



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA



LEYLIANE CARDOSO DE OLIVEIRA

**EFEITO LETAL E SUBLETAL DE BIOINSETICIDAS E
INSETICIDA CONVENCIONAL SOBRE A ABELHA
*TETRAGONISCA ANGUSTULA***

São Cristóvão

2024.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA



LEYLIANE CARDOSO DE OLIVEIRA

**EFEITO LETAL E SUBLETAL DE BIOINSETICIDAS E
INSETICIDA CONVENCIONAL SOBRE A ABELHA
*TETRAGONISCA ANGUSTULA***

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Albano Araújo

Monografia apresentada ao Departamento
de Ecologia da Universidade Federal de
Sergipe como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Ecologia

São Cristóvão

2024.1



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA



ATA DA SESSÃO DE APRESENTAÇÃO DA MONOGRAFIA

A Banca Examinadora, composta por Ana Paula Albano Araújo, Jean Carlos Santos e Leandro Bacci, sob a presidência do primeiro, reuniu-se às 10 horas do dia 10/10/2024, na sala Miniauditório do CCBS da Universidade Federal de Sergipe, para avaliar a monografia intitulada “Efeito letal e subletal de bioinseticidas e inseticida convencional sobre a abelha *Tetragonisa angustula*”, apresentada pelo(a) discente Levliane Cardoso de Oliveira do Curso de Ecologia - Bacharelado, matriculado(a) na UFS sob o nº 202000075284. Dando início às atividades, o(a) Presidente da Sessão passou a palavra ao (à) discente para proceder à apresentação da monografia. A seguir, o primeiro examinador fez comentários e arguiu o(a) discente, que dispôs de igual período para responder ao questionamento. O mesmo procedimento foi seguido com o segundo examinador. Dando continuidade aos trabalhos, o(a) Presidente da Banca Examinadora, agradeceu os comentários e sugestões dos demais membros. Com base nos preceitos estabelecidos pela Instrução Normativa 01/2020/DECO, que normatiza a elaboração e avaliação das monografias do Curso de Ecologia – Bacharelado, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da discente com a média 10,0 (dez). Nada mais havendo a tratar, a Banca Examinadora elaborou essa Ata que será assinada pelos seus membros e, em seguida, pelo(a) discente avaliado(a).

Cidade Universitária “Prof. José Aloísio de Campos, 10 de outubro de 2024.

Ana Paula Albano Araújo
Prof(a). Orientador(a) – Presidente

Santos
1º Examinador(a)

Leandro Bacci
2º Examinador(a)

Levliane Cardoso de Oliveira
Discente

AGRADECIMENTOS

Aos meus protetores divinos: Jesus, Espírito Santo, Mãe Rainha e Nossa Senhora Aparecida, minha gratidão eterna por me protegerem e serem a luz que me fortalece diariamente.

À minha orientadora, professora Dra. Ana Paula, agradeço por todo ensinamento, incentivo, conselhos e pelo exemplo de dedicação à pesquisa. Muito obrigada por toda a convivência e por sempre acreditar no meu potencial. Espero, algum dia, poder recompensá-la por tamanha gentileza e profissionalismo!

À banca examinadora, pelas valiosas contribuições ao meu trabalho, e um agradecimento especial ao professor Dr. Leandro Bacci por toda a ajuda e suporte dado do início ao fim do trabalho. Muito obrigada!

Aos integrantes do LabIntera: Ariele, Daniela, Débora, Jane e Reinaldo, por toda ajuda, aprendizado e pelos momentos de descontração. Especialmente ao Rei, que está comigo desde o ensino a distância. Obrigada por cada experiência!

Aos professores, especialmente Fabiana Silva, Jean Carlos, Stephen Francis e Yana Teixeira, por todo o ensinamento, ajuda, compreensão e, principalmente, por me incentivarem a seguir em frente!

Aos amigos do curso, Gisele, Luis, Mihelly, Milena, Natália, Thiago e Wadson, pelas conversas, risadas e por todos os momentos que compartilhamos. Sem vocês, a jornada certamente teria sido mais difícil. Obrigada pela amizade e por me ajudarem a superar as dificuldades. À minha amiga Sarah que rapidamente assumiu o posto de prima, obrigada pela parceria constante nos estudos, cumplicidade, conversas e pelos desabafos sobre a vida acadêmica e pessoal. Agradeço por sempre me animar e fortalecer a minha fé. Sou grata de coração por cada lembrança e por você ter contribuído tanto na minha vida. Amo nossa amizade e desejo que o futuro nos surpreenda de forma generosa, recompensando nossos esforços!

Às minhas amigas Fernanda e Maria Izaele, pelas palavras de apoio e por todo o carinho em cada ligação, troca de mensagens e visitas. Muito obrigada por sempre se fazerem presentes, amo vocês!

À minha estrela-guia Ewelyn Victoria, que partiu cedo demais, sou grata pelas lembranças e por me lembrar que não preciso me cobrar tanto. Jamais esquecerei de você. Inclusive, sinto saudades...

À minha família, por ser o alicerce da minha vida, especialmente aos meus pais, Leide e Cardoso, por sempre priorizarem o meu bem-estar, por me encorajarem durante todo o

processo da graduação e por sempre recarregarem a minha energia através dos abraços e palavras de incentivo. Aos meus irmãos Bruno e Henrique, obrigada por também fazerem parte desse processo, por de alguma forma serem meu combustível de motivação. Amo todos vocês!

Ao Moises, meu namorado, sou imensuravelmente grata por todo o suporte, carinho e incentivo. Meu bem, obrigada por, mesmo distante, ser sempre o sol dos meus dias. Te amo!

Por fim, deixo meu sincero agradecimento aos demais amigos e familiares que torceram e contribuíram para a concretização desta tão sonhada conquista.

SUMÁRIO

RESUMO	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
<i>Biologia e ecologia de abelhas</i>	5
<i>Importância ecológica e econômica</i>	6
<i>Inseticidas convencionais</i>	7
<i>Abelha sem ferrão: <i>Tetragonisca angustula</i></i>	10
3. METODOLOGIA	11
<i>Coleta e manutenção das abelhas</i>	11
<i>Bioinseticidas e inseticida convencional</i>	11
<i>Bioensaios</i>	11
<i>Bioensaio de toxicidade</i>	12
<i>Curvas de sobrevivência e tempo letal</i>	12
<i>Efeito subletal: orientação de voo</i>	12
<i>Análises estatísticas</i>	13
4. RESULTADOS	15
5. DISCUSSÃO	19
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

RESUMO

OLIVEIRA, Leyliane Cardoso. **Efeito letal e subletal de bioinseticidas e inseticida convencional sobre a abelha *Tetragonisca angustula***. São Cristóvão: UFS, 2024. 32p. (Monografia – Bacharelado em Ecologia)

As abelhas realizam papel ecológico primordial para a manutenção da biodiversidade, bem como para a produção de alimentos. Entretanto, o uso intensivo de pesticidas tem causado o declínio das populações de abelhas, comprometendo os serviços de polinização. Os óleos essenciais (OEs) de plantas têm sido considerados uma alternativa ambientalmente mais segura em relação aos pesticidas convencionais, devido à sua baixa persistência no ambiente. Nesse estudo, avaliamos a toxicidade e o efeito subletal dos bioinseticidas OE de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários (eugenol e metil-eugenol), bem como do inseticida comercial imidacloprido sobre a abelha nativa *Tetragonisca angustula*. Testamos a hipótese de que os efeitos de toxicidade e a perda de orientação de voo da abelha *T. angustula* são mais adversos quando tratadas com o neonicotinoide do que com os bioinseticidas. Dentre os bioinseticidas, era esperado que o OE de *C. grewoides* mostrasse mais efeito letal e subletal em comparação com os seus compostos majoritários isolados (eugenol e metil eugenol), devido à ação sinérgica ou à interação de outros componentes presentes no OE. As abelhas foram submetidas à aplicação tópica de cada tratamento. Nossos resultados mostraram que a DL_{50} dos bioinseticidas *C. grewoides* e seus majoritários apresentaram semelhante toxicidade para *T. angustula*, enquanto o imidacloprido apresentou uma toxicidade significativamente maior. O índice de seletividade diferencial dos bioinseticidas mostrou que, de forma geral, os bioinseticidas foi, em média, 53.840 vezes menos tóxico para *T. angustula* do que o inseticida imidacloprido. Em doses mais elevadas (DL_{90}), tanto o imidacloprido quanto os bioinseticidas, resultaram em rápida mortalidade das abelhas. A proporção de abelhas e a velocidade com que atingiram a fonte de luz não variou entre os grupos controle e de abelhas tratadas com o OE de *C. grewoides* e eugenol. Por outro lado, houve efeito subletal indesejado dos tratamentos metil eugenol e imidacloprido, os quais reduziram a orientação das abelhas em direção à fonte de luz. Nossos resultados sugerem que os bioinseticidas OE de *C. grewoides* e o eugenol podem ser seguros para *T. angustula*. No entanto, esse estudo também ressalta a importância de se avaliar os efeitos subletais dos bioinseticidas derivados de plantas, uma vez que o metil eugenol apesar de não apresentar alta toxicidade, desencadeou efeitos subletais tão indesejáveis quanto o observado para o neonicotinoide imidacloprido.

