15</b> - Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média ± intervalo de confiança).....	33
<b>Figura 16</b> - Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppb) e sem agrotóxico (S_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média ± intervalo de confiança).....	33
<b>Figura 17</b> - Etograma de situações de filmagens de <i>Melipona quadrifasciata</i> . Padrão de caminhada das abelhas e frequência de sua posição na arena ao longo do tempo (t = 10 min). Em que os círculos correspondem aos alimentadores, e o retângulo arredondado à área da saída. E as áreas esbranquiçadas das arenas, correspondem aos locais que não tiveram visita .....	34
<b>Figura 18</b> - Gráfico de frequência de revisitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm e 10 ppb), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média ± intervalo de confiança).....	35
<b>Figura 19</b> - Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com as diferentes concentrações de imidacloprido (10 ppb e 10 ppm), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média ± intervalo de confiança).....	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Abelhas</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Efeitos comportamentais causados pela exposição ao agrotóxico</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 Metodologias e tecnologias para avaliação comportamental de abelhas</b> .....	<b>16</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1 Coleta e manutenção das abelhas</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2 Fixação das etiquetas eletrônicas</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3 Definição das concentrações do inseticida</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4 Arena de filmagem e teste de repelência ao imidacloprido</b> .....	<b>20</b>
<b>4.5 Análise de dados</b> .....	<b>23</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1 Locomoção</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2 Repelência e preferência</b> .....	<b>29</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As abelhas são consideradas importantes e eficientes polinizadores, sendo responsáveis pela polinização de 90% das espécies de plantas com flores pelo mundo (CRUZ; CRUZ; CAMPOS, 2009; D'AVILA; MARCHINI, 2005). Durante a atividade de coleta de néctar e pólen, as abelhas podem promover a produção de frutos e sementes pela polinização, contribuindo assim para manutenção e conservação dos ecossistemas, ao garantir a reprodução das espécies vegetais (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2014; PEREIRA et al., 2006; SILVA; PAZ, 2012).

Apesar da maioria dos estudos com abelhas ser realizado com a espécie *Apis mellifera* por causa do seu alto valor econômico (DEVILLERS; PHAM-DELEGUE, 2002; LIMA et al., 2016), as abelhas nativas são responsáveis pela polinização de grande parte das espécies vegetais brasileiras (SILVA; PAZ, 2012). Dentre o grupo de abelhas sociais sem ferrão, melíponas, há a *Melipona quadrifasciata*, ou popularmente chamada de mandaçaia, espécie encontrada desde a região nordeste até a região sul do Brasil (LUZ et al., 2018; SILVA et al., 2014). A *M. quadrifasciata* é responsável pela polinização de diversas culturas agrícolas como abóbora, tomate e pimentão (ANTONINI; COSTA; MARTINS, 2006; LUZ et al., 2018; SILVA et al., 2014), desempenhando assim um papel essencial na área agrícola, em que a escassez da polinização pode gerar grandes perdas econômicas mundiais (SILVA; ARAÚJO; SCHER, 2012).

Porém, as populações desses insetos sofreram e ainda sofrem um declínio, o que pode refletir em prejuízos na produção agrícola, polinização de ambientes naturais e manutenção da capacidade reprodutiva de plantas silvestres (GOULSON et al., 2015; KREMEN; WILLIAMS; THORP, 2002). Devido a diversos fatores estressores como o desmatamento, fragmentação florestal, queimadas, fitófagos e predadores, e o uso de agrotóxicos tem ocorrido um processo acelerado de desaparecimento desses polinizadores (SANTOS, 2010). Os agrotóxicos formam um grupo de substâncias usadas no controle de fitófagos e doenças de plantas (PERES; MOREIRA, 2003), os quais incluem inseticidas, fungicidas, herbicidas, fumigantes, algicida, avicidas, nematocidas, moluscicidas, acaricidas, dissecentes, desfoliantes e reguladores de crescimento (BRAIBANTE; ZAPPE, 2012). Devido à ação sistêmica de muitas dessas substâncias (transporte para outras partes da planta pela seiva), e conseqüentemente a alta capacidade de permanecer no ambiente, muitos agrotóxicos têm apresentado grande ameaça para as abelhas durante o forrageamento e durante a alimentação, pois os indivíduos adultos e imaturos/larvas consomem néctar e pólen que podem estar contaminados (FREITAS et al., 2017).

O inseticida neonicotinóide imidacloprido é um dos mais vendidos mundialmente devido a sua versatilidade, ampla distribuição de atividade (uso agrícola e veterinário) e persistência na planta (JESCHKE; NAUEN, 2008; NAUEN; BRETSCHEIDER, 2002). Porém, estudos mostraram que seus resíduos podem acumular no pólen e néctar, além disso, devido a sua ação sistêmica, quando aplicado nas sementes, pode chegar até às folhas, apresentando outra fonte de exposição às abelhas (CHAUZAT et al., 2006; GIROLAMI et al., 2009; JESCHKE; NAUEN, 2008; LAURENT; RATHAHO, 2003; MULLIN et al., 2010). Em doses e concentrações subletais, o imidacloprido pode não causar a morte imediata de abelhas, mas pode alterar as atividades de forrageamento, aprendizagem olfatória e atividade motora (SILVA et al., 2016), além de provocar mudanças no comportamento dos indivíduos (BORTOLOTTI et al., 2003; MEDRZYCKI et al., 2003).

A observação dos efeitos subletais nas populações de abelhas em campo é um desafio, de modo que os efeitos observados em laboratório dificilmente são notados em condições naturais (TADEI et al., 2019; TADEI; MENEZES-OLIVEIRA; SILVA-ZACARIN, 2020). Dessa forma o desenvolvimento de métodos e tecnologias que auxiliem na avaliação comportamental são de grande importância (AYUP et al., 2021; SUSANTO et al., 2018). Tradicionalmente os estudos comportamentais com abelhas utilizam técnicas, em sua maioria manuais, como sistemas de marcação utilizando pontos de pinturas com diferentes cores e locais (VON FRISCH, 1950), ou pode ser utilizado discos plásticos numerados e coloridos que podem ser fixados ao tórax, de modo que o monitoramento dos indivíduos pode ser realizado pela observação direta ou pela gravação de vídeos (SIEGEL et al., 2005; VON FRISCH, 1993).

Porém, essas metodologias possuem limitações em relação ao número de indivíduos monitorados simultaneamente e ao elevado tempo de execução, além do estresse dos insetos para a realização das observações (VON FRISCH, 1993). Como uma alternativa para minimizar esforços e custos na avaliação comportamental, as etiquetas eletrônicas de RFID (Radio Frequency Identification), um método automatizado, vem sendo utilizadas em estudos com insetos, como abelhas (STREIT et al., 2003), vespas e formigas (MOREAU et al., 2011; SUMNER et al., 2007). Porém, apesar das vantagens em torno da utilização das etiquetas eletrônicas de RFID, há escassez de estudos para avaliar se o uso dessas novas tecnologias para o monitoramento das abelhas pode afetar ou alterar o comportamento das abelhas.

Ademais, estudos indicam que *Apis mellifera* (KESLES et al., 2015) e *Bombus terrestris* (ACER et al., 2018; KESLES et al., 2015) perdem a capacidade de repelência aos neonicotinóides com o passar do tempo (ACER et al., 2018; KESLES et al., 2015). Porém

essa avaliação ainda não foi realizada em abelhas sem ferrão. A hipótese do presente trabalho é que, as abelhas possuem a capacidade imediata de repelência ao imidacloprido em condições *in vitro*. Porém, essa capacidade é perdida com as revisitas ao alimento contaminado com o neonicotinóide.

Portanto, levando em consideração a importância e valor ecológico das abelhas nativas (LIMA et al., 2016), o histórico de uso das etiquetas eletrônicas de RFID em abelhas e demais insetos (MOREAU et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2012; STREIT et al., 2003; SUMNER et al., 2007; TOPPA et al., 2021), bem como que, essa tecnologia pode ser uma grande aliada nas pesquisas com as abelhas (DECOURTYE et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2012; TOPPA et al., 2021), o presente estudo teve como finalidade responder a seguinte questão: o uso da tecnologia RFID pode influenciar nos padrões comportamentais da abelha *Melipona quadrifasciata* e na identificação de alimentos contaminados com o inseticida neonicotinóide imidacloprido?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a influência das etiquetas eletrônicas RFID no comportamento e capacidade de repelência/preferência das abelhas sem ferrão *Melipona quadrifasciata* aos alimentos contaminados com o inseticida imidacloprido, a fim de compreender se o uso desta tecnologia pode influenciar em sua alimentação.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Avaliar a influência da etiqueta RFID sobre o comportamento de locomoção das abelhas em condições laboratoriais;

Analisar a capacidade das abelhas *Melipona quadrifasciata* em identificar alimentos contaminados com inseticida imidacloprido, a fim de compreender a repelência/preferência por esses alimentos.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Abelhas**

As abelhas são insetos pertencentes à ordem Hymenoptera (Classe Insecta), superfamília Apoidea, e estima-se que estão no planeta há cerca de 120 milhões de anos. Há aproximadamente 20 mil espécies distribuídas no mundo, compondo 4 mil gêneros, sendo que dessas, aproximadamente 15 mil são encontradas na região neotropical (FREITAS et al., 2009;

SANTOS; CARVALHO; SILVA, 2004). Esses insetos podem apresentar diferentes níveis de organização social, sendo classificados em sociais, parassociais/quase-sociais ou solitárias, dependendo do sistema organizacional e divisão de castas (CARDINAL; DANFORTH, 2011; SILVA et al., 2014).

Devido à grande diversidade de adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais, as abelhas otimizaram sua exploração dos recursos ao longo do tempo, sendo consideradas excelentes polinizadoras (OLLERTON; WINFREE; TARRANT, 2011; SILVA; PAZ, 2012). A polinização é um exemplo de mutualismo da natureza entre animais e plantas, de modo que as plantas ao oferecer uma variedade de recursos florais, que podem ser utilizados pelos agentes polinizadores como alimento (néctar, pólen e óleos), construção de ninhos e abrigos (resinas), ou para composição de fragrâncias utilizadas na atração de parceiros sexuais, se beneficiam dessas visitas pela realização da fecundação cruzada (RECH et al., 2014). Acredita-se ainda que, algumas espécies de abelhas são capazes de influenciar a disponibilidade de flores nas plantas, através do uso da probóscide e mandíbula (PASHALIDOU et al., 2020). Além disso, possuem importante papel na manutenção da base da cadeia alimentar dos ecossistemas, já que possibilitam a manutenção das populações das espécies vegetais, e garantem a formação de frutos e sementes (GIANNINI et al., 2015; SILVA et al., 2014).

Além das subespécies de *Apis mellifera* conhecidas e utilizadas mundialmente, devido ao seu hábito generalista, alta capacidade de defesa e reprodução, e importância econômica na polinização e produção de produtos apícolas (OLIVEIRA; CUNHA, 2005), o Brasil possui cerca de 5.000 espécies reconhecidas, distribuídas em cinco famílias: Andrenidae, Halictidae, Apidae, Megachilidae e Colletidae (FREITAS et al., 2009; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). Os indivíduos dessas famílias podem construir seus ninhos no solo, em ocos de árvores, colmos de bambu, buracos em rochas, barrancos e paredes, utilizando madeira morta, areia, barro, folhas, pétalas de flores, óleos florais, etc. na construção desses ninhos. Dentre as abelhas da família Apidae, estão os meliponídeos, tribo Meliponini. As abelhas dessa tribo possuem o ferrão atrofiado utilizando outros mecanismos para defesa do ninho, sendo chamadas de abelhas indígenas ou sem ferrão. No Brasil, há aproximadamente 27 gêneros de meliponídeos. Além do seu valor ecológico, as abelhas sem ferrão possuem valor econômico devido a comercialização do mel, pólen, cera, resina, cerume e própolis (SILVA et al., 2014; SILVA; PAZ, 2012; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

Entre as abelhas nativas, a espécie *Melipona quadrifasciata*, também conhecida como mandaçaia, é uma abelha social da tribo Meliponini, com tamanho médio entre 10 e 11 mm de comprimento e quatro faixas contínuas amarelas no abdômen que são transversais ao corpo

(SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). Essa espécie constrói seus ninhos em cavidades pré-existentes, sendo que a população das colônias é formada por 300-400 indivíduos (NOGUEIRA-NETO, 1997; SILVA et al., 2014). São encontradas no Brasil, nos estados Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (LOPES; SILVA; LIMA, 2021; SILVA et al., 2014), e são responsáveis principalmente pela polinização das culturas agrícolas de abóbora, pimentão, pimenta-malagueta, tomate, eucalipto e berinjela, além de frutas como goiaba e pitanga. Dentre essas espécies vegetais, coletam néctar sobretudo de florações de pitanga, goiaba e pimenta-malagueta, e o pólen das flores de goiaba, eucalipto, tomate, berinjela, pimentão e pimenta-malagueta (ANTONINI; COSTA; MARTINS, 2006; LUZ et al., 2018).

Porém, o declínio e perda de polinizadores, como a *M. quadrifasciata*, pode levar a uma crise de polinização no futuro, além disso, as pressões do mundo moderno, como diminuição da abundância e diversidade de flores e exposição a novos parasitas podem ser fatores estressores para as colônias (GOULSON et al., 2015). Constatou-se que, nos últimos 50 anos a riqueza de abelhas selvagens e outros polinizadores diminuiu, sendo que algumas espécies até sofreram extinção (CHAUZAT et al., 2006; GIANNINI et al., 2017; SANCHEZ-BAYO; GOKA, 2014). Atualmente, esse declínio na população de abelhas é associado a múltiplos fatores estressores como, perda de habitats, parasitas e doenças, dietas monofloral, concorrência com espécies exóticas, mudanças climáticas e utilização de agrotóxicos (GOULSON et al., 2015).

### **3.2 Efeitos comportamentais causados pela exposição ao agrotóxico**

Alguns estudos revelaram que de 161 diferentes agrotóxicos detectados em colônias de abelhas de mel (CHAUZAT et al., 2006; SANCHEZ-BAYO; GOKA, 2016), três neonicotinóides (tiametoxam, imidacloprido e clotianidina) e dois organofosforados (clorpirifós e fosmete) representarem maiores riscos para as abelhas em escala global, segundo toxicidade, frequência nas colmeias e concentrações detectadas (CHAUZAT et al., 2006; PARADIS et al., 2014; SANCHEZ-BAYO; GOKA, 2016).

Os neonicotinóides são inseticidas neurotóxicos que afetam o sistema nervoso central do inseto, por meio da ligação aos receptores de acetilcolina pós-sináptica, causando superestimulação, paralisia e morte (TOMIZAWA; CASIDA, 2005). Esses agrotóxicos são persistentes no ambiente e sistêmicos, ou seja, se espalham através de toda a planta, chegando no néctar e pólen de culturas com floração, e podendo atingir flores silvestres próximas das

culturas em que esses inseticidas são utilizados (GOULSON et al., 2015; KRUPKE et al., 2012).