Palavras-chave: abelha sem ferrão *Croton grewoides*, imidacloprido, óleo essencial de plantas, toxicidade.

1. INTRODUÇÃO

As abelhas realizam serviços ecológicos que garantem maior variabilidade genética das plantas (Wolf, Lensky e Paldi, 1999) e consequente manutenção da biodiversidade, assim como promovem maior incremento na produção de alimentos (Silva e Paz, 2012) e na qualidade de frutos e sementes (Rodger *et al.*, 2021). Apesar disso, a fragmentação dos habitats naturais (Barbosa *et al.*, 2021) e a implantação de práticas agrícolas inadequadas (Yamamoto, Barbosa e Oliveira, 2010; Katumo *et al.*, 2022) com o uso desenfreado de pesticidas, têm causado redução dos polinizadores (Yang *et al.*, 2008).

Pesticidas tendem a persistir no ambiente agindo não somente sobre organismos alvo como também sobre organismos não-alvo. Inseticidas do grupo dos neonecotinoides, por exemplo, podem ser assimilados e translocados por todas as partes das plantas (Goulson, 2013). Sendo assim, tais inseticidas aumentam o risco de contaminação de polinizadores, seja por meio da exposição direta por contato ou durante o consumo de pólen e néctar de plantas tratadas (Farooqui, 2013; Santos *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2021; Mu *et al.*, 2022). Os riscos dos neonecotinoides se devem às suas propriedades tóxicas e neurotóxicas que podem resultar na mortalidade direta das abelhas (Gbylik-Sikorska, Sniegocki e Posyniak, 2015). Além disso, esses produtos também podem ocasionar mortalidade indireta devido ao enfraquecimento do sistema imunológico das abelhas, o que as tornam mais vulneráveis às doenças (Di Prisco *et al.*, 2013). Adicionalmente, os neonecotinoides provocam efeitos subletais sobre as abelhas, resultando em alterações fisiológicas e comportamentais que reduzem a atividade de forrageio, causam perda de memória, perda da capacidade de orientação e prejuízos na comunicação interindividual (Decourtye *et al.*, 2004; Matos *et al.* 2021).

Assim, tendo em vista os efeitos indesejáveis dos pesticidas convencionais sobre as abelhas, torna-se essencial a busca por novas estratégias de manejo que sejam ambientalmente mais sustentáveis. Óleos essenciais (OEs) de plantas podem apresentar atividade bioinseticida e têm sido considerados ambientalmente mais seguros do que os inseticidas convencionais. Estes bioinseticidas são constituídos por vários componentes químicos voláteis e de baixo peso molecular, especialmente terpenóides (Bakkali *et al.*, 2008). O menor impacto dos OEs sobre os organismos benéficos deve-se à sua elevada volatilidade, baixa toxicidade e baixa resistência no ecossistema (Koul, Walia e Dhaliwal, 2008). Por serem considerados pesticidas de baixo risco, os OEs são apontados como boas opções de manejo (Park e Tak, 2016). Além disso, eles apresentam toxicidade contra diversos insetos praga e ácaros de importância econômica, assim como contra fungos patogênicos de plantas (Isman, 2000).

As plantas do gênero *Croton*, pertencentes à família Euphorbiaceae, estão distribuídas principalmente em regiões tropicais (Rodrigues *et al.*, 2023). A espécie *C. grewoides*, conhecida como canelinha-de-cheiro ou canelinha, é uma das representantes desse gênero (Santos *et al.*, 2023). Endêmica do Brasil, essa espécie é encontrada principalmente na região semiárida, nos estados da Bahia, Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte, Ceará e Minas Gerais (Santos, 2021). Alguns estudos já demonstraram que o OE de *C. grewoides* possui propriedades inseticidas (Silva *et al.*, 2008; Figueiredo *et al.*, 2010; Santos, 2021). No entanto, o potencial uso de um bioinseticida como uma alternativa ao controle convencional só seria justificado mediante à sua seletividade sobre organismos não-alvo.

A maioria das pesquisas sobre os efeitos de pesticidas em abelhas têm focado principalmente em *A. mellifera*, sendo os impactos desses produtos sobre as abelhas sem ferrão ainda pouco discutidos (Tomé *et al.*, 2012; Jacob *et al.*, 2019). Desta forma, no presente estudo, testamos a hipótese de que a toxicidade e as alterações no comportamento de voo da abelha sem ferrão *Tetragonisca angustula* (Apidae: Meliponini), popularmente conhecida como Jataí, são mais adversas quando tratadas com o neonicotinoide do que com os bioinseticidas OE de *C. grewoides* e seus compostos majoritários: eugenol e metil eugenol. Dentre os bioinseticidas, era esperado que o OE de *C. grewoides* mostrasse mais efeito letal e subletal em comparação com os seus compostos majoritários isolados (eugenol e metil eugenol), devido à ação sinérgica ou à interação de outros componentes presentes no OE.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Biologia e ecologia de abelhas

As abelhas, insetos pertencentes à família Apidae, ordem Hymenoptera, são distribuídas entre as tribos Apini, Bombini, Euglossini, Meliponini, Xylocopini, entre outras menos conhecidas (Agüero *et al.*, 2018; Toledo-Hernández *et al.*, 2022). As diferentes espécies de abelhas apresentam variações significativas em termos de morfologia, comportamento e estilos de vida. As abelhas nativas sem ferrão, popularmente conhecidas como meliponíneos (Meliponini) são nativas das regiões tropicais e subtropicais. Os indivíduos desse grupo de abelhas medem entre 2-15 mm de comprimento, sendo, em sua maioria, menores do que *A. mellifera* (Apini) (Roubik, 2023). Diferentemente das abelhas melíferas, os meliponíneos possuem venação das asas, musculatura mandibular forte, posição dorsal das glândulas cerosas, além de ferrão atrofiado e não funcional (Taye, 2020). A nidificação das abelhas sem ferrão é altamente diversificada, ocorrendo tanto em estruturas artificiais quanto naturais, incluindo: troncos de árvores, rochas, fendas, cavidades existentes no solo, e ocasionalmente em ninhos de formigas ou cupins (Martins *et al.*, 2004; Zanette, Martins e Ribeiro, 2005; Chakuya *et al.*, 2022; Roubik, 2023).

Por serem considerados insetos eussociais, uma característica marcante das abelhas sem ferrão consiste na divisão de castas, isto é, grupos distintos de indivíduos que desempenham tarefas específicas para garantir a sobrevivência e o funcionamento das colônias (Prato, 2015). A organização social das abelhas é composta por três castas: rainha (fértil), operárias (estéreis ou semi-estéreis) e zangões (Vidal, 2017). Enquanto a rainha é a única capaz de copular com os zangões, as operárias são responsáveis por realizar diversas atividades para manutenção e crescimento da colônia, incluindo a proteção da prole, defesa e limpeza do ninho, além da coleta de recursos, entre outras tarefas (Prato, 2015). Por sua vez, os zangões têm a função exclusiva de fecundar as rainhas durante o voo nupcial (Prato, 2015; Vidal, 2017). Nas abelhas sem ferrão, as rainhas apresentam um tamanho corporal maior do que as operárias, além disso, elas não possuem corbículas nas patas traseiras e nem glândulas cerosas na posição dorsal do abdômen (Taye, 2020). Adicionalmente, algumas espécies de abelhas sem ferrão, apresentam idade e tamanho do corpo como características marcantes na distribuição de suas tarefas (Hammel *et al.*, 2015; Valadares *et al.*, 2022). Por exemplo, na espécie *T. angustula*, as operárias maiores se envolvem em tarefas defensivas, enquanto as operárias menores realizam o forrageamento (Mateus *et al.*, 2019; Valadares *et al.*, 2022).