Dentre os neonicotinóides, o imidacloprido é um dos inseticidas mais utilizados mundialmente desde 1990 (GOTTEMS, 2020). No Brasil, esse inseticida sistêmico é utilizado em plantações como goiaba, berinjela, pimentão e tomate (MAPA, 2021), as quais são visitadas pela *M. quadrifasciata* (ANTONINI; COSTA; MARTINS, 2006; LUZ et al., 2018; SILVA et al., 2014). Um estudo realizado com adultos de *M. quadrifasciata* utilizando o inseticida imidacloprido comprovou a alta mortalidade de abelhas à exposição do inseticida através da alimentação, além de ter apresentado redução significativa na taxa de respiração, comportamento de movimento e voo dos indivíduos expostos (TOMÉ et al., 2015).

Além disso, as larvas de *M. quadrifasciata* alimentadas com néctar e pólen contaminados com imidacloprido apresentaram alto índice de mortalidade e efeitos subletais causados pelo comprometimento de regiões do cérebro que são responsáveis pela memória, aprendizado e mobilidade. Assim, as larvas contaminadas que se desenvolvem, mesmo que sobrevivam, apresentaram o desempenho na fase adulta comprometido, o que pode colocar em risco a sobrevivência do indivíduo e da colônia (TOMÉ et al., 2012).

Porém, pouco se conhece sobre a exposição das abelhas nativas em condições naturais (CHRISTOPHER CUTLER et al., 2014; EFSA, 2012). Nos últimos anos, pesquisadores têm levantado questões a respeito da preferência das abelhas em relação a alimentos contaminados. Um estudo realizado com *A. mellifera* e *Bombus terrestris*, utilizando os neonicotinóides imidacloprido, tiametoxam e clotianidina, demonstrou que essas abelhas não evitaram alimentos contaminados, pelo contrário, houve preferência pelos alimentos com neonicotinóides, demonstrando a perda da capacidade de repelência a agrotóxicos quando expostas a essas substâncias (KESSLER et al., 2015). Um outro estudo realizado com o neonicotinóide tiametoxam, verificou que com o passar do tempo, abelhas da espécie *Bombus terrestris audax* aumentaram o número de visitas ao alimento contaminado, sugerindo a preferência pelo alimento com neonicotinóide (ARCE et al., 2018). Contudo, o consumo de alimentos contaminados pode variar conforme a substância presente, como demonstrado por Tiedeken et al. (2014) em seu estudo com *B. terrestris* utilizando cafeína, nicotina, grayanotoxina (GTX), quitina e amigdalina. Além disso, essas substâncias possuíram efeito significativo na mortalidade das abelhas (TIEDEKEN et al., 2014).

Sendo assim, apesar da possibilidade da preferência das abelhas por alimentos contaminados com neonicotinóides ao invés de evitar (KESSLER et al., 2015), avaliar essa capacidade nas diferentes espécies, para compreensão se ocorre evitamento ou preferência por



visita de recursos florais tratados com agrotóxicos é importante para um melhor entendimento do risco de exposição das abelhas. Além do que, essa resposta pode influenciar na sobrevivência, desenvolvimento e no comportamento das abelhas (TOMÉ et al., 2012, 2015).

### **3.3 Metodologias e tecnologias para avaliação comportamental de abelhas**

Segundo a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), regulamentada pela Lei Federal nº 6.938/1981, o monitoramento ambiental tem o intuito de monitorar e fornecer o melhor controle dos parâmetros de qualidade relacionados à preservação e recuperação de áreas que possuem algum interesse ambiental (BRASIL, 1981).

Ao longo dos anos, métodos e ferramentas foram desenvolvidas e aperfeiçoadas para o monitoramento ambiental, utilizando tecnologias como inteligência artificial, *big data* (megadados) e drones como aliadas (CAMUSSO; SANTOS; VIAGI, 2021). O uso de vários sensores em ambientes costeiros e marinhos (TZIORTZIOTI et al., 2019), sensoriamento remoto baseado em imagens de satélites (KRUG et al., 2017), aéreas (SKOOG, 2010), por UAV's (veículos aéreos não tripulados) (KLEMAS, 2015), por UUV's (veículos subaquáticos não-tripulados) (WYNN et al., 2014) e sistemas de radiofrequência (RFID) (DECOURTYE et al., 2011) também são exemplos de tecnologias aplicadas no monitoramento ambiental.

Porém, nos estudos com abelhas, são utilizadas técnicas geralmente manuais, onde são utilizados sistemas de marcação com pontos de tinta em que a cor e localização determinam a identificação do indivíduo (VON FRISCH, 1950), além de discos plásticos numerados e coloridos que podem ser fixados ao corpo do indivíduo (SIEGEL et al., 2005; VON FRISCH, 1993). Para investigação individual das abelhas, ensaios com o objetivo de medir a capacidade de respostas a estímulos sensoriais (gustativos e olfativos) das abelhas, há necessidade de imobilizar os indivíduos, em que se utiliza suporte de metal ou plástico para imobilização enquanto as abelhas são expostas (HUMAN et al., 2015; STONE; ABRAMSON; PRICE, 1997). Em contrapartida, estudos a respeito de locomoção e outros fatores, além de testes de respostas visuais e olfativas utilizam arenas para simulações (BECHER; MORITZ, 2009; SCHEINER et al., 2013). No entanto, essas técnicas são limitadas em relação ao número de indivíduos estudados simultaneamente, tempo de execução do estudo, e perturbação dos animais (VON FRISCH, 1993).

O sistema de radiofrequência (RFID - Radio Frequency Identification) é uma tecnologia de identificação que pode ser utilizada como alternativa às metodologias tradicionalmente usadas em estudos comportamentais (MONNIN; PEETERS, 1999). Neste sistema há transmissão de uma onda de radiofrequência com o auxílio de uma antena, e quando o

transponder (também chamado de etiqueta eletrônica) se aproxima do transceptor, ele recebe as ondas, ocorrendo a transferência dos dados coletados (DECOURTYE et al., 2011; STREIT et al., 2003). Essa tecnologia é utilizada para monitoramento de insetos, sendo introduzida em pesquisas relacionadas a abelhas em 2003 (STREIT et al., 2003), e para outros insetos, formigas e vespas (MOREAU et al., 2011; SUMNER et al., 2007), representando assim, um importante papel nos estudos voltados à conservação de insetos (DECOURTYE et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2012; SUSANTO et al., 2018).

Uma outra tecnologia semelhante ao RFID é o radar harmônico, esse também é um sistema de transponder utilizado em insetos, inclusive abelhas (MASCANZONI; WALLIN, 1986; RILEY; SMITH, 2002). Porém, quando comparados, as etiquetas eletrônicas de RFID oferecem mais vantagens na obtenção dos dados, tamanho e peso dos sensores, e o uso de um grande número de indivíduos a serem monitorados em um único experimento (GOMES et al., 2020; SUSANTO et al., 2018).

Além disso, há estudos que exploram as limitações do sistema RFID apresentando possíveis soluções. Através de um estudo realizado por Barlow, O'Neill e Pavlik (2019) com *Bombus terrestris audax* foi desenvolvido um protótipo de etiqueta de RFID com menor peso e tamanho em relação as existentes, podendo reduzir os efeitos no comportamento das abelhas, além de aumentar a distância de detecção. Esse novo sistema poderia ser usado para detectar e rastrear o movimento das abelhas dentro da rede de alcance, porém ainda há necessidade de melhoramento em alguns pontos (BARLOW; O'NEILL; PAVLIK, 2019). Colin et al. (2022) apresentaram um sistema RFID autônomo e movido a energia solar, que poderia ser implantado em áreas de campo remoto em colmeias de força total, ao contrário das etiquetas eletrônicas de RFID já utilizadas. Além disso, os pesquisadores compararam o desempenho de ambas as etiquetas, mostrando que o sistema RFID autônomo solucionou alguns problemas como precisão de detecção das etiquetas maior que 90%; devido a adaptações da entrada, houve menos interferência para o movimento das abelhas, limpeza e proteção; além do que, o novo sistema afeta menos o comportamento das abelhas (COLIN et al., 2022)

Porém, apesar das vantagens do uso das etiquetas eletrônicas de RFID como método de monitoramento ambiental para abelhas (AYUP et al., 2021; SCHNEIDER et al., 2012; STREIT et al., 2003), durante uma pesquisa a respeito da leitura dos dados fornecidos pelas etiquetas eletrônicas, Susanto et al. (2018) apontaram que o peso adicional da etiqueta, as alterações necessárias na entrada da colônia para fixação dos leitores e antenas, além das visitas e aberturas regulares das colônias podem ser limitações e ter efeitos sobre as abelhas, durante o uso dessa tecnologia. Contudo, ainda existem poucos estudos que demonstrem os efeitos que o uso de

etiquetas eletrônicas causa nas abelhas (TOPPA et al., 2021). Sendo assim, é necessário maior conhecimento a respeito dos possíveis efeitos dessa tecnologia (SUSANTO et al., 2018), inclusive compreender se a adição da etiqueta pode influenciar na capacidade das abelhas em identificar alimentos contaminados com agrotóxico.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Coleta e manutenção das abelhas

Abelhas em atividade de voo de *M. quadrifasciata* foram coletadas na entrada de três colônias manejadas e saudáveis, alocadas na área da Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba. As coletas para realização dos experimentos ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 2022, no período da manhã, em dias ensolarados, com temperatura diária entre 21 e 26°C e umidade de 58 a 85%. Para a coleta das abelhas foram posicionados potes de plástico de 250 mL na entrada da colônia. Após a coleta de cinco abelhas por pote, este foi fechado e introduzido um alimentador com solução de sacarose 50% m/v. Foram coletadas 30 abelhas por colônia, totalizando seis potes por colônia ( $N_{\text{final}} = 90$  abelhas, referente as três colônias).

Após a coleta, as abelhas foram mantidas em estufa do tipo B.O.D. (biochemical oxygen demand) com temperatura e umidade controladas, sendo  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 5\%$ , respectivamente, conforme Del Sarto et al. (2014) para aclimação (Figura 1).

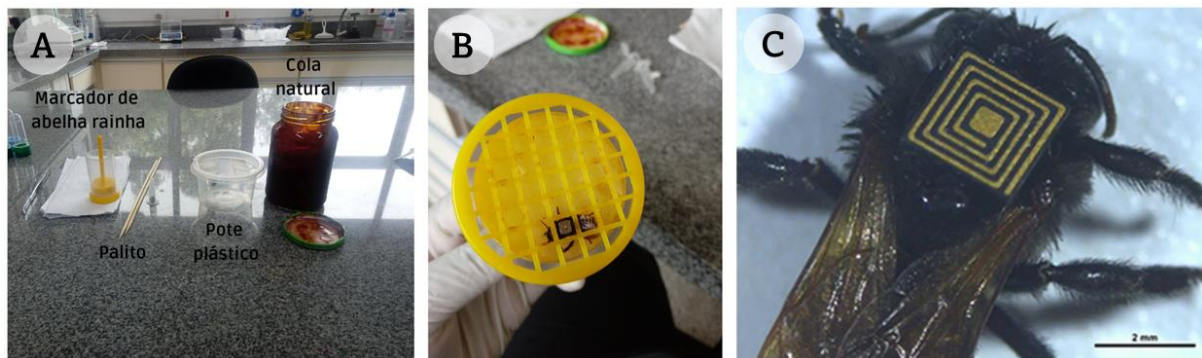


**Figura 1.** Processo de coleta e aclimação das abelhas *Melipona quadrifasciata* em colônias manejadas. (A) Colônias de *Melipona quadrifasciata* indicadas com setas brancas; (B) Coleta de abelhas utilizando potes plásticos. (C) Aclimação das abelhas em estufa B.O.D.

### 4.2 Fixação das etiquetas eletrônicas

Foram utilizadas etiquetas eletrônicas com dimensão de 2,5 x 2,5 x 0,4 mm e peso de 5,4 mg (Hitachi Chemical, 2012). Para fixação das etiquetas foi utilizado cola natural preparada conforme o protocolo desenvolvido por Toppa et al. (2021). Após aclimação, uma abelha por

vez foi transferida para o “marcador de abelha rainha” para imobilização durante o procedimento. Uma pequena quantidade de cola natural foi adicionada no tórax da abelha, entre as asas, onde a etiqueta eletrônica foi fixada (Figura 2). Esperou-se cerca de 15 segundos para secagem da cola natural, e as abelhas foram transferidas para um novo pote plástico. Ao final de cada coleta, 45 abelhas foram etiquetadas (15 abelhas de cada colônia). Após a fixação da etiqueta em todas as abelhas, essas foram mantidas *overnight* em estufa B.O.D ( $28 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 5\%$  de umidade).



**Figura 2.** Processo de fixação de etiquetas eletrônicas no tórax das abelhas operárias de *Melipona quadrifasciata*. (A) Materiais utilizados durante o processo de etiquetagem; (B) Abelha imobilizada após fixação da etiqueta eletrônica. (C) Abelha com etiqueta RFID fixada no tórax. Figura C foi retirada de Toppa et al. (2021).

### 4.3 Definição das concentrações do inseticida

Para o teste de repelência/preferência, utilizou-se o inseticida neonicotinóide imidacloprido, devido ao amplo uso em culturas visitadas por *Melipona quadrifasciata* (ANTONINI; COSTA; MARTINS, 2006; LUZ et al., 2018; SILVA et al., 2014). Duas concentrações ambientalmente relevantes do inseticida imidacloprido foram utilizadas para os testes de repelência aos agrotóxicos: 10 ppb ( $0.01 \text{ ng}/\mu\text{L}$ ) e 10 ppm ( $10 \text{ ng}/\mu\text{L}$ ).