Abelhas sem ferrão frequentemente visitam os recursos florais em busca, principalmente, de néctar e pólen (Ferrari *et al.*, 2024). Pertencentes a um grupo amplo e diverso, estas abelhas exibem um comportamento alimentar generalista, visitando uma grande variedade de plantas de diferentes espécies e gêneros (Mathiasson e Rehan, 2020; Khalifa *et al.*, 2021). As abelhas forrageadoras utilizam diversos artifícios para compartilhar a localização dos recursos alimentares com suas companheiras de ninho, incluindo: trofalaxia, movimentos excitados, produção de som e contato corporal, rastreamento visual de um companheiro de ninho líder, trilhas de odores e marcação química de recursos (Nieh, 2004; Barth, Hrncir e Jarau, 2008; Leonhardt, 2017). Devido ao seu pequeno tamanho e grande diversidade, as abelhas sem ferrão são vistas como polinizadores extremamente eficazes, principalmente de árvores florestais (Kwapong *et al.*, 2010).

Importância ecológica e econômica

As abelhas são extremamente fundamentais na manutenção dos ecossistemas, principalmente para a conservação de diversas espécies vegetais (Malaspina e Silva-Zacarin, 2006). A polinização proporciona maior variabilidade genética entre as plantas (Calazans, 2019), permitindo-as responder de forma mais efetiva às pressões do meio, incluindo maior resistência natural às pragas e doenças, assim como aos fatores abióticos. Além disso, o serviço ecológico prestado pelas abelhas também favorece o bem-estar da humanidade, uma vez que contribuem para o fornecimento de frutos e sementes de melhor qualidade (Rodger *et al.*, 2021). A ação das abelhas como agentes polinizadores afeta positivamente a produção agrícola global, uma vez que polinizam cerca de 70% das espécies cultivadas (Rickettes *et al.*, 2008). No Brasil, inúmeras culturas de interesse econômico têm a abelha sem ferrão como agente polinizador responsável pelo aumento produtivo, a exemplo da abóbora, beringela, café, canola, feijão, cebola, girassol, macadâmia, pepino e soja (D'Avila e Marchini, 2013). Estudos recentes têm destacado a importância do papel ecológico das abelhas na produtividade de plantas cultivadas. Por exemplo, Bezerra e colaboradores (2020) descobriram que as abelhas nativas são as principais responsáveis pela polinização do açaí (*Euterpe oleracea*). De acordo com esta pesquisa, as abelhas sem ferrão e as abelhas solitárias da família Halictidae, possuem alta eficiência de polinização.

Além disso, esses insetos geram produtos de valor comercial, como o mel, polén, cera e própolis (Cordeiro e Menezes, 2014), os quais podem ser utilizados para fins alimentícios,

medicinais, cosméticos ou para a produção de utensílios (Modro *et al.*, 2009; Barbiéri e Francoy, 2020).

Inseticidas convencionais

Apesar da ampla importância das abelhas, a intensificação da agricultura e o uso de inseticidas convencionais, especialmente os neonicotinoides, têm provocado o declínio de insetos polinizadores (Lima *et al.*, 2016), além de causar sérios prejuízos à saúde humana (Damalas e Eleftherohorinos, 2011; Kim, Kabir e Jahan, 2017). As abelhas sem ferrão, assim como as abelhas melíferas, estão altamente suscetíveis à contaminação por pesticidas aplicados no solo ou sobre as plantações (Lima *et al.*, 2016). Tal exposição pode ocorrer de forma direta, através da coleta de néctar, pólen e água; ou de forma indireta, ao compartilharem alimentos contaminados com os indivíduos da colmeia, incluindo larvas, operárias adultas, rainhas e zangões (Barascou *et al.*, 2021).

Dos 161 tipos de pesticidas identificados em colônias de abelhas, a maioria consiste em inseticidas, seguidos por fungicidas, herbicidas e acaricidas, em menor proporção (Sanchez-Bayo e Goka, 2014). Os efeitos dos pesticidas variam conforme a dose/concentração, modos de ação e rotas de exposição (Barascou *et al.*, 2021), sendo observado tanto efeitos letais como subletais, os quais comprometem a viabilidade das colônias (Delkash-Roudsari *et al.*, 2020). Os inseticidas do grupo dos neonicotinoides (imidacloprido, acetamiprido, clotianidina, tiametoxam, tiacloprido, dinotefurano e nitenpiram), por exemplo, possuem neurotoxinas que agem especificamente como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) em insetos (Elbert *et al.*, 2008). Essa ação pode resultar na superestimulação, paralisia e morte (Goulson *et al.*, 2015) de abelhas e demais insetos, incluindo outros polinizadores (Gbylik-Sikorska, Sniegocki e Posyniak, 2015). O uso do inseticida imidacloprido no início da década de 1990 impulsionou a utilização de outros compostos neonicotinoides (Blacquièrre *et al.*, 2012).

Entretanto, muitos estudos têm destacado os impactos negativos dos neonicotinoides sobre as abelhas (Palmer *et al.*, 2013; Feltham, Park e Goulson, 2014; Gill e Raine, 2014). Ohlinger *et al.* (2022), por exemplo, demonstraram que abelhas *A. mellifera* tratadas com inseticida imidacloprido reduziram tanto a frequência quanto a persistência na atividade de forrageamento, assim como nos comportamentos de recrutamento. No estudo realizado por Gill, Ramos-Rodriguez e Raine (2012), foi observado que a exposição contínua de abelhas a combinações de neonicotinoides e piretroides, em concentrações próximas às encontradas em

campo, comprometeu o comportamento de forrageamento e elevou a mortalidade das operárias, resultando em impactos negativos na produtividade e sucesso das colônias. Stanley *et al.* (2015) mostraram que a exposição dos zangões ao neonicotinoide tiametoxam reduziu a eficácia do serviço de polinização das colônias de abelhas em macieiras. Além disso, efeitos subletais provocados pelos inseticidas neonicotinoides também são relatados, incluindo redução da capacidade de retorno das abelhas aos ninhos (Henry *et al.*, 2012; Fisher *et al.*, 2014) e redução do sucesso reprodutivo das abelhas (Whitehorn *et al.*, 2012; Sandrock *et al.*, 2014; Rundlof *et al.*, 2015). Adicionalmente, estudos recentes têm destacado os riscos dos neonicotinoides em abelhas sem ferrão (Jacob *et al.*, 2019; Matos *et al.*, 2021). Miotelo *et al.* (2022), por exemplo, mostraram que os efeitos subletais do inseticida tiametoxam causou danos morfológicos aos órgãos da espécie *Melipona scutellaris*.

Tendo em vista os impactos negativos dos inseticidas convencionais sobre organismos benéficos, incluindo as abelhas, torna-se necessária a busca por novas alternativas de manejo que sejam ambientalmente mais sustentáveis.