A concentração mais alta (10 ppm) foi definida por meio do uso de simulações dos softwares T-REX (versão 1.5.2) (EPA, 2012) e AgDRIFT (versão 2.1.1) (EPA, 2019) como pior cenário de exposição para abelhas não-*Apis*, conforme recomendado pelo manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos para abelhas do IBAMA (CHAM et al., 2017). Para as simulações utilizou-se as informações provenientes da bula da formulação comercial do inseticida Provado 200 SC, composto por 20% do ingrediente ativo imidacloprido. O software AgDRIFT foi utilizado para calcular a concentração de ingrediente ativo que poderia chegar em um raio de um metro de distância da área de aplicação, ou seja, realizou-se uma simulação de deriva da aplicação, conforme recomendações do Manual de Avaliação de Risco do IBAMA

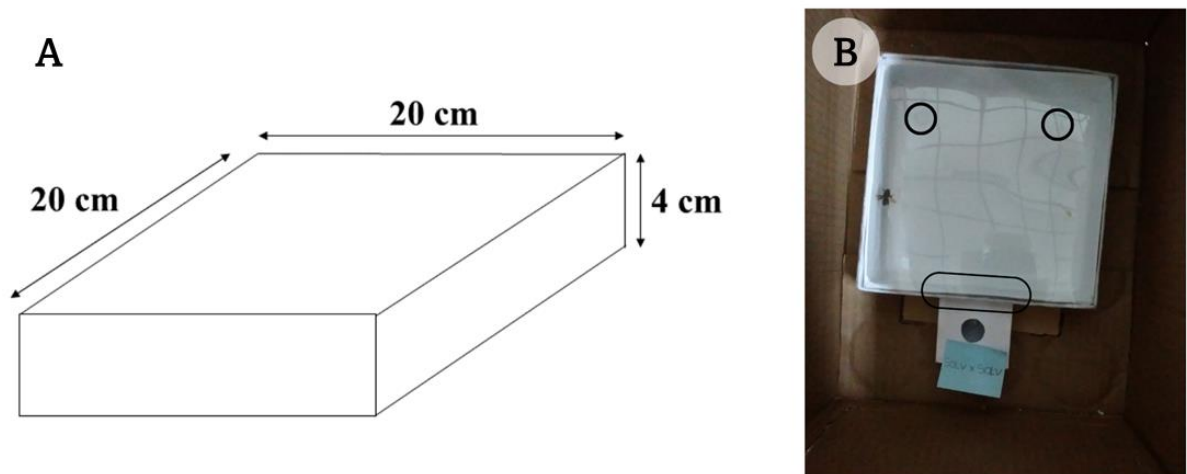
para abelhas Não-*Apis* (CHAM et al., 2017). Em seguida, o valor encontrado (89,62 g/ha) foi utilizado no modelo T-REX para calcular a quantidade de imidacloprido que chegaria no pólen e/ou néctar das plantas, e, portanto, a concentração que a abelha poderia ser exposta oralmente no campo. Dessa forma, adotou-se o valor da categoria “*tall grass*” (grama alta) de 10 ppm, como estimativa do maior valor de resíduos que atingiria o néctar ou pólen de plantas presentes a um metro do local da aplicação do agrotóxico.

A concentração mais baixa (10 ppb) foi selecionada como representação de um possível cenário mais realístico, visto que essa concentração foi identificada no néctar de plantas visitadas por abelhas (ALKASSAB; KIRCHNER, 2016; AZPIAZU et al., 2019; STONER; EITZER, 2012).

Para obtenção do alimento contendo o inseticida nessas concentrações, foi preparado inicialmente uma solução estoque com 10 mg do imidacloprido (Sigma-Aldrich, CAS Number: 138261-41-3, pureza > 99%) diluído em 4 mL de acetona e 6 mL de água destilada. Em seguida, foram realizadas diluições seriadas da solução estoque a fim de obter as concentrações de 100 ppm e 100 ppb. De cada uma dessas soluções obtidas foram aliqüotadas 500 µL e adicionadas em 4.500 µL de solução de sacarose 50% m/v para obtenção de 5 mL de alimento com 10 ppm e 10 ppb de imidacloprido. A concentração final do solvente acetona não ultrapassou 5% do volume final do alimento (OECD, 2017). Os alimentos foram preparados no mesmo dia da realização do experimento.

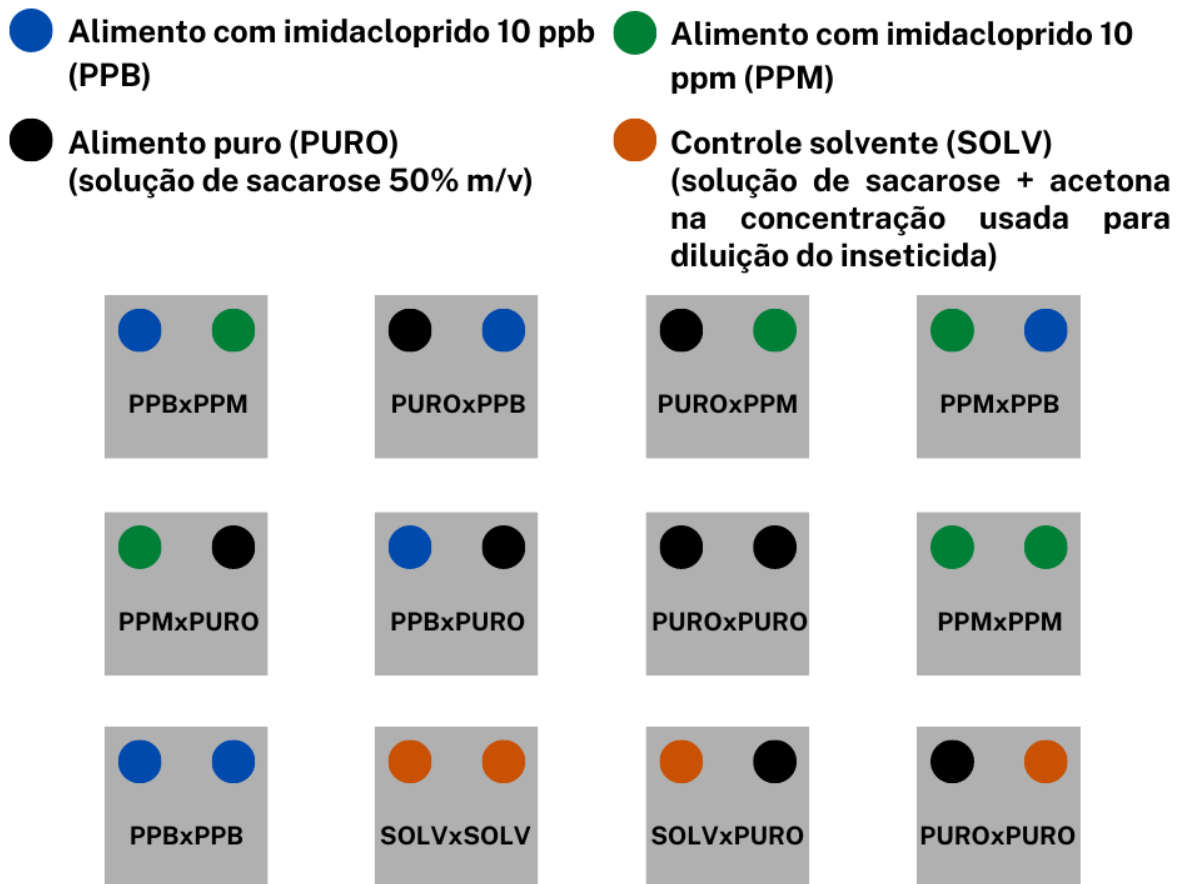
#### **4.4 Arena de filmagem e teste de repelência ao imidacloprido**

Os testes de repelência ao inseticida neonicotinóide foram realizados por meio da aquisição de vídeos utilizando arenas de filmagens (modificado de LARSON; ANDERSON, 2017), para verificação da variação de resposta imediata das abelhas ao imidacloprido. Uma arena de dimensões 20 x 20 x 4 cm (adaptado de JIANG et al., 2018) (Figura 3A) foi confeccionada em material de fundo branco (para garantir o melhor contraste na filmagem), com uma superfície superior transparente (Figura 3B). As filmagens foram ortogonais, e para evitar interferência da luminosidade lateral, as arenas foram alocadas dentro de caixas maiores (Figura 3B).



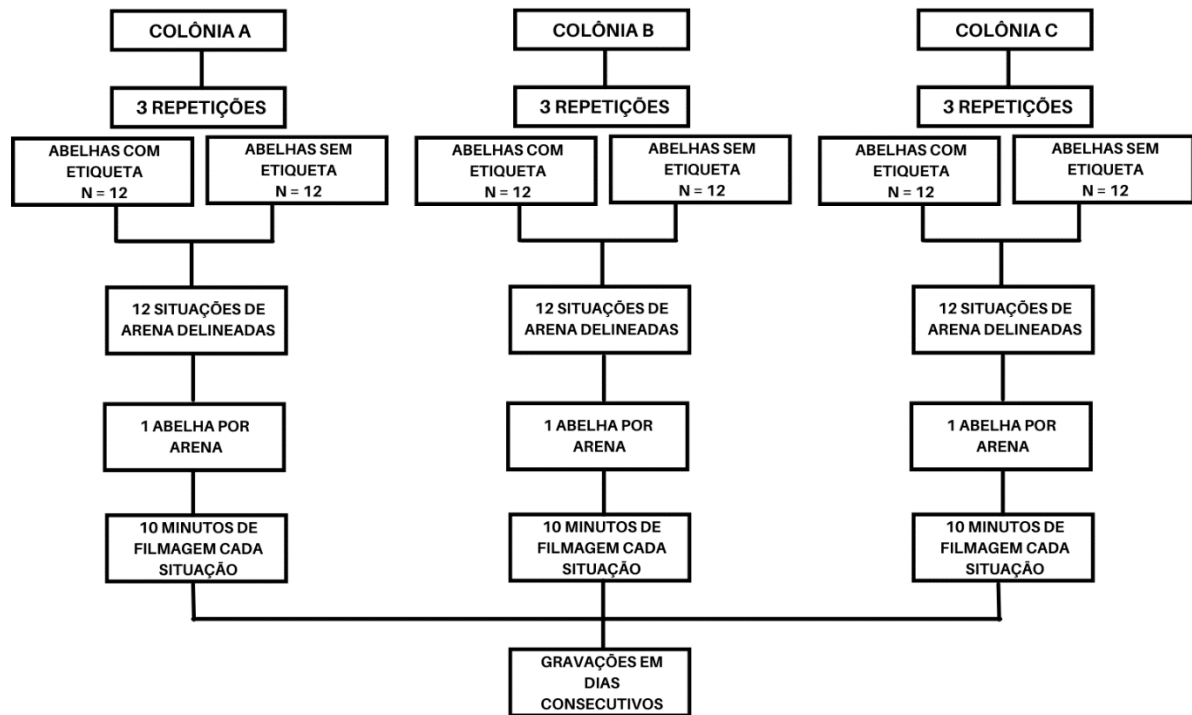
**Figura 3.** Arena de filmagem contendo duas zonas de alimentação para avaliação de parâmetros comportamentais de *Melipona quadrifasciata*. (A) Desenho esquemático da arena; (B) Arena utilizada durante as filmagens, com marcações da posição dos alimentadores (círculos) e área de entrada/saída (área representada pela forma oval). As marcações das posições não estava presente durante as filmagens.

Em dois lados da arena foi adicionado um alimentador de aproximadamente 300  $\mu$ L. Esses ficaram em laterais opostas com distanciamento de 10,5 centímetros entre eles (adaptado de JIANG et al., 2018). O conteúdo dos alimentadores (alimento contaminado com imidacloprido 10 ppb; alimento contaminado com imidacloprido 10 ppm; alimento puro – apenas solução de sacarose 50% m/v; controle solvente – solução de sacarose + acetona na concentração usada para diluição do inseticida) foram alternados em cada filmagem para garantir casualidade e evitar qualquer preferência de lado da arena no comportamento da abelha (Figura 4).



**Figura 4.** Delineamento experimental para filmagem comportamental de *Melipona quadrifasciata*. Cada quadrado cinza representa uma arena de filmagem com 20 x 20 x 4 cm de dimensões e os círculos representam o conteúdo e posição do alimentador (situações de exposição).

Os experimentos foram realizados em três blocos realizados em dias consecutivos, sendo um dia de filmagem/bloco por colônia. Cada bloco consistiu na filmagem de uma abelha sem etiqueta eletrônica e uma abelha com etiqueta eletrônica provenientes da mesma colônia em cada uma das situações de arena delineadas na Figura 4, totalizando 24 abelhas por colônia. Em seguida, o experimento contendo esses três blocos consecutivos foi repetido três vezes, como mostrado na Figura 5, para obtenção de um N = 12 abelhas por condição da arena. Devido a mudança de atividades das abelhas ao longo do dia, as filmagens foram realizadas entre 10:00 e 15:00 horas (ARCE et al., 2018).



**Figura 5.** Descrição esquematizada da execução do procedimento metodológico para avaliação da capacidade de repelência de *Melipona quadrifasciata* com e sem etiqueta eletrônica ao imidacloprido.

Anteriormente à filmagem, as abelhas foram individualizadas e ficaram 15 minutos em jejum (JACOB et al., 2019). Em seguida, uma abelha por vez foi transferida para a arena, na qual foram realizadas as filmagens com duração de 10 minutos (TADEI et al., 2019; TOMÉ et al., 2012, 2015). Após o tempo de filmagem essas abelhas foram acondicionadas em potes separados para evitar que o mesmo indivíduo fosse gravado duas vezes. Como resultado das repetições de filmagens dos blocos, foram produzidos 251 vídeos (Tabela 1). Os vídeos obtidos foram analisados usando o software EthoVision, versão 15 (NOLDUS; SPINK; TEGELENBOSCH, 2001). De modo que, para análise dos parâmetros do tempo em movimentação, a velocidade considerada móvel dos indivíduos foi de 0,55 cm/s, e imóvel foi abaixo dessa. Esses valores foram definidos com base na análise de 11 vídeos adquiridos durante o experimento, em que visualmente as abelhas estavam imóveis, e a partir disso calculou-se a velocidade média dos indivíduos utilizando o software EthoVision, e essa foi usada como referência para a abelha imóvel.

#### 4.5 Análise dos dados

Os dados obtidos foram analisados no software R (versão 4.0.4; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT, 2021), por meio da construção de modelos lineares generalizados contendo a presença das etiquetas eletrônicas, presença de agrotóxico, colônia e



bloco experimental como variáveis independentes. A distribuição dos dados no modelo foi selecionada por meio da análise de resíduos *Half-plot* a fim de avaliar a adequabilidade do modelo aos dados (MORAL; HINDE; DEMÉTRIO, 2017).