Bioinseticidas: óleos essenciais

Uma possível substituição para os pesticidas convencionais é o uso de plantas com propriedades inseticidas, que podem ser preparados e aplicados em forma de extratos, pós e óleos (Melo *et al.*, 2011). Dentre os inseticidas botânicos, os óleos essenciais (OEs) de plantas, são compostos orgânicos de baixo peso molecular produzidos por plantas aromáticas, que possuem natureza volátil (Campos *et al.*, 2012). Óleos essenciais de plantas são tipicamente constituídos por uma combinação complexa de compostos, incluindo monoterpenos, sesquiterpenos e fenóis (Koul, Walia e Dhaliwal, 2008). Tais compostos podem ser produzidos por todos os órgãos da planta, incluindo brotos, flores, folhas, caules, galhos, sementes, frutos, raízes, madeira ou casca (Bakkali *et al.*, 2008). Os OEs são frequentemente obtidos de espécies pertencentes às famílias Lamiaceae, Myrtaceae, Rutaceae e Apiaceae, e atuam em diversas funções das plantas incluindo mecanismos de defesa e sinalização (Isman e Machial, 2006; Kumar *et al.*, 2022). Em contraste aos pesticidas organossintéticos, os inseticidas naturais podem ser considerados ecologicamente seguros devido à sua vida útil curta e limitada persistência no ambiente, tendo assim menor chance de atingir organismos não alvo, como polinizadores e inimigos naturais de pragas (Kordali *et al.*, 2005; Koul, Walia e Dhaliwal, 2008). No entanto, os efeitos dos inseticidas botânicos sobre os insetos são variáveis, podendo ser influenciados tanto pelas características fisiológicas das espécies quanto pelo tipo de planta

utilizada como inseticida (Hikal, Baeshen e Saind-Al Ahl, 2017). O potencial inseticida dos produtos oriundos das plantas deve-se ao fato de que, ao longo do tempo evolutivo, a herbivoria representou uma pressão seletiva impulsionando o desenvolvimento de mecanismos de defesa nas plantas (Pichersky e Gershenzon, 2002). Em resposta, os insetos evoluíram estratégias para superar essas defesas, assegurando sua sobrevivência e capacidade de alimentação (Schuler, 1996). Essa interação contínua reflete a coevolução entre plantas e insetos, a qual resultou no surgimento de defesas químicas naturais que se tornaram essenciais para o manejo de insetos-pragas (Rattan, 2010). Diversas vantagens são atribuídas aos inseticidas botânicos, uma vez que se decompõem naturalmente devido às condições externas (ex. alta luminosidade, temperatura e umidade), sem deixar resíduos prejudiciais no meio ambiente (Koul, Walia e Dhaliwal, 2008; Rattan, 2010; Xavier *et al.*, 2010). Estudos anteriores já relataram os efeitos positivos de OEs sobre as abelhas (Santos *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2021). Islam *et al.* (2017), por exemplo, analisaram o efeito de cinco OEs contra *Tropilaelaps clareae* (patógeno de abelhas), mostrando eficácia na mortalidade deste ácaro e consequente aumento na produtividade de mel de colônias de *A. mellifera*. No estudo realizado por Goswami, Srivastava e Khan (2014), os OEs de alho, cúrcuma, tulsi, ajwin, canela e cravo também apresentaram resultados promissores, visto que causaram a mortalidade do ácaro *Varroa destructor* propiciando o crescimento da prole de colônias de *A. mellifera*. Além disso, Xavier *et al.* (2010) mostraram que os inseticidas botânicos de rotenona, óleo de andiroba, extrato de alho, óleo de nim, óleo de citronela e óleo de eucalipto não afetaram o comportamento de manejo das abelhas sem ferrão *Nannotrigona testaceicornis* e *T. angustula*. No entanto, é importante destacar que os efeitos letais e subletais dos OEs precisam ser cuidadosamente analisados, visto que eles também podem ser tóxicos para diversos insetos, incluindo organismos não alvo (Xavier *et al.*, 2015).

Abelha sem ferrão: Tetragonisca angustula

O Brasil abriga uma grande diversidade de espécies de Meliponini; cerca de 240 espécies de abelhas sem ferrão, distribuídas em 29 gêneros, já foram registradas no país (Pedro, 2014; Nogueira, 2023). Dentre essas espécies, *T. angustula*, popularmente conhecida como abelha Jataí, é a mais amplamente criada no Brasil (Ferrari *et al.*, 2024). Essa abelha apresenta pequeno porte (4-5 mm de comprimento), sendo altamente social e capaz de construir ninhos em uma grande variedade de cavidades naturais e artificiais (ex. ocos de árvores, cavidades de rochas, ocos de muros de pedras, paredes de tijolo, caixas de luz e de correio), o que facilita seu estabelecimento em áreas impactadas (Iwama, 1997; Venturiere, 2008; Francisco *et al.*, 2017; Leocádio, Segundo e Pessin, 2024). A entrada do ninho é geralmente formada por um pequeno tubo de cera, contendo um orifício que permite a entrada e saída das abelhas (Venturiere, 2008).

A abelha *T. angustula* possui hábito forrageador generalista, o que contribui para a polinização de diversas famílias vegetais, incluindo: Asteraceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Fabaceae e Anacardiaceae (Morgado e Lorenzon, 2014). Culturas comerciais como acapu, abacate, café, cenoura, cupuaçu, goiaba, laranja, manga, melancia, morango, moressuma, pimenta, pepino, tangerina, umbu e urucum são efetivamente polinizadas pela abelha Jataí (Leocádio, Segundo e Pessin, 2024). Adicionalmente, essa espécie é altamente valorizada por apicultores brasileiros devido à sua facilidade de aclimação a diferentes ambientes, ao manejo simples e ao valor significativo de seu mel no mercado (Novais, Absy e Santos, 2013; Braga *et al.*, 2014; Ferrari 2024).

3. METODOLOGIA

Coleta e manutenção das abelhas

Para a realização dos bioensaios, foram utilizadas sete colônias saudáveis de abelhas *T. angustula*. Todas as colônias foram obtidas diretamente de meliponicultores dos municípios de São Cristóvão (10°55'47.6"S; 37°06'14.7"W) e Barra dos Coqueiros (11°07'29.8" S; 37°00'22.8" W), Sergipe. As colônias foram mantidas nos meliponários, áreas sem exposição a pesticidas, sendo transferidas para o laboratório 24h antes da realização dos testes. Portanto, todas as colônias utilizadas estavam livres de sinais visíveis de doenças. No laboratório, as colônias foram acondicionadas em arenas cúbicas (50×50×50 cm) estruturadas com hastes de madeira (bordas) e organza (faces), contendo 20 ml de alimentação (solução de sacarose a 50%) sob condições controladas (26±2°C e umidade relativa de 70±5%, escotofase constante) até a realização dos bioensaios.

Bioinseticidas e inseticida convencional

O OE de *Croton grewoides* (Euphorbiaceae) foi adquirido do Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Sergipe (São Cristóvão, Sergipe, Brasil). Além disso, foram obtidos os compostos majoritários do OE de *Croton grewoides*, eugenol e metil eugenol, através da empresa Sigma-Aldrich® (Steinheim, Germany). O inseticida comercial usado foi o imidacloprido, em granulado dispersível a 700 g de i.a. Kg⁻¹ (Evidence® 700 WG; Bayer S. A., São Paulo, SP, Brasil).

Bioensaios

Os bioensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado. As abelhas foram submetidas à aplicação tópica, utilizando os quatro tratamentos: (1) OE de *C. grewoides*, (2) eugenol, (3) metil-eugenol e o (4) inseticida imidacloprido. A acetona (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAI-ACS, 99.9%) foi usada como solvente e no tratamento controle por permitir uma diluição eficiente dos óleos e uma rápida evaporação após sua aplicação nos indivíduos. Testes preliminares revelaram que a acetona não altera a sobrevivência e comportamento das abelhas. (Matos *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2018)

Bioensaios foram realizados a fim de avaliar a toxicidade, o tempo letal e o efeito subletal sobre a orientação de voo em abelhas campeiras.

Bioensaio de toxicidade

Inicialmente foi usada uma balança de precisão semi-analítica (AUW220D, Shimadzu) com resolução de 0,01 mg para determinar a massa corporal média de 50 abelhas ($3,9346 \pm 0,4756$ mg) a fim de estabelecer as doses ($\mu\text{g}/\text{mg}$ abelha) de cada tratamento. Para obter as curvas de dose- mortalidade de cada tratamento foram utilizadas oito doses que causaram mortalidades entre 1% e 99% das abelhas. A análise de mortalidade foi realizada 24h após a submissão aos tratamentos (Santos *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2021). Cada unidade experimental consistiu em uma placa de Petri (9 x 1,5 cm) contendo sete abelhas tratadas e um pequeno recipiente com 1 μL de solução de sacarose. As abelhas foram anestesiadas a -18°C por 80s em baixas temperaturas e tratadas aplicando 1 μL de cada dose/tratamento na região do pronoto, com o auxílio de microseringa (Hamilton, Reno, NV, EUA). Testes preliminares mostraram que esse procedimento de anestesia não prejudica a sobrevivência e o comportamento das abelhas. Para cada dosagem, foram feitas oito repetições, totalizando 448 indivíduos testados. As placas foram revestidas com papel filtro umedecido, vedadas com filme plástico e mantidas sob temperatura ambiente, para avaliação ao longo do tempo. Para permitir a trocar de ar, foram utilizados alfinetes entomológicos para fazer furos na cobertura das placas de Petri. A análise de mortalidade foi realizada 24h após a exposição aos tratamentos.