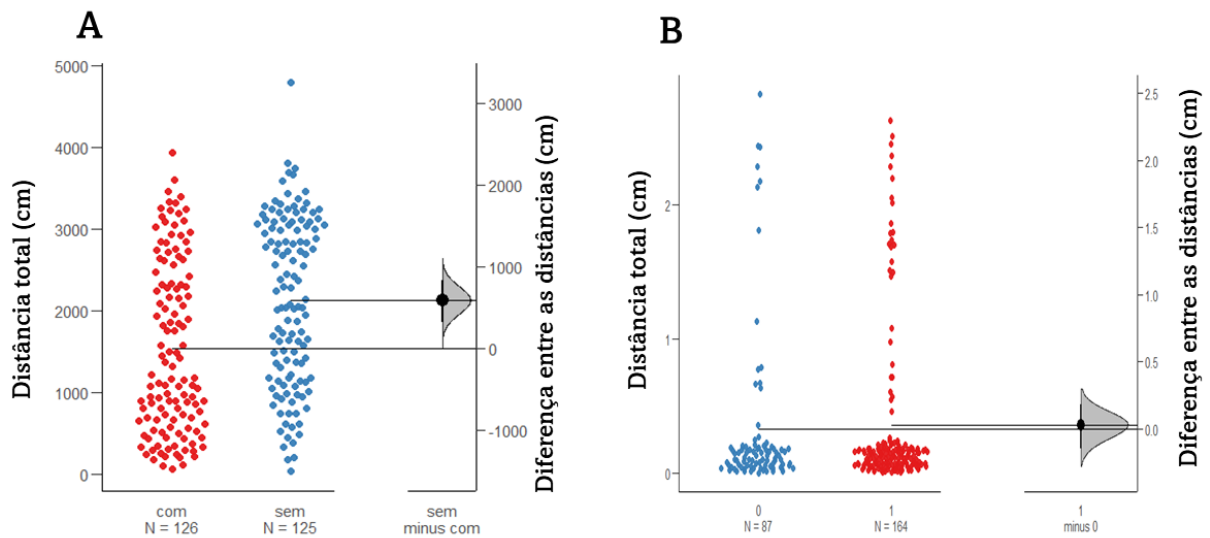
Como parâmetros comportamentais de locomoção foram avaliados a velocidade média, distância percorrida, tempo em movimentação, frequências de rotação e visitas a área da saída. Em relação a repelência e preferência, inicialmente foram analisadas as situações em que os alimentadores continham o mesmo alimento, a fim de compreender a diferença da luminosidade entre os lados da arena. Em seguida foi analisada a interferência da presença do solvente em comparação aos alimentos sem solvente. Após a exclusão de eventuais interferências de lado da arena e solvente, analisou-se a frequência de visitas, revisitas e tempo de permanência em cada alimentador nas situações de filmagens em que os alimentadores continham substâncias diferentes.

Para parâmetros de locomoção foram utilizadas as distribuições *gaussian* e *quasipoisson*, e para os parâmetros de escolha de alimento (repelência e preferência) utilizou-se as distribuições *quasipoisson* e binomial negativo. Foram considerados os modelos que apresentaram ajuste maior que 95%. A interação entre as variáveis independentes foi avaliada por meio da análise de *deviance* do modelo. Para comparação par a par entre os grupos experimentais foi utilizado pós teste com ajuste de Tukey. Adicionalmente, o tamanho de efeito dos parâmetros comportamentais foi analisado por meio da estatística de estimação pelo pacote *dabestr* (CLARIDGE-CHANG; ASSAM, 2016; HO et al., 2019).

## 5. RESULTADOS

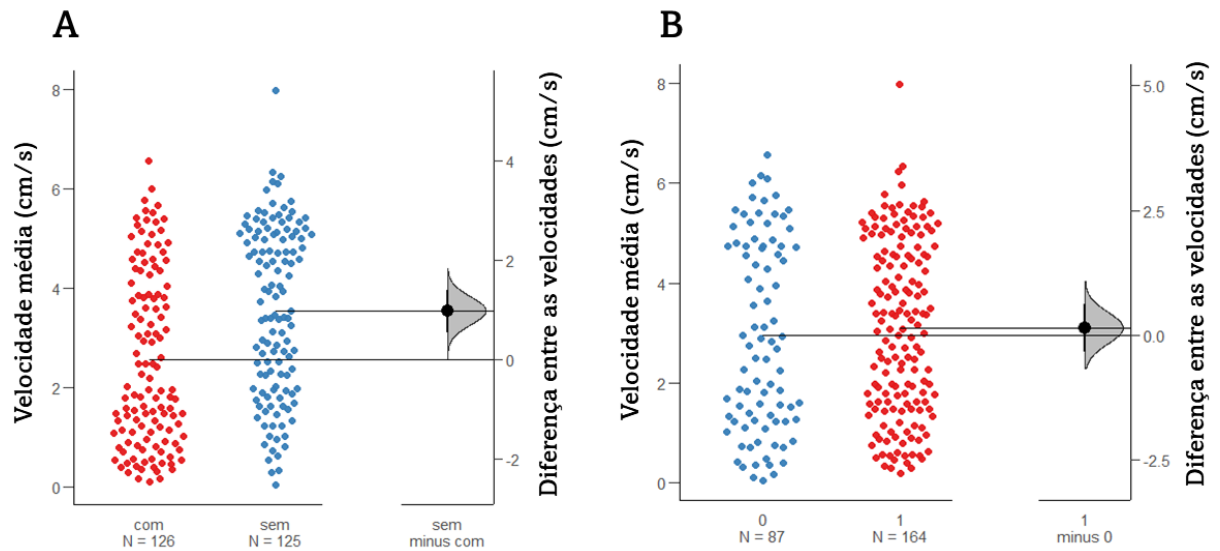
### 5.1 Locomoção

Considerando as diferentes situações de filmagem, analisando a presença de etiqueta e o imidacloprido (independente da concentração) associados concomitantemente, não houve diferença entre a distância total percorrida pelas abelhas em comparação ao grupo referência, situação de filmagem PuroxPuro (GLM – gaussian,  $P > 0,06$ ). Contudo, avaliando os fatores etiquetagem e presença de imidacloprido isoladamente, observou-se que os indivíduos sem a etiqueta eletrônica percorreram uma maior distância nas arenas de filmagem do que as abelhas com a presença de etiqueta (GLM – gaussian,  $F_{(1, 249)} = 25,46$ ;  $P < 0,01$ ) como mostrado na Figura 6A. Em relação a presença de agrotóxico, como fator isolado, não houve diferença na distância total percorrida dos indivíduos (GLM – quasipoisson,  $F_{(1, 249)} = 0,52$ ;  $P = 0,47$ ) (Figura 6B).

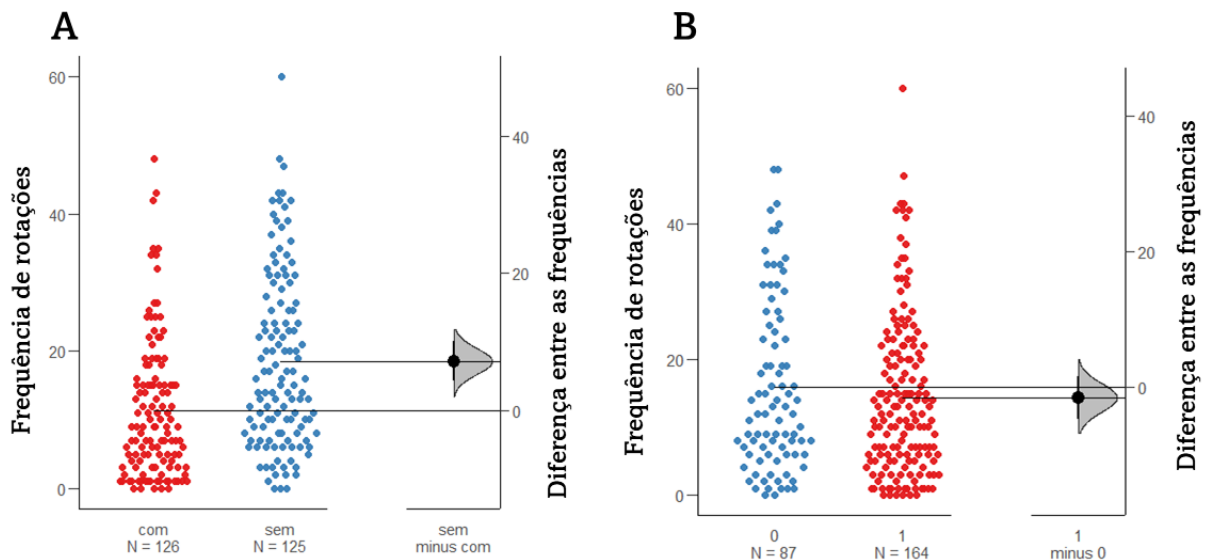


**Figura 6.** Estimativa Gardner-Altman para distância percorrida de abelhas operárias da espécie *Melipona quadrifasciata* durante dez minutos em condições laboratoriais. (A) Distância percorrida pelas abelhas com e sem etiqueta (GLM- gaussian,  $P < 0,0001$ ), independente do agrotóxico. Cada ponto vermelho representa um indivíduo com etiqueta, e os pontos azuis, os indivíduos sem etiqueta. (B) Distância percorrida pelas abelhas sem (0) e com (1) agrotóxico (GLM – quaisipoisson,  $P = 0,557$ ), independente da etiqueta. Os pontos vermelhos representam os indivíduos com acesso ao imidacloprido, e os pontos azuis, os indivíduos sem acesso ao agrotóxico. O eixo esquerdo apresenta a distância total percorrida pelos indivíduos (cm). E o eixo do lado direito mostra a diferença média da distribuição entre os dois grupos, como uma estimativa do tamanho de efeito dos grupos sobre a distância. O intervalo de confiança de 95% da média é representado pela linha vertical em negro.

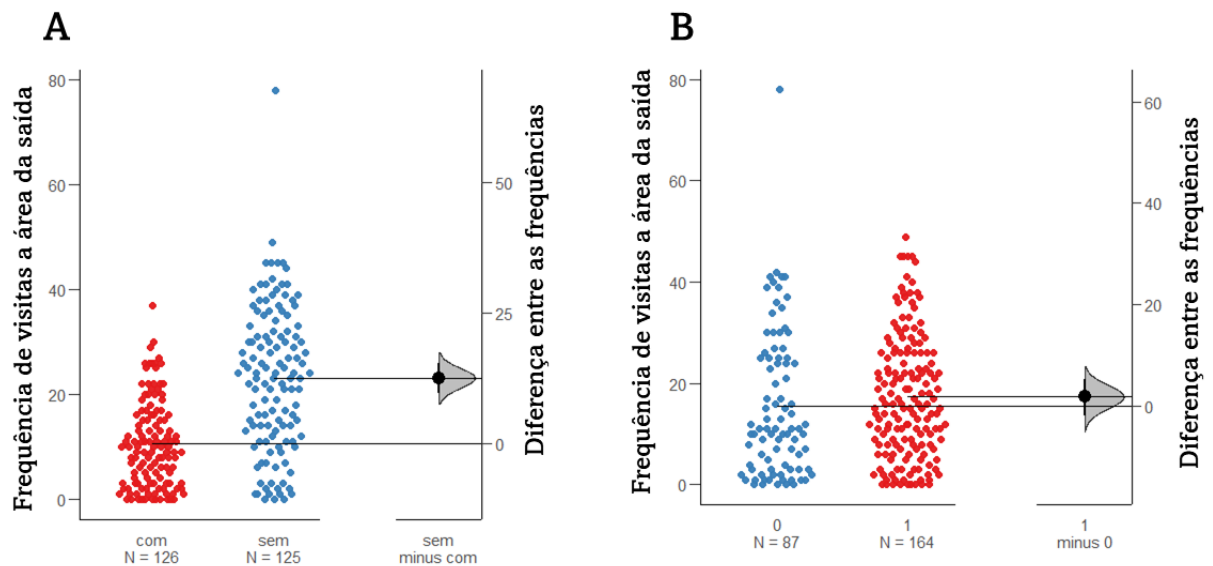
Em contrapartida, em relação à velocidade média (GLM – quasipoisson,  $P < 0,011$ ), (Figura 7), frequências de rotações (GLM – gaussian,  $P < 0,047$ ) (Figura 8) e visitas à área da saída (GLM – quasipoisson,  $P < 0,049$ ) (Figura 9) analisando a presença de etiqueta e o imidacloprido associados concomitantemente, houve diferença entre as situações de filmagem em comparação com o grupo referência (situação de filmagem PuroxPuro). Em todas essas variáveis citadas, a dispersão dos dados foi explicada pela presença da etiqueta, como fator isolado ( $P < 0,01$ ), no qual as abelhas com etiqueta eletrônica apresentaram menor velocidade média (Figura 7A) e menores frequências de rotação (Figura 8A) e visita à área de saída (Figura 9A).



**Figura 7.** Estimativa Gardner-Altman para velocidade média de abelhas operárias da espécie *Melipona quadrifasciata* durante dez minutos em condições laboratoriais. (A) Velocidade média das abelhas com e sem etiqueta (GLM – quasipoisson,  $P < 0,0001$ ), independente do agrotóxico. Cada ponto vermelho representa um indivíduo com etiqueta, e os pontos azuis, os indivíduos sem etiqueta. (B) Velocidade média das abelhas sem (0) e com (1) agrotóxico (GLM – quasipoisson,  $P = 0,556$ ), independente da etiqueta. Os pontos vermelhos representam os indivíduos com acesso ao imidacloprido, e os pontos azuis, os indivíduos sem acesso ao agrotóxico. O eixo esquerdo apresenta a velocidade média dos indivíduos (cm/s). E o eixo do lado direito mostra a diferença média da distribuição entre os dois grupos, como uma estimativa do tamanho de efeito dos grupos sobre a velocidade. O intervalo de confiança de 95% da média é representado pela linha vertical em negro.