Curvas de sobrevivência e tempo letal

O tempo letal até a morte das abelhas expostas e as curvas de sobrevivência foram determinadas expondo as abelhas à dose letal capaz de matar 90% da população (DL_{90}). Os valores letais de dose foram obtidos a partir dos bioensaios de toxicidade. O procedimento experimental foi o mesmo utilizado no bioensaio de toxicidade, citado acima. As avaliações foram realizadas em intervalos crescentes, começando com avaliações a cada 10min e terminando com avaliações a cada 24h, até que o tratamento controle atingisse 15% de mortalidade.

Efeito subletal: orientação de voo

Para verificar o efeito dos tratamentos na orientação de voo, as abelhas foram tratadas com 1 μL da dose capaz de matar 30% da população (DL_{30}), determinado nos bioensaios de toxicidade. Esse procedimento foi conduzido seguindo metodologia adaptada por Santos *et al.* (2018).

O experimento foi realizado em arena cúbica (30×30×30 cm) estruturada com hastes de alumínio (bordas) e plástico transparente (faces). Cada face da arena foi demarcada em pequenos quadrados (2,5×2,5 cm) para facilitar a marcação da posição da abelha durante as avaliações. Uma lâmpada LED branca (10W, 6500k e 750 lúmens) foi posicionada em um dos vértices superiores da arena com um ângulo de inclinação de 45°. Na extremidade oposta à lâmpada, no vértice inferior, uma abelha foi colocada na arena a uma distância de 52 cm da fonte de luz.

As avaliações do experimento foram realizadas 3h e 24h após aplicação do tratamento, de forma independente, em diferentes indivíduos. A cada tempo de exposição foram analisadas 60 abelhas por tratamento/tempo. As observações consistiram em registrar a posição da abelha em relação aos eixos x (comprimento), y (altura) e z (profundidade) da arena a cada intervalo de 3s durante 3min, totalizando 60 observações/abelha. Além disso, foi registrado o número de abelhas que alcançaram a fonte de luz, assim como o tempo que levaram para atingir a luz.

Análises estatísticas

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit usando o procedimento PROC PROBIT no software SAS para adquirir as curvas de dose-resposta. A partir dessas curvas foram determinadas as doses letais (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀), com seus respectivos intervalos de confiança, a 95% de probabilidade.

Foi calculado o Índice de Seletividade Diferencial (ISD) do óleo essencial de *Croton grewoides* (Euphorbiaceae), eugenol e do metil eugenol, em relação ao inseticida comercial imidacloprido. (ISD = DL₅₀ do inseticida botânico/ DL₅₀ do imidacloprido.) para operárias de *Tetragonisca angustula*.

As análises de sobrevivência foram realizadas utilizando estimadores de Kaplan-Meier utilizando o teste Log-Rank (SigmaPlot, versão 12.5). Por meio dessa análise, foram obtidas as curvas de sobrevivência e tempos letais capazes de causar mortalidade em 50% dos indivíduos (TL₅₀), com seus respectivos intervalos de 95% (IC_{95%}). As curvas foram comparadas pelo método de comparação múltipla de Holm-Sidak em 5% de probabilidade (SigmaPlot, versão 12.5). Os TL₅₀ foram comparados usando o critério de não sobreposição intervalos de confiança (IC_{95%}) com a origem do intervalo.

Análise de PROBIT, seguida pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) utilizando o procedimento SAS PROC ANOVA (SAS Institute Inc. 2002), para verificar se as distâncias percorridas pelas abelhas na orientação de voo em cada tratamento diferem do controle. Os dados foram

classificados com censor = 0 quando as abelhas não atingiram a fonte de luz e com censor =1 quando as abelhas chegaram até a fonte. O teste consistiu em analisar a proporção de abelhas que alcançaram a luz ao longo do tempo, em função dos tratamentos.

4. RESULTADOS

O OE de *C. grewoides* e seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol apresentaram semelhante toxicidade para *T. angustula* por meio de aplicação por contato, com DL_{50} variando entre 3,08 a 3,51 $\mu\text{g}/\text{mg}$ (Fig. 1). No entanto, a DL_{50} observada para o imidacloprido foi significativamente menor $6,07 \times 10^{-5}$. O índice de seletividade diferencial não diferiu entre os tratamentos (Fig. 2). De forma geral, os inseticidas botânicos foram, em média, cerca de 53.840 vezes menos tóxicos para *T. angustula* do que o imidacloprido

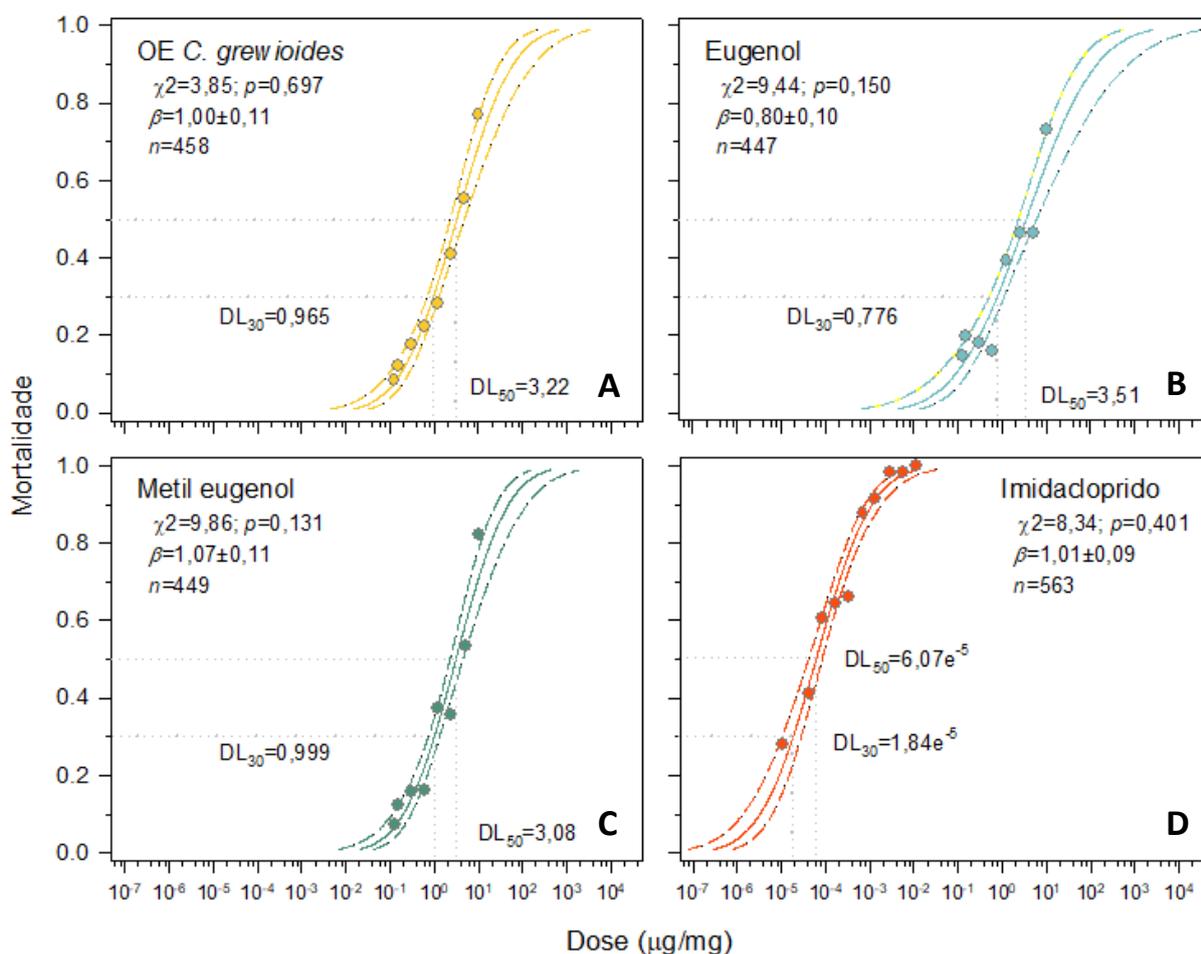


Figura 1. Toxicidade por aplicação tópica dos tratamentos: **A)** óleo essencial de *Croton grewoides* (Euphorbiaceae); **B)** composto majoritário eugenol; **C)** composto majoritário metil eugenol e **D)** inseticida comercial imidacloprido sobre operárias de *Tetragonisca angustula*. As doses letais (escala logarítmica) foram estimadas com base em bioensaios dose-resposta usando análise de probit. As linhas tracejadas representam intervalos de confiança a 95% de probabilidade e os círculos as médias das mortalidades observadas nos bioensaios. β = inclinação \pm erro padrão.

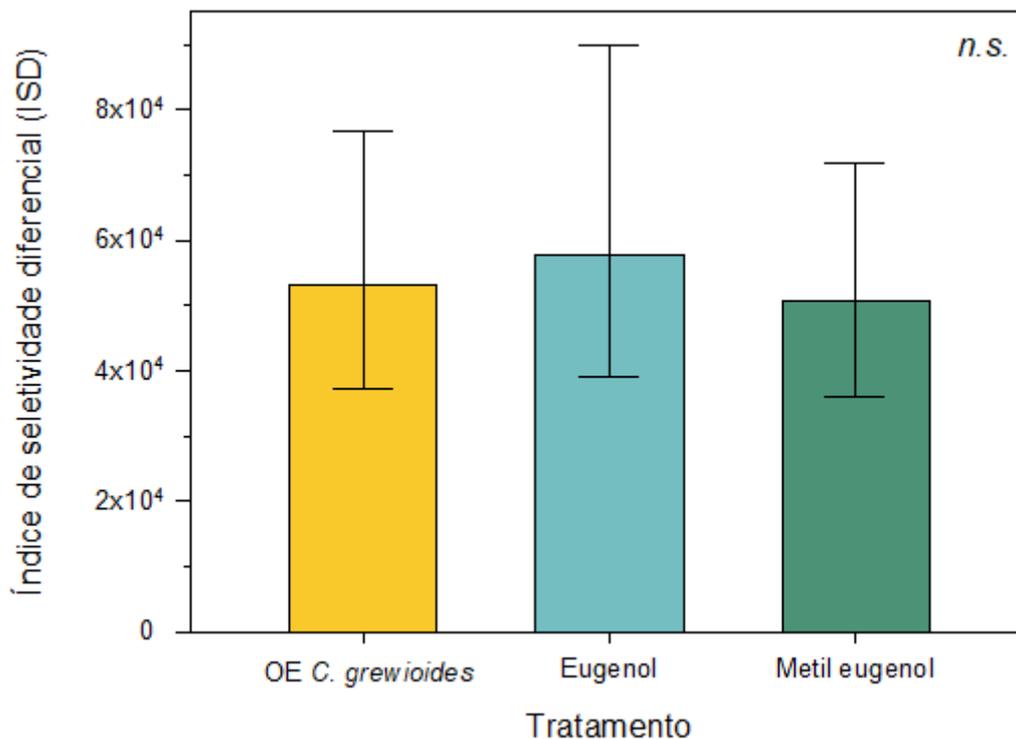


Figura 2. Índice de seletividade diferencial (ISD) dos inseticidas botânicos: óleo essencial de *Croton grewoides* (Euphorbiaceae), eugenol e metil eugenol, em relação ao inseticida comercial imidacloprido para operárias de *Tetragonisca angustula*. ISD = DL₅₀ do inseticida botânico/ DL₅₀ do imidacloprido. As linhas de erro representam os intervalos de confiança a 95% de probabilidade.

Todos os tratamentos na DL₉₀ causaram rápida redução na sobrevivência das abelhas *T. angustula* ao longo do tempo (<1,5h) e diferiram do controle (teste de Log-rank test: $\chi^2 = 448,27$; g.l. = 4; P < 0,001) (Fig. 3).

Não foi observada diferença significativa entre as curvas de sobrevivência de *T. angustula* expostas aos bioinseticidas. Estas curvas diferiram significativamente daquela obtida para o inseticida comercial imidacloprido. O tempo médio gasto para morte (TL₅₀) variou de 0,34h (IC_{95%}=0,26-0,42) para o eugenol a 1,21h (IC_{95%}=1,10-1,33) para o imidacloprido (Fig. 3).

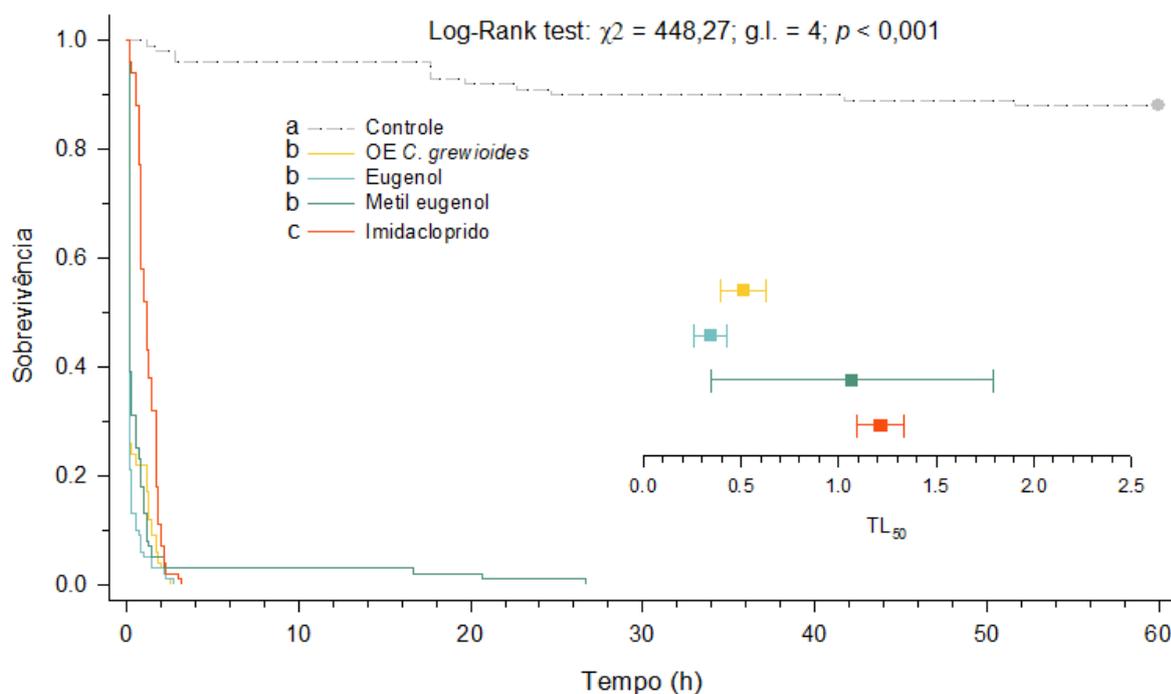


Figura 3. Curvas de sobrevivência e tempo letal (TL₅₀) de operárias de *Tetragnisca angustula* expostas topicamente às DL_{s90} do óleo essencial de *Croton grewioides* (Euphorbiaceae), seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol e do inseticida comercial imidacloprido. Curvas de sobrevivência seguida pela mesma letra não diferem pelo método de Holm-Sidak a $p < 0,05$. Quadrados indicam a média (\pm intervalo de confiança a 95%) do TL₅₀ (tempo letal necessário para matar 50% da população).