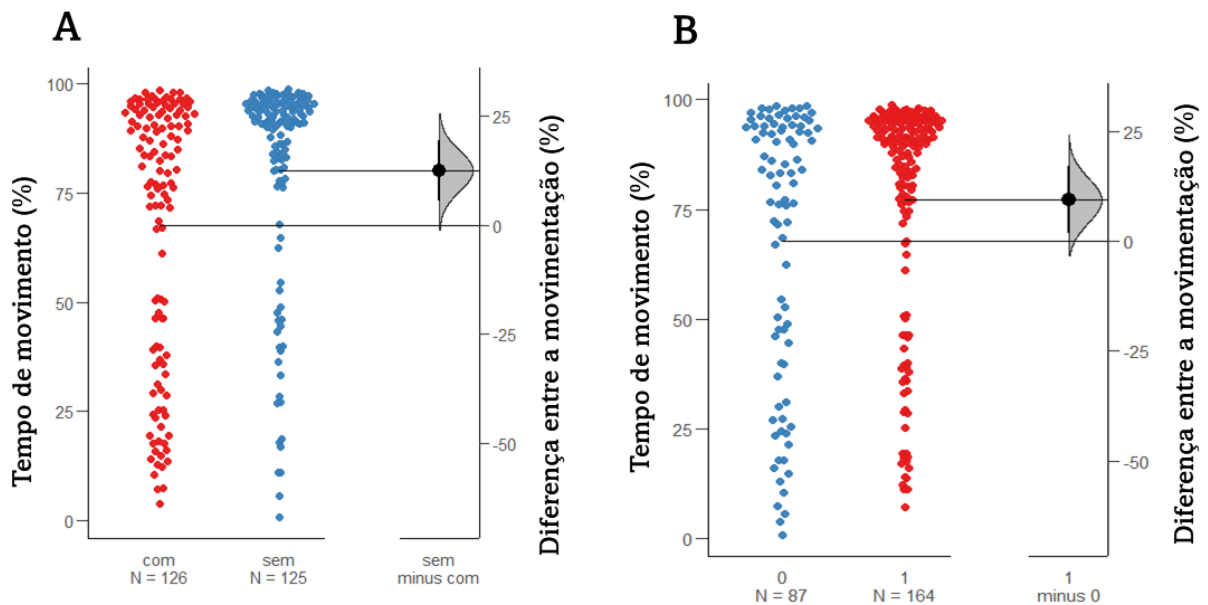


**Figura 8.** Estimativa Gardner-Altman para frequência de rotações das abelhas operárias da espécie *Melipona quadrifasciata* durante dez minutos em condições laboratoriais. (A) Frequência de rotações das abelhas com e sem etiqueta (GLM- gaussian,  $P < 0,0001$ ), independente do agrotóxico. Cada ponto vermelho representa um indivíduo com etiqueta, e os pontos azuis, os indivíduos sem etiqueta. (B) Frequência de rotações das abelhas sem (0) e com (1) agrotóxico (GLM – gaussian,  $P = 0,201$ ), independente da etiqueta. Os pontos vermelhos representam os indivíduos com acesso ao imidacloprido, e os pontos azuis, os indivíduos sem acesso ao agrotóxico. O eixo esquerdo apresenta a frequência de rotações dos indivíduos. E o eixo do lado direito mostra a diferença média da distribuição entre os dois grupos, como uma estimativa do tamanho de efeito dos grupos sobre a frequência. O intervalo de confiança de 95% da média é representado pela linha vertical em negro.



**Figura 9.** Estimativa Gardner-Altman para frequência de visitas a área de saída das abelhas operárias da espécie *Melipona quadrifasciata* durante dez minutos em condições laboratoriais. (A) Frequência de rotações das abelhas com e sem etiqueta (GLM- gaussian,  $P < 0,0001$ ), independente do agrotóxico. Cada ponto vermelho representa um indivíduo com etiqueta, e os pontos azuis, os indivíduos sem etiqueta. (B) Frequência de rotações das abelhas sem (0) e com (1) agrotóxico (GLM – gaussian,  $P = 0,201$ ), independente da etiqueta. Os pontos vermelhos representam os indivíduos com acesso ao imidacloprido, e os pontos azuis, os indivíduos sem acesso ao agrotóxico. O eixo esquerdo apresenta a frequência de rotações dos indivíduos. E o eixo do lado direito mostra a diferença média da distribuição entre os dois grupos, como uma estimativa do tamanho de efeito dos grupos sobre a frequência. O intervalo de confiança de 95% da média é representado pela linha vertical em negrito.

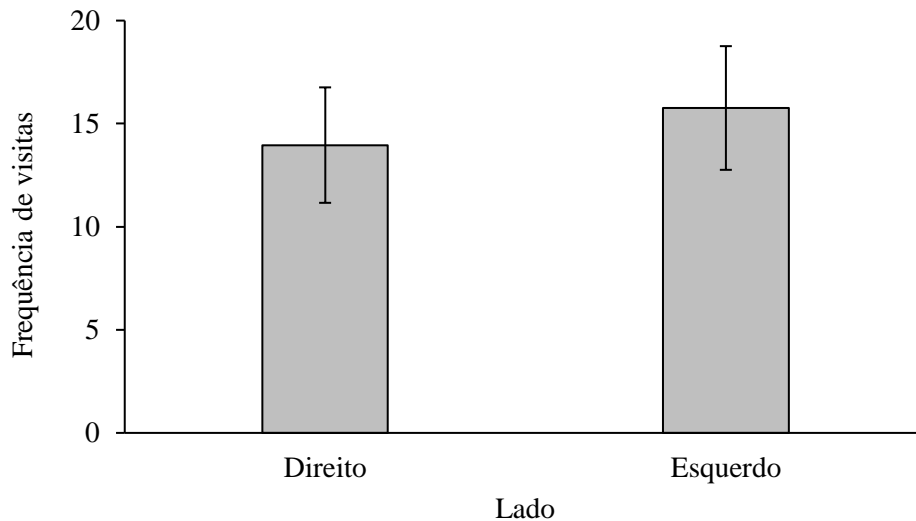
Observou-se que o tempo de movimentação foi o único parâmetro que apresentou diferença entre as situações de filmagens em relação ao grupo referência (situação de filmagem PuroxPuro), a partir da presença do agrotóxico e etiquetagem. Sendo que analisando as situações que apresentaram diferença, PPMxPPB (GLM – gaussian,  $P = 0,028$ ) e PPMxPPM (GLM – gaussian,  $P = 0,007$ ) sofreram influência do imidacloprido e da etiqueta eletrônica, e PUROxPURO (GLM – gaussian,  $P = 0,007$ ) sofreu influência apenas da etiquetagem. De forma geral, ao analisar os fatores isoladamente, a presença do agrotóxico aumentou o tempo de movimento dos indivíduos, e a etiqueta reduziu a movimentação (GLM – gaussian,  $F_{(1, 249)} = 14,5$ ;  $P < 0,001$ ) (Figura 10).



**Figura 10.** Estimativa Gardner-Altman para tempo de movimentação das abelhas operárias da espécie *Melipona quadrifasciata* durante dez minutos em condições laboratoriais. (A) Tempo de movimento das abelhas com e sem etiqueta (GLM- gaussian,  $P = 0,0003$ ). Cada ponto vermelho representa um indivíduo com etiqueta, e os pontos azuis, os indivíduos sem etiqueta. (B) Tempo de movimento das abelhas sem (0) e com (1) agrotóxico (GLM – gaussian,  $P = 0,0891$ ). Os pontos vermelhos representam os indivíduos com acesso ao imidacloprido, e os pontos azuis, os indivíduos sem acesso ao agrotóxico. O eixo esquerdo apresenta a frequência de movimento dos indivíduos (%). E o eixo do lado direito mostra a diferença média da distribuição entre os dois grupos, como uma estimativa do tamanho de efeito dos grupos sobre a frequência. O intervalo de confiança de 95% da média é representado pela linha vertical em negro.

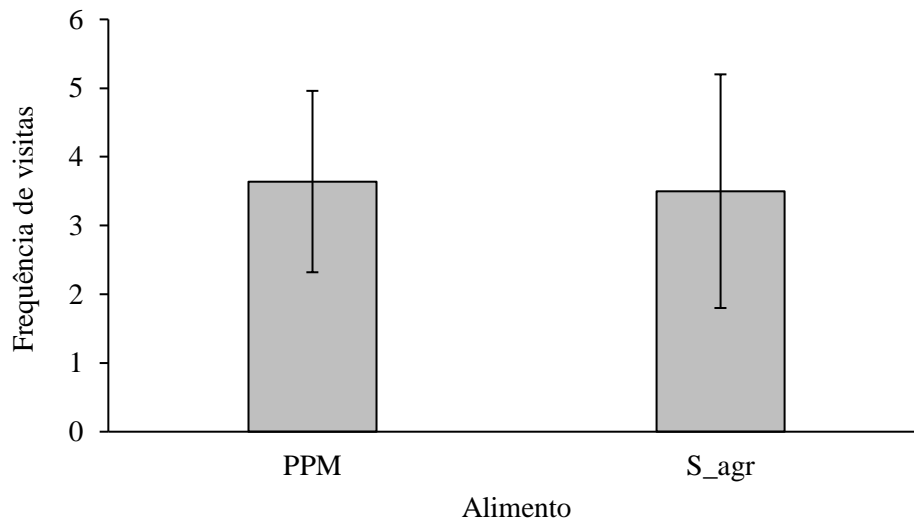
## 5.2 Repelência e preferência

Inicialmente, a fim de verificar se a luminosidade foi um fator significativo na escolha dos alimentadores pelas abelhas, foi realizada uma análise utilizando apenas os dados em que havia substâncias iguais nos dois lados. Constatou-se então que, a frequência de escolha dos alimentadores era independentemente da posição (teste de deviance,  $F_{(1, 216)} = 0,024$ ;  $P = 0,878$ ) (Figura 11), sendo assim, qualquer diferença de luminosidade entre os lados da arena e na posição dos alimentadores durante as filmagens não foram fatores de interferência. Além disso, devido ao desconhecimento se a presença do solvente poderia influenciar de alguma forma na escolha dos alimentos pelas abelhas, foi realizada uma análise utilizando apenas os dados em que havia presença de alimento puro (xarope 50%) e alimento com solvente (xarope 50% + solvente orgânico). Os resultados mostraram que esse também não foi um fator de influência na frequência de visitação dos alimentos pelos indivíduos (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 70)} = 0,731$ ;  $P = 0,395$ ) e número de revisitas aos alimentadores, (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 216)} = 0,163$ ;  $P = 0,688$ ), de modo que não houve diferença na escolha entre os lados.

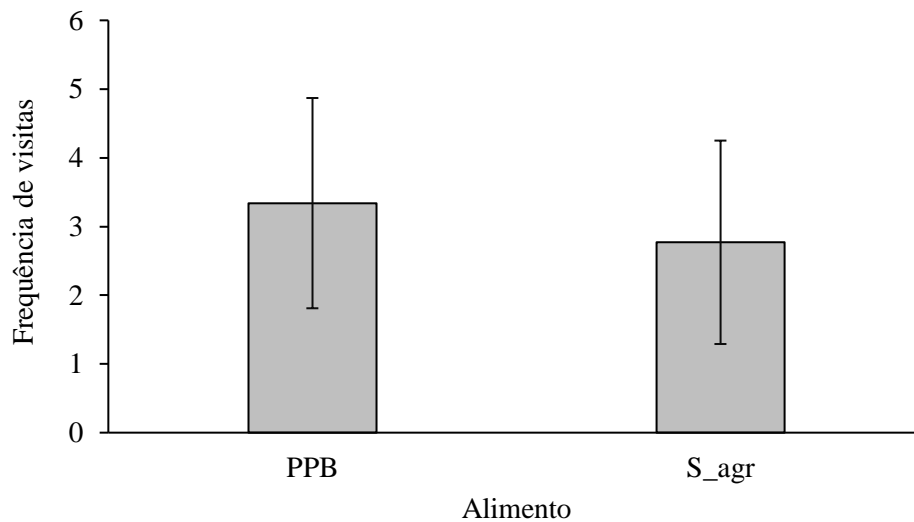


**Figura 11.** Frequência de visitas de *M. quadrifasciata* aos alimentos presentes na arena de filmagem no lado direito e esquerdo (média ± intervalo de confiança).

Tendo conhecimento de que a luminosidade e o solvente orgânico não foram fatores que influenciaram na preferência das abelhas aos alimentadores, a substância “solvente” foi considerada como ausência de agrotóxico na análise fatorial, e apenas a preferência pelo alimento foi levado em consideração, excluindo a possível propensão de escolha aos lados mais luminosos. Considerando as situações contendo apenas alimentadores sem a presença de agrotóxico, observou-se que abelhas com etiqueta tiveram um número de visitação duas vezes menor aos alimentadores que as abelhas sem etiqueta (GLM – quasipoisson,  $F_{(1,69)}=14,034$ ;  $P < 0,01$ ). Verificou-se então que de forma geral, sem levar em consideração a presença da etiqueta eletrônica, não houve diferença na frequência de visitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido 10 ppm (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 70)} = 0,017$ ;  $P = 0,897$ , Figura 12) e 10 ppb (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 68)} = 0,514$ ;  $P = 0,476$ ) (Figura 13) em relação ao alimento sem agrotóxico. Em relação ao tempo de permanência em cada alimentador, as abelhas se mantiveram por tempo (s) semelhante nos alimentadores contendo alimento com imidacloprido 10 ppm e sem agrotóxico (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 70)} = 2,38$ ;  $P = 0,127$ ) (Figura 12). Mas levando em consideração os alimentos sem agrotóxico e contaminados com 10 ppb, houve diferença no tempo de permanência nos alimentadores, de modo que as abelhas permaneceram mais tempo no alimento contaminado (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 68)} = 4,181$ ;  $P = 0,044$ ) (Figura 13).



**Figura 12.** Frequência de visitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S\_agr) (média ± intervalo de confiança).

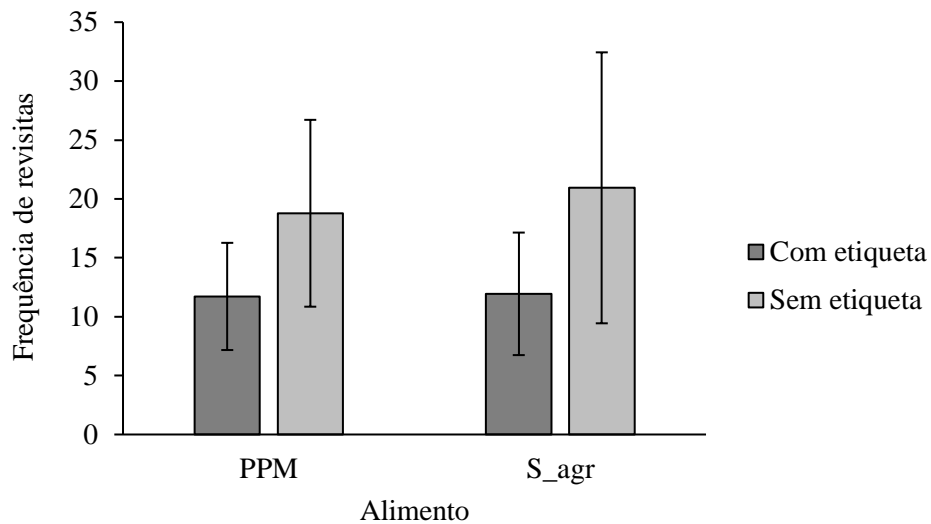


**Figura 13.** Frequência de visitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppb) e sem agrotóxico (S\_agr) (média ± intervalo de confiança).

Em relação a influência da presença de etiqueta, observou-se que esse não é fator significativo nas visitas ao alimento contaminado com imidacloprido 10 ppm, de modo que as abelhas com (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 66)} = 1,689$ ;  $P = 0,198$ ) e sem etiqueta (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 70)} = 0,017$ ;  $P = 0,896$ ) apresentaram frequências de visitas semelhantes. Porém, a presença da etiqueta reduziu as revisitas ao alimentor (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 69)} = 4,7613$ ;  $P = 0,033$ ) (Figura 14). Em contrapartida, os alimentos contaminados com imidacloprido 10 ppb não apresentaram diferença na frequência de visitas (GLM -

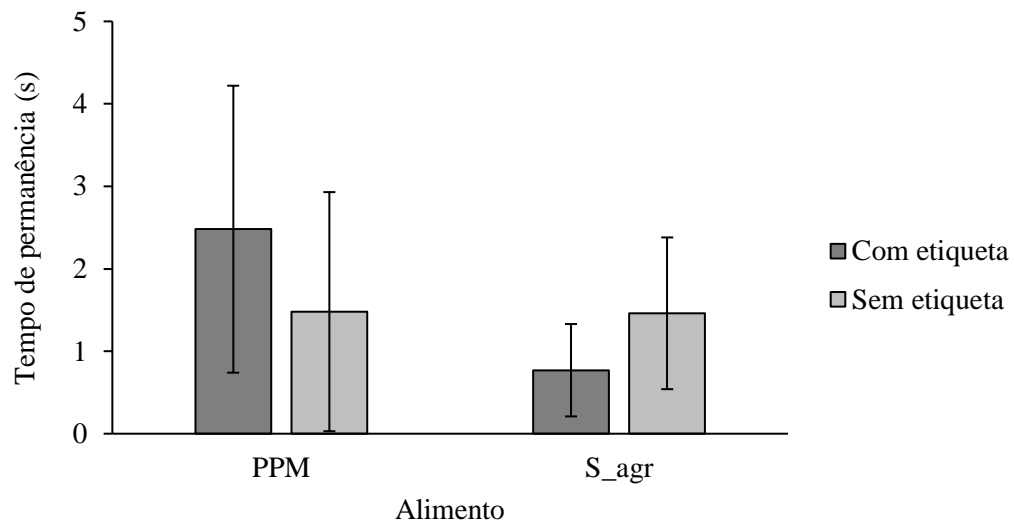


quasipoisson,  $F_{(1, 67)} = 0,25557$ ;  $P = 0,615$ ) e revisitas (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 67)} = 3,157$ ;  $P = 0,080$ ) das abelhas.

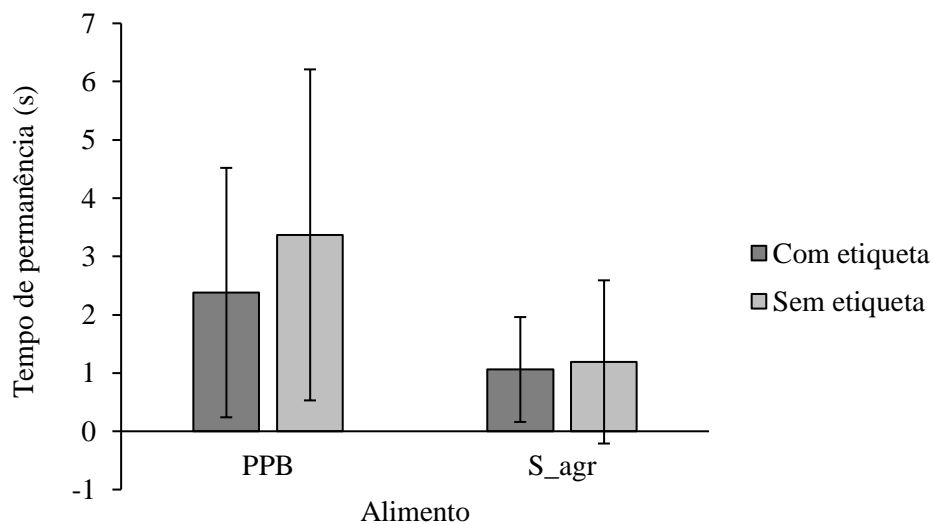


**Figura 14.** Frequência de revisitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S\_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média  $\pm$  intervalo de confiança).

Além disso, a presença da etiqueta também não foi um fator de interferência no tempo de permanência das abelhas nos alimentadores com imidacloprido 10 ppm (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 69)} = 0,085$ ;  $P = 0,771$ ) (Figura 15). Em relação ao alimento contendo imidacloprido 10 ppb (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 67)} = 0,453$ ;  $P = 0,503$ ) (Figura 16) aos alimentadores sem agrotóxico, percebeu-se que a etiqueta eletrônica também não foi um fator de interferência.



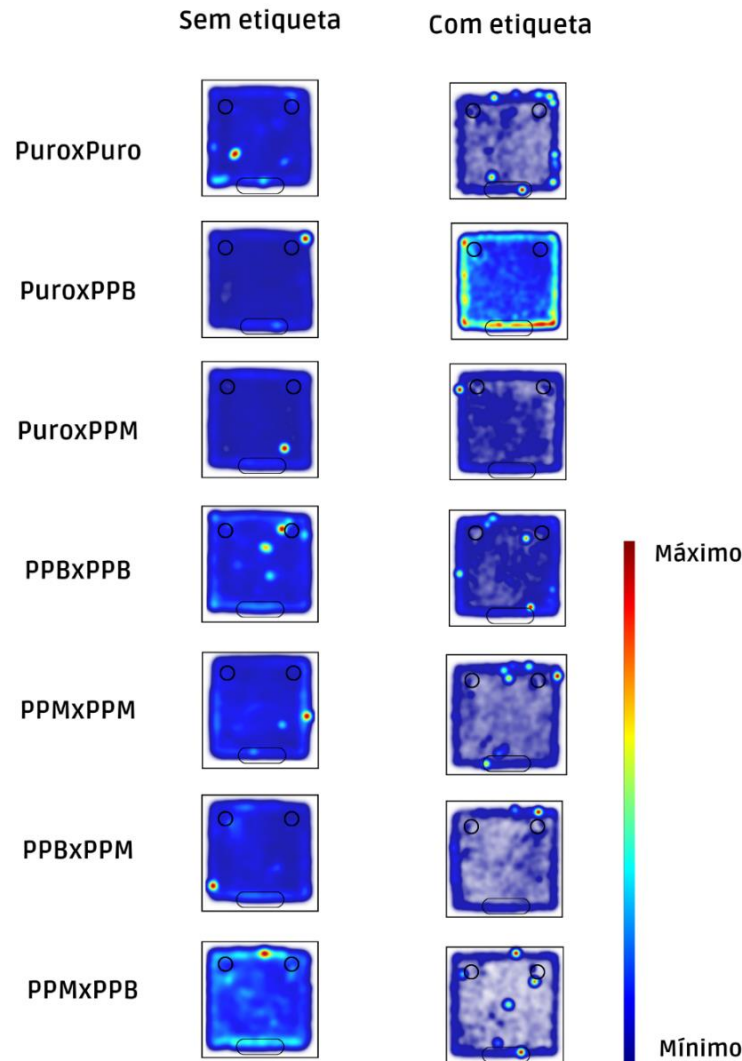
**Figura 15.** Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm) e sem agrotóxico (S\_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média  $\pm$  intervalo de confiança).



**Figura 16.** Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppb) e sem agrotóxico (S\_agr), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média  $\pm$  intervalo de confiança).

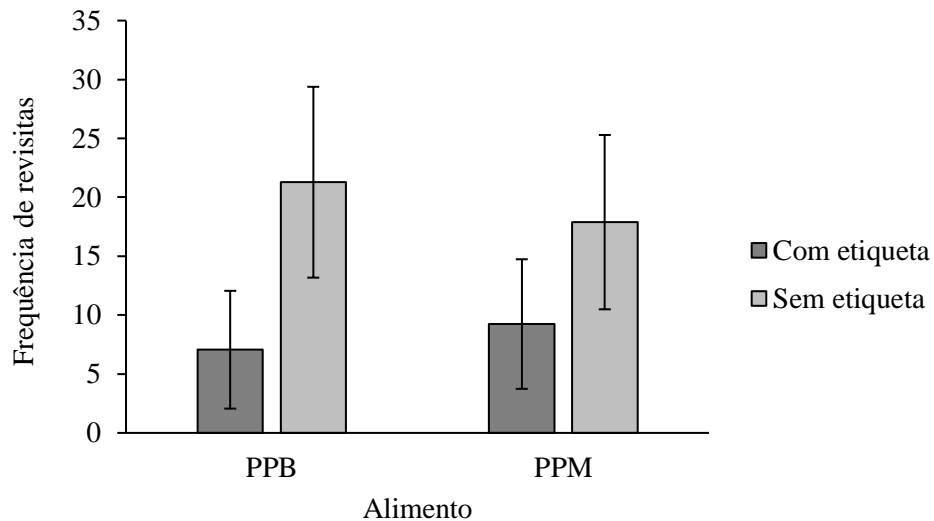
Além disso, por meio da observação do etograma (Figura 17), pode-se notar que em diversas situações os indivíduos com a presença da etiqueta não visitaram toda a extensão ou a maior parte da área da arena, se comparadas aos indivíduos sem a etiqueta. Os indivíduos sem etiqueta apresentaram poucos pontos de permanência (notados pela coloração amarela a vermelha no etograma), indicando maior movimentação ao longo do tempo de filmagem como

observado nos dados quantitativos, enquanto no etograma dos indivíduos com etiqueta, nota-se maior número de pontos de permanência.



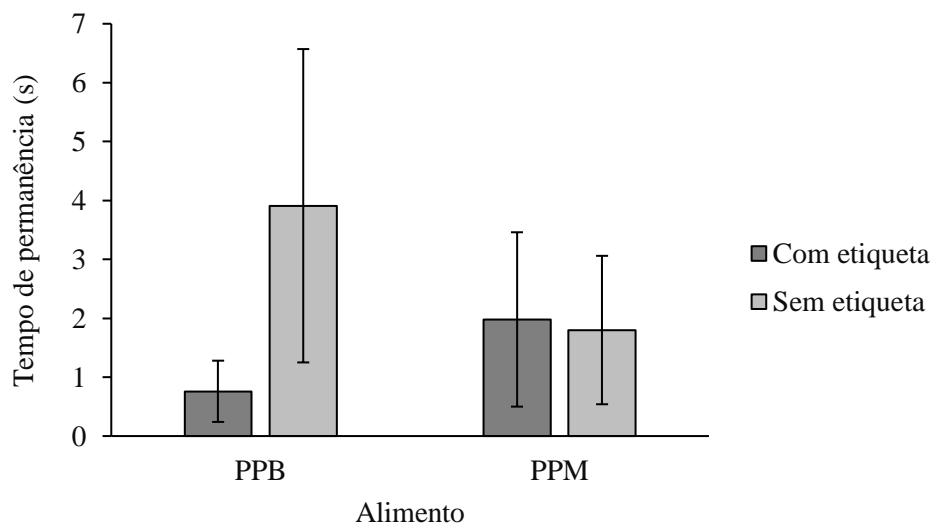
**Figura 17.** Etograma de *Melipona quadrifasciata* para as diferentes situações de exposição (Puro – solução de sacarose 50% m/v; PPM – alimento contendo imidacloprido 10 ppm; PPB – alimento contendo imidacloprido 10 ppb). Padrão de caminhada das abelhas e frequência de sua posição na arena ao longo do tempo ( $t = 10$  min). Os círculos correspondem aos alimentadores, e a forma oval à área da saída. As áreas esbranquiçadas das arenas correspondem aos locais que não tiveram visita.

Ademais, quando as concentrações 10 ppm e 10 ppb foram disponibilizadas simultaneamente para as abelhas, não houve diferença na frequência de visitas (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 68)} = 0,011$ ;  $P = 0,919$ ) e revisitas (GLM - binomial negativo,  $P = 0,903$ ) entre elas, indicando que os indivíduos de *Melipona quadrifasciata* não foram capazes de identificar a diferença entre as concentrações. Porém, a presença da etiqueta eletrônica reduziu a frequência de revisitas aos alimentadores (GLM - binomial negativo,  $P = 0,003$ ) (Figura 18).



**Figura 18.** Frequência de revisitas aos alimentadores contendo alimento com imidacloprido (10 ppm e 10 ppb), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média  $\pm$  intervalo de confiança).

Em relação ao tempo de permanência nos alimentadores, as abelhas se mantiveram por tempo (s) semelhante nos alimentos contendo as diferentes concentrações de imidacloprido. Porém, houve interação entre a presença do agrotóxico e da etiqueta eletrônica (GLM - quasipoisson,  $F_{(1, 64)} = 5,099$ ;  $P = 0,027$ ), de modo que a interação entre a concentração 10 ppb e a presença da etiqueta de RFID reduziu o tempo de permanência das abelhas nos alimentadores (Figura 19).



**Figura 19.** Tempo de permanência nos alimentadores contendo alimento com as diferentes concentrações de imidacloprido (10 ppb e 10 ppm), comparando abelhas com a presença e ausência de etiqueta RFID (média  $\pm$  intervalo de confiança).

## 6. DISCUSSÃO

A locomoção das abelhas *Melipona quadrifasciata* foi influenciada pela presença da etiqueta eletrônica de RFID, reduzindo a locomoção (distância percorrida, velocidade média, tempo de movimento, frequências de rotações e de visitas à área da saída). A diminuição desses fatores pode ser justificada devido à adição de um peso à abelha, como já apontado por outros pesquisadores, como uma das desvantagens do sistema RFID (AYUP et al., 2021; SOUZA et al., 2018; SUSANTO et al., 2018), além de efeitos tardios relacionados ao estresse gerado durante a fixação da etiqueta (SOUZA et al., 2018; SUSANTO et al., 2018), os quais foram minimizados no presente trabalho devido aos métodos de fixação e cola natural utilizada (TOPPA et al., 2021).

Em outro inseto, o peso adicional da etiqueta de RFID também se apresentou como um fator de interferência na movimentação do mesmo. Em um estudo com grilos adultos (*Gryllus locorojo*), Kaláb et al. (2021) mostrou que o peso de etiquetas de monitoramento interfere no movimento dos indivíduos. Apesar do estudo ter sido realizado com uma espécie diferente de inseto do presente trabalho, os pesquisadores mostraram que a influência do peso da etiqueta está fortemente relacionada a temperatura, de modo que em baixas temperaturas ( $19,5^{\circ}\text{C}\pm 0,4$ ) havia influência negativa, enquanto em temperaturas intermediárias ( $24,0^{\circ}\text{C}\pm 0,4$ ) e altas ( $28,3^{\circ}\text{C}\pm 0,3$ ) dois dos três modelos de etiquetas não afetaram o movimento dos indivíduos. Porém, o efeito da temperatura associada ao RFID em abelhas ainda não é conhecido. Sabendo que no presente trabalho, as avaliações foram realizadas em temperaturas intermediárias de 24-25°C, estudos futuros são necessários para avaliar a movimentação das abelhas etiquetadas em diferentes temperaturas.