O número de abelhas alcançando a fonte de luz diferiu significativamente entre os tratamentos após 3h ($\chi^2=35,16$; $p < 0,001$) e 24h ($\chi^2=76,05$; $p < 0,001$) de exposição. Em ambos os tempos de exposição aos compostos, uma maior proporção de abelhas alcançou a luz e mais rapidamente nos grupos controle e nos grupos de abelhas tratadas com o OE de *C. grewioides* e eugenol, quando comparado aos demais tratamentos (imidacloprido e metil eugenol) (Fig. 4). Por outro lado, o metil eugenol e o imidacloprido causaram redução na proporção de abelhas e aumento do tempo no qual as abelhas alcançaram a fonte de luz. Após 3h de exposição aos compostos, o metil eugenol causou maior redução da capacidade das abelhas atingirem a luz do que o imidacloprido. Porém, após 24h de exposição, esse efeito foi alternado entre os compostos (Fig. 4).

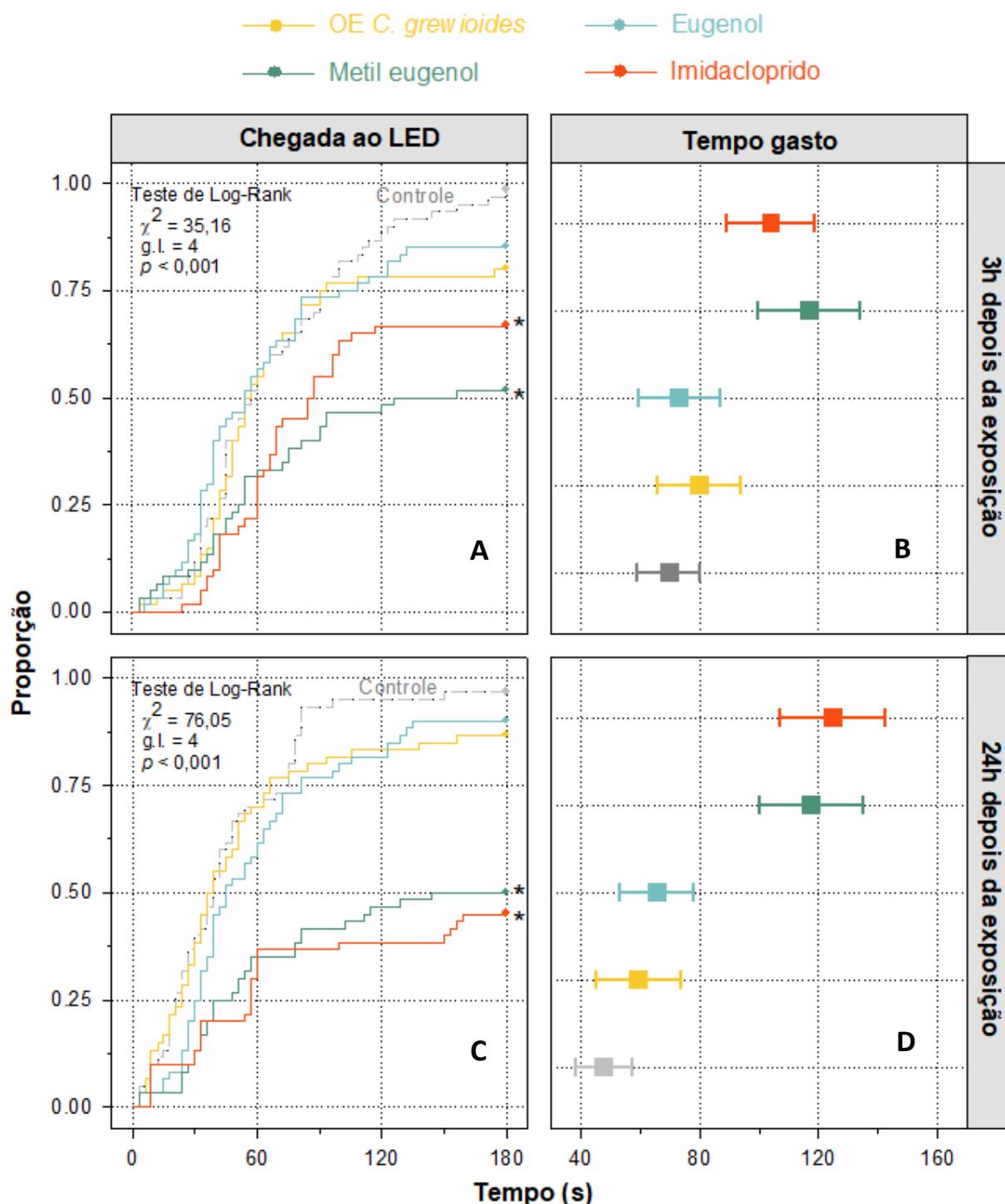


Figura 4. Proporção e tempo gasto por operárias de *Tetragonisca angustula* para chegarem até a fonte de luz (LED 10W, 6500k, 750 lumens): **A)** e **B)** após 3h de exposição aos tratamentos óleo essencial de *Croton grewioides* (Euphorbiaceae), seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol e ao inseticida comercial imidacloprido; **C)** e **D)** após 24h de exposição aos mesmos tratamentos. Chegada ao LED = curvas seguidas por asterisco diferem significativamente do controle pelo método de Holm-Sidak. Tempo gasto = tempo gasto para 50% das operárias chegarem ao LED. As barras de erro representam os intervalos de confiança a 95% de probabilidade e os quadrados as médias observadas nos bioensaios.

5. DISCUSSÃO

Inseticidas pertencentes à classe dos neonicotinoides são mundialmente utilizados devido à eficácia desses compostos no controle de insetos-praga. Contudo, estudos têm apontado efeitos indesejados dos neonicotinoides sobre espécies não-alvo, como por exemplo, em abelhas (Goulson, 2013; Benuszak, Laurent e Chauzat, 2017). Neste trabalho, verificamos que o OE de *C. grewioides* e seus compostos majoritários foram muito menos tóxicos às abelhas do que o inseticida organossintético imidacloprido. Por outro lado, o composto majoritário metil eugenol causou efeito subletal no comportamento de voo de *T. angustula*, assim como observado para o imidacloprido.

Apesar da grande importância das diferentes espécies de abelhas para os serviços de polinização, relativamente poucos estudos têm sido realizados com as abelhas sem ferrão em comparação à abelha *A. mellifera*. Aqui demonstramos que o inseticida imidacloprido é aproximadamente 51 vezes mais letal para a abelha sem ferrão *T. angustula* ($DL_{50} = 0,0000607 \mu\text{g}/\text{mg}$) do que para *A. mellifera* ($DL_{50} = 0,00308 \mu\text{g}/\text{mg}$) (Santos *et al.* 2018). Essa vulnerabilidade de *T. angustula* ao inseticida convencional pode ser explicada pela diferença de tamanho entre as duas espécies, uma vez que *A. mellifera* tem 10-15 mm de porte médio (Matos *et al.* 2021) e *T. angustula* aproximadamente 4 mm (Menezes *et al.*, 2023). Outra característica que pode estar relacionada ao diferente nível de toxicidade entre essas abelhas é a capacidade de desintoxicação, que pode ocorrer por exemplo, pela glutathione S-transferase e principalmente monooxigenases do citocromo P450 (ex.: enzimas com ação protetora às substâncias químicas prejudiciais ao organismo) (Nocelli *et al.*, 2012; Stevenson, Nicolson e Wright, 2017).

Apesar dos bioinseticidas serem menos tóxicos do que o inseticida comercial, nas maiores doses (DL_{90}) todos os tratamentos causaram rápida mortalidade sobre as abelhas. O tempo médio para mortalidade de 50% dos indivíduos foi em torno ou menor do que 1,5h em todos os tratamentos. Esse tempo foi menor do que o observado por Matos *et al.* (2021) para a abelha sem ferrão *Nannotrigona aff. testaceicornis* tratada com imidacloprido, outros OEs e pesticidas organossintéticos.