No presente estudo, a avaliação dos efeitos da etiqueta foi observada após cerca de 18h da fixação, um tempo menor de aclimatação pós colagem da etiqueta que os efeitos observados por outros estudos, onde a análise das etiquetas RFID foi realizada após 24h, repetindo-se diariamente (24h em 24h) (TOPPA et al., 2021), e durante 3 dias após a fixação (KALÁB et al., 2021). Levando em consideração que os efeitos da presença da etiqueta eletrônica podem ser diferentes ao longo dos dias após a fixação, estudos futuros em relação aos efeitos após a fixação podem mostrar o comportamento das abelhas em relação ao RFID, podendo haver adaptação ou estresse.

Além disso, conforme mostrado no estudo de Toppa et al. (2021), em condições laboratoriais, abelhas com etiqueta eletrônica apresentaram um estoque de glicogênio nos músculos de voo maior que abelhas sem a etiqueta. Os autores sugerem que esse acúmulo pode

indicar uma redução na atividade de voo das abelhas, o que corrobora com a redução de movimentação das abelhas etiquetadas observada no presente estudo.

Contudo, a redução da locomoção causada pelas etiquetas eletrônicas de RFID pode não ser um fator de interferência nas atividades de forrageamento das abelhas a longo prazo e dentro de uma colônia, Nunes-Silva et al. (2020) observou voo e retorno de longas distâncias de *Melipona fasciculata*, demonstrando que há possibilidade do RFID não interferir nas atividades de forrageamento da colônia, e Toppa et al. (em preparação) observou indivíduos de *M. quadrifasciata* com etiquetas eletrônicas retornando à colônia com grãos de pólen. Porém mais pesquisas são necessárias para avaliar se as alterações observadas no presente trabalho podem prejudicar outras atividades da colônia.

Além disso, constatou-se que o tempo de movimento foi o único fator da locomoção que sofreu aumento na presença do agrotóxico, o que corrobora com o que há publicado na literatura a respeito dos efeitos do imidacloprido em abelhas, *Apis mellifera*, onde há indução do aumento e alteração da atividade motora dos indivíduos (LAMBIN et al., 2001; SCHNEIDER et al., 2012). Sabendo que os neonicotinóides afetam o sistema nervoso central do inseto, através da ligação aos receptores de acetilcolina pós-sináptica, o que causa superestimulação, paralisia e morte (TOMIZAWA; CASIDA, 2005), o aumento na movimentação pode ser em decorrência da ação inicial do imidacloprido, causando superestimulação nos indivíduos poucos minutos após a ingestão do inseticida.

Em contrapartida, estudos com observação de tempo maior após a exposição ao imidacloprido, mostraram outras alterações comportamentais, como redução na distância percorrida e velocidade dos adultos de *M. quadrifasciata* expostos durante a fase larval (TOMÉ et al., 2012) e após 3 e 24h da exposição ao adulto (TOMÉ et al., 2015). Sendo assim, o tempo de observação após a exposição do presente trabalho, além da exposição simultânea, pode ter sido um baixo intervalo para detecção de grandes alterações comportamentais tardias causadas pelo agrotóxico, visto que a maioria dos estudos relacionados aos efeitos de agrotóxicos em abelhas são realizadas com um intervalo maior entre a exposição e a avaliação comportamental (MALONE et al., 2002; TADEI; MENEZES-OLIVEIRA; SILVA-ZACARIN, 2020; TOMÉ et al., 2012, 2015).

Durante as atividades de forrageio, as abelhas podem coletar recursos com e sem resíduos de agrotóxicos (PILLING et al., 2013), de modo que pode haver mudanças na eficiência do forrageamento das abelhas expostas aos agrotóxicos, como o inseticida imidacloprido (FELTHAM; PARK; GOULSON, 2014). Estudos anteriores mostrando a preferência das abelhas aos recursos alimentares contendo neonicotinóide ressaltam o cenário

preocupante da exposição das abelhas a esses agrotóxicos (ARCE et al., 2018; KESSLER et al., 2015). Apesar de no presente estudo não ter sido observada essa preferência imediata ao alimento contendo imidacloprido nas concentrações de 10 ppm e 10 ppb, a preferência aos neonicotinóides foi mostrada por Kessler et al. (2015) após 24 horas de exposição contínua e Arce et al. (2018) também sugere que esse aumento de visitas ao alimento contendo neonicotinóide ocorre ao longo do tempo. Sendo assim, a resposta imediata pode não ter sido observada, mas a falta de capacidade de identificação e preferência das abelhas pode estar relacionada aos efeitos dos neonicotinóides, devido à dificuldade da aprendizagem e memória olfativa (DECOURTYE et al., 2004, 2004; DECOURTYE; DEVILLERS, 2010; WILLIAMSON; WRIGHT, 2013), além disso, são necessários mais estudos relacionados a essas respostas, pois os resultados que demonstraram esses efeitos foram em decorrência de uma exposição crônica, não levando em consideração a resposta imediata dos indivíduos.

Considerando a influência da presença da etiqueta eletrônica na escolha do recurso alimentar, constatou-se a redução na frequência de revisitas aos alimentos contaminados e sem agrotóxico, reforçando a alteração de padrões comportamentais causada pela presença da etiqueta. Uma possível justificativa para essas variações na frequência de visitação aos alimentos seria a interferência da etiqueta na locomoção das abelhas (AYUP et al., 2021; DE SOUZA et al., 2018; NUNES-SILVA et al., 2020), de modo que o aumento ou redução na frequência de visita ou revisita e tempo de permanência nos alimentadores pode variar conforme a locomoção.

Portanto, apesar dessas variações, observa-se que a presença da etiqueta não é um fator de interferência em diversos cenários de exposição em situações de campo e a longo prazo considerando as atividades da colônia, demonstrando que o RFID ainda se mostra uma tecnologia útil em estudos comportamentais, inclusive em pesquisas relacionadas a análises do efeito de agrotóxicos em abelhas (DECOURTYE et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2012). No entanto, estudos a respeito dos efeitos das etiquetas são essenciais, para que em trabalhos como os citados, se tenha o conhecimento dos efeitos do agrotóxico e da presença da etiqueta.

Porém, o presente estudo foi o primeiro a explorar a influência da tecnologia RFID na capacidade imediata de abelha nativa sem ferrão em identificar e possivelmente repelir ou ter preferência por alimentos contaminados com neonicotinóides. O que abre portas para novos questionamentos e problemáticas na área, além de contribuir para o preenchimento de lacunas a respeito do tema.

## 7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pelo processamento de vídeo-tracking realizados em condições laboratoriais com *M. quadrifasciata*, a espécie não apresentou a capacidade imediata de identificar alimentos contaminados com imidacloprido em alta e baixa concentração, e possivelmente evitar esses alimentos. Indicando a ausência de repelência ao alimento contaminado com neonicotinóide.

Além do que, a presença da etiqueta eletrônica de RFID não é um fator que interfere na capacidade de identificação e evitamento de alimentos contaminados com o inseticida imidacloprido, porém interfere na locomoção (distância total percorrida, velocidade média, frequências de rotações e visitas à área da saída, e tempo de movimentação), frequência aos alimentadores e exploração da área da arena, mas esse não é um fator intensificador em relação aos agrotóxicos durante o período de análise. E a presença do imidacloprido interferiu em apenas um dos parâmetros de locomoção, tempo de movimento, aumentando o mesmo, ao contrário da etiqueta, que reduziu a movimentação.

Ademais, os resultados encontrados confrontam a hipótese inicial do presente trabalho, de modo que as abelhas nativas sem ferrão *M. quadrifasciata* não possuem a capacidade imediata de repelência ao imidacloprido em condições *in vitro*.



## REFERÊNCIAS

ALKASSAB, A. T.; KIRCHNER, W. H. Sublethal exposure to neonicotinoids and related side effects on insect pollinators: honeybees, bumblebees, and solitary bees. **Journal of Plant Diseases and Protection** **2016 124:1**, v. 124, n. 1, p. 1–30, 15 set. 2016.

ANTONINI, Y.; COSTA, R. G.; MARTINS, R. P. Floral preferences of a neotropical stingless bee, *Melipona quadrifasciata* Lepageletier (Apidae: Meliponina) in an urban forest fragment. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 2 A, p. 463–471, 2006.

ARCE, A. N. et al. Foraging bumblebees acquire a preference for neonicotinoid-treated food with prolonged exposure. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1885, 2018.

AYUP, M. M. et al. Analysis of honeybee drone activity during the mating season in northwestern argentina. **Insects**, v. 12, n. 6, 1 jun. 2021.

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** **2019 9:1**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 24 set. 2019.

BARLOW, S. E.; O'NEILL, M. A.; PAVLIK, B. M. A prototype RFID tag for detecting bumblebee visitations within fragmented landscapes. **Journal of Biological Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1–6, 7 fev. 2019.

BARNETT, E. A.; CHARLTON, A. J.; FLETCHER, M. R. Incidents of bee poisoning with pesticides in the United Kingdom, 1994-2003. **Pest Management Science**, v. 63, n. 11, p. 1051–1057, nov. 2007.

BECHER, M. A.; MORITZ, R. F. A. A new device for continuous temperature measurement in brood cells of honeybees (*Apis mellifera*). **Apidologie**, v. 40, n. 5, p. 577–584, 1 set. 2009.

BIESMEIJER, J. C.; SLAA, E. J. The structure of eusocial bee assemblages in Brazil. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 240–258, 1 mar. 2006.

BORTOLOTTI, L. et al. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. **Bulletin of Insectology**, v. 56, n. 1, p. 63–67, 2003.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. . 31 ago. 1981, p. 1–23.

CAMUSSO, D.; SANTOS, J. R. DOS; VIAGI, A. F. Environmental monitoring based on Internet of Things technology for small poultry farmers. **Brazilian Journal of Development** , v. 7, n. 5, 2021.

CARDINAL, S.; DANFORTH, B. N. The Antiquity and Evolutionary History of Social Behavior in Bees. **PLOS ONE**, v. 6, n. 6, p. e21086, 2011.

CHAM, K. DE O. et al. **Manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos para abelhas**. 2. ed. [s.l: s.n.].

CHAUZAT, M. P. et al. A Survey of Pesticide Residues in Pollen Loads Collected by Honey Bees in France. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, n. 2, p. 253–262, 1 abr. 2006.

CHRISTOPHER CUTLER, G. 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. 2014, n. 1, p. e652, 30 out. 2014.

CLARIDGE-CHANG, A.; ASSAM, P. N. Estimation statistics should replace significance testing. **Nature Methods** 2016 **13:2**, v. 13, n. 2, p. 108–109, 28 jan. 2016.

COLIN, T. et al. Evaluating the foraging performance of individual honey bees in different environments with automated field RFID systems. **Ecosphere**, v. 13, n. 5, p. e4088, 1 maio 2022.

CRUZ, D.; CRUZ, D. DE O.; CAMPOS, A. DE O. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 15, p. 1–4, 2009.

D'AVILA, M.; MARCHINI, L. C. Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil | Boletim de Indústria Animal. **Boletim de Indústria Animal**, 2005.

DECOURTYE, A. et al. Imidacloprid impairs memory and brain metabolism in the honeybee (*Apis mellifera L.*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 78, n. 2, p. 83–92, 1 fev. 2004.

DECOURTYE, A. et al. Honeybee tracking with microchips: A new methodology to measure the effects of pesticides. **Ecotoxicology**, v. 20, n. 2, p. 429–437, 26 mar. 2011.

DECOURTYE, A.; DEVILLERS, J. Ecotoxicity of neonicotinoid insecticides to bees BT - Insect Nicotinic Acetylcholine Receptors. **Insect Nicotinic Acetylcholine Receptors**, v. 683, n. Chapter 8, p. 85–95, 2010.

DEL SARTO, M. C. L. et al. Differential insecticide susceptibility of the Neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera*. **Apidologie**, v. 45, n. 5, p. 626–636, 13 mar. 2014.

DEVILLERS, J.; PHAM-DELEGUE, M.-H. **Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals**. London: Taylor & Francis, 2002.

EFSA. Statement on the findings in recent studies investigating sub-lethal effects in bees of some neonicotinoids in consideration of the uses currently authorised in Europe. **EFSA Journal**, v. 10, n. 6, 1 jun. 2012.

EPA. **T-REX Version 1.5 User’s Guide for Calculating Pesticide Residues on Avian and Mammalian Food Items** . Disponível em: <<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/t-rex-version-15-users-guide-calculating-pesticide>>. Acesso em: 3 jul. 2022.

EPA. **Models for Pesticide Risk Assessment**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/models-pesticide-risk-assessment>>. Acesso em: 3 jul. 2022.

FAO, (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **Conservation and Management of Pollinators for Sustainable Agriculture** . Disponível em: <<https://www.fao.org/pollination/projects/conservation-and-management-of-pollination-for-sustainable-agriculture/en/>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

FELTHAM, H.; PARK, K.; GOULSON, D. Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. **Ecotoxicology**, v. 23, n. 3, p. 317–323, 22 jan. 2014.

FREITAS, B. M. et al. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, v. 40, n. 3, p. 332–346, 1 maio 2009.

FREITAS, P. V. D. X. DE et al. Declínio populacional das abelhas polinizadoras : Revisão. **Pubvet**, n. 11, p. 1–10, 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, 1 jun. 2015.

GIANNINI, T. C. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182274, 1 ago. 2017.

GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. **Nature** **2012 491:7422**, v. 491, n. 7422, p. 105–108, 21 out. 2012.

GIROLAMI, V. et al. Translocation of Neonicotinoid Insecticides From Coated Seeds to Seedling Guttation Drops: A Novel Way of Intoxication for Bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 5, p. 1808–1815, 1 out. 2009.

GIURFA, M. Cognitive neuroethology: dissecting non-elemental learning in a honeybee brain. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 13, n. 6, p. 726–735, 1 dez. 2003.

GOMES, P. A. B. et al. An Amazon stingless bee foraging activity predicted using recurrent artificial neural networks and attribute selection. **Scientific Reports** **2020 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 8 jan. 2020.

GOTTEMS, L. **Preço do Imidacloprido deve seguir em menor patamar**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/preco-do-imidacloprido-deve-seguir-em-menor-patamar\\_443039.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/preco-do-imidacloprido-deve-seguir-em-menor-patamar_443039.html)>. Acesso em: 30 jul. 2022.

GOULSON, D. et al. Bee declines driven by combined Stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 6229, 27 mar. 2015.

HITACHI CHEMICAL. **IM5-PK2525 Specification UHF RFID Ultra Small Package Tag**. Disponível em: <[https://www.eu.showadenko.com/PDF%20files/im5\\_pk2525.pdf](https://www.eu.showadenko.com/PDF%20files/im5_pk2525.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2022.

HO, J. et al. Moving beyond P values: data analysis with estimation graphics. **Nature Methods** **2019 16:7**, v. 16, n. 7, p. 565–566, 19 jun. 2019.

HUMAN, H. et al. Miscellaneous standard methods for *Apis mellifera* research. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.10>, v. 52, n. 4, p. 1–53, 2015.

- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. et al. Abelhas e Desenvolvimento . **Mensagem Doce**, v. 80, p. 1–13, 2014.
- JACOB, C. R. DE O. et al. The impact of four widely used neonicotinoid insecticides on *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Apidae). **Chemosphere**, v. 224, p. 65–70, 1 jun. 2019.
- JESCHKE, P.; NAUEN, R. Neonicotinoids - From zero to hero in insecticide chemistry. **Pest Management Science**, v. 64, n. 11, p. 1084–1098, nov. 2008.
- JIANG, X. et al. The Effect of Neonicotinoid Insecticide and Fungicide on Sugar Responsiveness and Orientation Behavior of Honey Bee (*Apis mellifera*) in Semi-Field Conditions. **Insects**, v. 9, n. 4, 29 set. 2018.
- KALÁB, O. et al. Estimating the effect of tracking tag weight on insect movement using video analysis: A case study with a flightless orthopteran. **PLOS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0255117, 1 jul. 2021.
- KERR, W. E. et al. Aspectos pouco mencionados da biodiversidade amazônica. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, 2001.
- KESSLER, S. C. et al. Bees prefer foods containing neonicotinoid pesticides. **Nature** **2015** **521:7550**, v. 521, n. 7550, p. 74–76, 22 abr. 2015.
- KLEMAS, V. V. Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. **Journal of Coastal Research**, v. 31, n. 5, p. 1260–1267, 1 set. 2015.
- KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; THORP, R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, n. 26, p. 16812–16816, 24 dez. 2002.
- KRUG, L. A. et al. Ocean surface partitioning strategies using ocean colour remote Sensing: A review. **Progress in Oceanography**, v. 155, p. 41–53, 1 jun. 2017.
- KRUPKE, C. H. et al. Multiple Routes of Pesticide Exposure for Honey Bees Living Near Agricultural Fields. **PLOS ONE**, v. 7, n. 1, p. e29268, 3 jan. 2012.

- LAMBIN, M. et al. Imidacloprid-induced facilitation of the proboscis extension reflex habituation in the honeybee. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 48, n. 3, p. 129–134, nov. 2001.
- LARSON, N. R.; ANDERSON, T. D. Video Tracking Protocol to Screen Deterrent Chemistries for Honey Bees. **Journal of Visualized Experiments**, v. 2017, n. 124, 12 jun. 2017.
- LAURENT, F. M.; RATHAHAO, E. Distribution of [14C] Imidacloprid in Sunflowers (*Helianthus annuus* L.) following Seed Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, 31 dez. 2003.
- LIMA, M. A. P. et al. Agrochemical-induced stress in stingless bees: peculiarities, underlying basis, and challenges. **Journal of Comparative Physiology A** 2016 202:9, v. 202, n. 9, p. 733–747, 11 jul. 2016.
- LOPES, L. G. DO N.; SILVA, A. G. DA; LIMA, V. A. **Distribuição geográfica conhecida e potencial de *Melipona quadrifasciata***. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. v. 2
- LUZ, C. F. P. et al. Floral resources and risk of exposure to pesticides for *Melipona quadrifasciata* anthidioides Lepeletier 1836 in a Cerrado of São Paulo (Brazil). <https://doi.org/10.1080/00173134.2018.1433716>, v. 57, n. 5, p. 377–400, 3 set. 2018.
- MALONE, L. A. et al. Effects of ingestion of a biotin-binding protein on adult and larval honey bees. **Apidologie**, v. 33, n. 5, p. 447–458, 1 set. 2002.
- MAPA. AGROFIT: Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em 03 mai. 2021.
- MASCANZONI, D.; WALLIN, H. The harmonic radar: a new method of tracing insects in the field. **Ecological Entomology**, v. 11, n. 4, p. 387–390, 1 nov. 1986.
- MEDRZYCKI, P. et al. Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory tests. **Bulletin of Insectology**, v. 56, n. 1, p. 59–62, 2003.
- MONNIN, T.; PEETERS, C. Dominance hierarchy and reproductive conflicts among subordinates in a monogynous queenless ant. **Behavioral Ecology**, v. 10, n. 3, p. 323–332, 1 maio 1999.

- MOOBS, P. G. The brain of the honeybee *Apis mellifera*. I. The connections and spatial organization of the mushroom bodies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 298, n. 1091, p. 309–354, 27 jul. 1982.
- MORAL, R. A.; HINDE, J.; DEMÉTRIO, C. G. B. Half-Normal Plots and Overdispersed Models in R: The hnp Package. **Journal of Statistical Software**, v. 81, p. 1–23, 13 nov. 2017.
- MOREAU, M. et al. Use of radio-tagging to map spatial organization and social interactions in insects. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 1, p. 17–21, 2011.
- MULLIN, C. A. et al. High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health. **PLOS ONE**, v. 5, n. 3, 2010.
- NAUEN, R.; BRETSCHEIDER, T. New modes of action of insecticides. **Pesticide Outlook**, v. 13, n. 6, p. 241–245, 18 dez. 2002.
- NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Ed. Nogueirapis, 1997.
- NOLDUS, L. P. J. J.; SPINK, A. J.; TEGELENBOSCH, R. A. J. EthoVision: A versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers** 2001 33:3, v. 33, n. 3, p. 398–414, 2001.
- NUNES-SILVA, P. et al. Radiofrequency identification (RFID) reveals long-distance flight and homing abilities of the stingless bee *Melipona fasciculata*. **Apidologie**, v. 51, p. 240–253, 2020.
- OECD. Test N°. 245: Honey Bee (*Apis Mellifera* L.), Chronic Oral Toxicity Test (10-Day Feeding). **OECD Guidelines for the Testing of Chemicals**, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. v. Seção 2, 9 out. 2017.
- OLIVEIRA, M. L. DE; CUNHA, J. A. Abelhas africanizadas *Apis mellifera scutellata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera: Apidae: Apinae) exploram recursos na floresta amazônica? **Acta Amazonica**, v. 35, n. 3, p. 389–394, set. 2005.
- OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, n. 3, p. 321–326, 1 mar. 2011.

PARADIS, D. et al. Sensitive analytical methods for 22 relevant insecticides of 3 chemical families in honey by GC-MS/MS and LC-MS/MS. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 406, n. 2, p. 621–633, 21 nov. 2014.

PASHALIDOU, F. G. et al. Bumble bees damage plant leaves and accelerate flower production when pollen is scarce. **Science**, v. 368, n. 6493, p. 881–884, 22 maio 2020.

PEREIRA, D. S. et al. Abelhas nativas encontradas em meliponários no oeste potiguar-RN e proposições de seu desaparecimento na natureza. **Revista verde**, v. 1, n. 2, p. 54–65, 2006.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. [s.l.] Editora FIOCRUZ, 2003.

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, 23 out. 2013.

RECH, A. R. et al. **Biologia da Polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

RILEY, J. R.; SMITH, A. D. Design considerations for an harmonic radar to investigate the flight of insects at low altitude. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 35, n. 2–3, p. 151–169, 1 ago. 2002.

SANCHEZ-BAYO, F.; GOKA, K. Pesticide Residues and Bees – A Risk Assessment. **PLOS ONE**, v. 9, n. 4, p. e94482, 9 abr. 2014.

SANCHEZ-BAYO, F.; GOKA, K. **Beekeeping and Bee Conservation: Advances in Research - Google Livros**. [s.l.: s.n.].

SANTOS, A. B. Abelhas nativas: polinizadores em declínio. **Natureza on line**, v. 8, n. 3, p. 103–106, 2010.

SANTOS, F. M.; CARVALHO, C. A. L.; SILVA, R. F. Diversidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área de transição Cerrado-Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 319–328. 2004.

SCHEINER, R. et al. Standard methods for behavioural studies of *Apis mellifera*. v. 52, n. 4, p. 1–58, 2013.



- SCHNEIDER, C. W. et al. RFID Tracking of Sublethal Effects of Two Neonicotinoid Insecticides on the Foraging Behavior of *Apis mellifera*. **PLOS ONE**, v. 7, n. 1, p. e30023, 11 jan. 2012.
- SIEGEL, A. J. et al. Honey bee workers as mobile insulating units. **Insectes Sociaux** 2005 **52:3**, v. 52, n. 3, p. 242–246, ago. 2005.
- SIH, A.; BELL, A. M.; KERBY, J. L. Two stressors are far deadlier than one. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 6, p. 274–276, 1 jun. 2004.
- SILVA, C. I. S. et al. **Guia ilustrado de Abelhas Polinizadoras do Brasil**. 1. ed. São Paulo: 2014.
- SILVA, M. B. et al. Efeitos do imidacloprido sobre o comportamento das abelhas *Scaptotrigona postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera, Apidae). **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 3, n. 1, 2016.
- SILVA, W.; PAZ, J. R. L. DA. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. 2012.
- SILVA, W. R. T.; ARAÚJO, E. D.; SCHER, R. Caracterização do cariótipo de uma população de abelhas *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Meliponini), no município de Brejo Grande/Se. **Scientia Plena**, v. 8, n. 3, mar. 2012.
- SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas Brasileiras : sistemática e identificação**. 1. ed. Belo Horizonte: [Fernando A. Silveira], 2002a.
- SKOOG, A. I. The Alfred Nobel rocket camera. An early aerial photography attempt. **Acta Astronautica**, v. 66, n. 3–4, p. 624–635, 1 fev. 2010.
- SOUZA, P. et al. Low-Cost Electronic Tagging System for Bee Monitoring. **Sensors**, v. 18, n. 7, 2 jul. 2018.
- STONE, J. C.; ABRAMSON, C. I.; PRICE, J. M. Task-Dependent Effects of Dicofol (Kelthane) on Learning in the Honey Bee (*Apis mellifera*). **Bull. Environ. Contam. Toxicol**, v. 58, p. 177–183, 1997.

STONER, K. A.; EITZER, B. D. Movement of Soil-Applied Imidacloprid and Thiamethoxam into Nectar and Pollen of Squash (*Cucurbita pepo*). **PLOS ONE**, v. 7, n. 6, p. e39114, 27 jun. 2012.

STREIT, S. et al. Automatic life-long monitoring of individual insect behaviour now possible. **Zoology**, v. 106, n. 3, p. 169–171, 1 jan. 2003.

SUMNER, S. et al. Radio-Tagging Technology Reveals Extreme Nest-Drifting Behavior in a Eusocial Insect. **Current Biology**, v. 17, n. 2, p. 140–145, 23 jan. 2007.

SUSANTO, F. et al. Addressing RFID misreadings to better infer bee hive activity. **IEEE Access**, v. 6, p. 31935–31949, 7 jun. 2018.

TADEI, R. et al. Late effect of larval co-exposure to the insecticide clothianidin and fungicide pyraclostrobin in Africanized *Apis mellifera*. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019.

TADEI, R.; MENEZES-OLIVEIRA, V. B.; SILVA-ZACARIN, E. C. M. Silent effect of the fungicide pyraclostrobin on the larval exposure of the non-target organism Africanized *Apis mellifera* and its interaction with the pathogen *Nosema ceranae* in adulthood. **Environmental Pollution**, v. 267, p. 115622, 1 dez. 2020.

TIEDEKEN, E. J. et al. Bumblebees are not deterred by ecologically relevant concentrations of nectar toxins. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 9, p. 1620–1625, 1 maio 2014.

TOMÉ, H. V. et al. Imidacloprid-Induced Impairment of Mushroom Bodies and Behavior of the Native Stingless Bee *Melipona quadrifasciata* anthidioides. **PLOS ONE**, v. 7, n. 6, 4 jun. 2012.

TOMÉ, H. V. V. et al. Spinosad in the native stingless bee *Melipona quadrifasciata*: Regrettable non-target toxicity of a bioinsecticide. **Chemosphere**, v. 124, n. 1, p. 103–109, 1 abr. 2015.

TOMIZAWA, M.; CASIDA, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of selective action. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 45, p. 247–268, 2005.

TOPPA, R. H. et al. Impact of glues used for RFIDs on the longevity and flight muscles of the stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Apidae: Meliponini). **Apidologie**, v. 52, n. 2, p. 328–340, 1 abr. 2021.

TORRES, A. R. **Caracterização química e avaliação das atividades antimicrobiana, antinociceptiva e anti-inflamatória do própolis da *Melipona quadrifasciata quadrifasciata***. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 10 maio 2018.

TZIORTZIOTI, C. et al. IoT sensors in sea water environment: Ahoy! Experiences from a short summer trial. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science**, v. 343, p. 117–130, 4 maio 2019.

VON FRISCH, K. **Bees: Their Vision, Chemical Senses, and Language**. NY, USA: Ithica, 1950.

VON FRISCH, K. **The Dance Language and Orientation of Bees**. [s.l.] Harvard University Press, 1993.

WILLIAMSON, S. M.; WRIGHT, G. A. Exposure to multiple cholinergic pesticides impairs olfactory learning and memory in honeybees. **Journal of Experimental Biology**, v. 216, n. 10, p. 1799–1807, 15 maio 2013.

WYNN, R. B. et al. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): Their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience. **Marine Geology**, v. 352, p. 451–468, 1 jun. 2014.

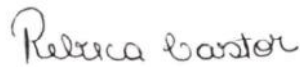
## ANEXOS

### ANEXO 1 – Autorização para disponibilização da versão digital do TCC

Eu, Rebeca Emanuelle da Silva Castor, nacionalidade Brasileira, aluno do curso de graduação em Ciências Biológicas Bacharelado, da Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba, portador da cédula de identidade Registro Geral n° 59.345.388-8 ou Registro Nacional de Estrangeiro n°, na qualidade de titular de direitos morais e patrimoniais de autor que recaem sobre o meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), intitulado « Influência das etiquetas eletrônicas de RFID na capacidade de repelência de Melipona quadrifasciata (Apidae: Meliponini) ao imidacloprido », autorizo, em comum acordo com meu orientador, a Universidade Federal de São Carlos a:

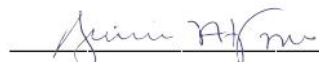
- a) reproduzi-la por meios eletrônicos, mediante cópia digital, para armazená-la permanentemente na Biblioteca Digital de **monografias** da Universidade.
- b) colocá-la ao alcance do público, a partir de 16 / 09 / 22 por meios eletrônicos, em especial mediante acesso *online* pela *Web* (Site do Curso) e biblioteca.

Sorocaba, 15 de Setembro de 2022



\_\_\_\_\_  
Assinatura do aluno

De acordo:



\_\_\_\_\_  
Assinatura do Orientador

**OBS:** esse formulário é passível de modificação para adequação às normas da biblioteca.