Além do efeito letal, o imidacloprido também causou efeito subletal sobre *T. angustula*, reduzindo sua capacidade de orientação de voo em relação aos bioinseticidas OE de *C. grewioides* e eugenol. Estudos anteriores, realizados com a abelha *A. mellifera* (Santos *et al.*, 2018) e com a abelha sem ferrão *Nannotrigona aff. testaceicornis* (Matos *et al.*, 2021) mostraram que os neonicotinoides também afetaram significativamente a habilidade de voo das

abelhas, em comparação aos bioinseticidas provenientes dos OEs de plantas. Outros estudos também demonstraram efeitos negativos adicionais dos neonecotinoides tanto sobre *A. mellifera* quanto sobre abelhas sem ferrão, interferindo no desenvolvimento, comportamento, atividades gerais do grupo e na capacidade de combater infecções (Nocelli *et al.*, 2012; Tomé *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2021).

No entanto, aqui também demonstramos que o composto majoritário metil eugenol causou prejuízos na capacidade de orientação de voo de *T. angustula* assim como o organossintético imidacloprido. Já foi demonstrado que o metil eugenol causa efeito de repelência sobre a cigarrinha marrom *Nilaparvata lugens* e atividade inseticida de contato em lagartas dobradeiras de folhas *Cnaphalocrocis medinalis* (Xu *et al.*, 2015). Independentemente do mecanismo de ação do metil eugenol, sabe-se que este composto consiste em um fenilpropanóide que está envolvido não somente na proteção das plantas contra organismos indesejáveis (herbívoros, bactérias e fungos), como também como atrativos para polinizadores (Tan e Nishida, 2012). Desta forma, poderíamos hipotetizar que o efeito subletal do metil eugenol sobre *T. angustula* seja decorrente de algum efeito atrativo desse composto que pode ter causado confundimento sobre as abelhas, dificultando sua orientação para a fonte de luz.

Assim, nosso estudo indica que o OE de *C. grewoides* e o seu majoritário eugenol podem ser promissores para o controle alternativo de pragas, uma vez que também são mais seletivos à abelha sem ferrão. Estudos anteriores demonstraram que os compostos aqui testados têm efeitos desejáveis no manejo de pragas, além de apresentarem seletividade ecológica. O OE de *C. grewoides* mostra ação tóxica no controle de pupas da praga frutífera *Ceratitis capitata* (Figueiredo *et al.*, 2010). Santos *et al.* (2023) verificaram que a presença do composto eugenol no OE de *C. grewoides* não só surtiu efeito mais tóxico para o inseto-praga *Chrysodeixis includens* como também mostrou seletividade para o inimigo natural *Podisus nigrispinus*.

6. CONCLUSÃO

Concluindo, o presente estudo mostra que o bioinseticida OE de *C. grewoides* e seu majoritário eugenol possuem efeito vantajoso sobre *T. angustula* e podem consistir em potenciais alternativas ao manejo mais sustentável. No entanto, esse estudo também ressalta a importância de se avaliar cuidadosamente os efeitos subletais dos bioinseticidas derivados de plantas. Aqui demonstramos, por exemplo, que o metil eugenol apesar de não apresentar

elevada mortalidade em baixas doses, apresenta efeito subletal tão indesejável quanto o observado para o neonicotinoide imidacloprido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As referências foram organizadas seguindo o modelo da ABNT-UFS.

- AGÜERO, J. I.; ROLLIN, O.; TORRETTA, J. P.; AIZEN, M. A.; REQUIER, F.; GARIBALDI, L. A. Impactos de la abeja melífera sobre plantas y abejas silvestres en hábitats naturales. **Ecosistemas: revista científica y tecnica de ecologia y medio ambiente**, v. 27, n. 2, p. 60–69, 2018.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils—A review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.
- BARASCOU, L.; BRUNET, J.-L.; BELZUNCES, L.; DECOURTYE, A.; HENRY, M.; FOURRIER, J.; LE CONTE, Y.; ALAUX, C. Pesticide risk assessment in honeybees: Toward the use of behavioral and reproductive performances as assessment endpoints. **Chemosphere**, v. 276, p. 1-14, 2021.
- BARBIÉRI, C.; FRANCOY, T. M. Theoretical model for interdisciplinary analysis of human activities: Meliponiculture as an activity that promotes sustainability. **Ambiente & sociedade**, v. 23, p. 1–20, 2020.
- BARBOSA, M. DE M.; FERNANDES, A. C. C.; ALVES, R. S. C.; ALVES, D. A.; BARBOSA JUNIOR, F.; BATISTA, B. L.; RIBEIRO, M. C.; HORNOS CARNEIRO, M. F. Effects of native forest and human-modified land covers on the accumulation of toxic metals and metalloids in the tropical bee *Tetragonisca angustula*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 215, p. 112-147, 2021.
- BARTH, F. G.; HRNCIR, M.; JARAU, S. Signals and cues in the recruitment behavior of stingless bees (Meliponini). **Journal of comparative physiology A**, v. 194, n. 4, p. 313–327, 2008. TIREI O “ET AL.” QUE ESTAVA NA CITAÇÃO
- BENUSZAK, J.; LAURENT, M.; CHAUZAT, M.-P. The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: room for improvement in research. **Science of The Total Environment**, v. 587–588, p. 423–438, 2017.
- BEZERRA, L. A.; CAMPBELL, A. J.; BRITO, T. F.; MENEZES, C.; MAUÉS, M. M. Pollen loads of flower visitors to açai palm (*Euterpe oleracea*) and implications for management of pollination services. **Neotropical entomology**, v. 49, n. 4, p. 482–490, 2020.

- BLACQUIÈRE, T.; SMAGGHE, G.; GESTEL, C. A. M. VAN; MOMMAERTS, V. Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. **Ecotoxicology**, v. 21, p. 973–992, 2012.
- BRAGA, J. A.; SALES, E. O.; NETO, J. S.; CONDE, M. M.; BARTH, O. M.; LORENZON, M. C. As fontes florais para *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera: Apidae). **A abelha jataí: Flora visitada na Mata Atlântica**. Ed. Letras e Versos, Rio de Janeiro, p. 39-52, 2014.
- CALAZANS, C. C. **Diversidade e abundância de visitantes florais e sua influência na qualidade de frutos em pomares de goiabeira (*Psidium guajava* L., MYRTACEAE) no alto sertão sergipano**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- CAMPOS, R. N. S.; BACCI, L.; ARAÚJO, A. P. A.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SANTOS, G. R. A.; RONER, M. N. B. Essential oils of medicinal and aromatic plants in the control of tick *Rhipicephalus microplus*. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, p. 67-78, 2012.
- CHAKUYA, J.; GANDIWA, E.; MUBOKO, N.; MUPOSHI, V. K. A review of habitat and distribution of common stingless bees and honeybees species in African savanna ecosystems. **Tropical Conservation Science**, v. 15, p. 1-12, 2022.
- CORDEIRO, H. K.; MENEZES, C. Análise da capacidade produtiva de própolis em diferentes espécies de abelhas sem ferrão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 24., 2014, Vitória. **Anais: A zootecnia fazendo o Brasil crescer**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.
- D'AVILA, M.; MARCHINI, L. C. Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil. **Boletim de industria animal**, v. 62, n. 1, p. 79–90, 2013.
- DAMALAS, C. A.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 5, p. 1402-1419, 2011.
- DECOURTYE, A.; DEVILLERS, J.; CLUZEAU, S.; CHARRETON, M.; PHAM-DELÈGUE, M.-H. Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in

- honeybees under semi-field and laboratory conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 57, n. 3, p. 410–419, 2004.
- DELKASH-ROUDSARI, S.; CHICAS-MOSIER, A. M.; GOLDANSAZ, S. H.; TALEBI-JAHROMI, K.; ASHOURI, A.; ABRAMSON, C. I. Assessment of lethal and sublethal effects of imidacloprid, ethion, and glyphosate on aversive conditioning, motility, and lifespan in honey bees (*Apis mellifera* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 204, p. 111108, 2020.
- DI PRISCO, G.; CAVALIERE, V.; ANNOSCIA, D.; VARRICCHIO, P.; CAPRIO, E.; NAZZI, F.; GARGIULO, G.; PENNACCHIO, F. Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 46, p. 18466–18471, 2013.
- ELBERT, A.; HAAS, M.; SPRINGER, B.; THIELERT, W.; NAUEN, R. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. **Pest management science**, v. 64, p. 1099–1105, 2008.
- FAROOQUI, T. A potential link among biogenic amines-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: a unique hypothesis. **Neurochemistry International**, v. 62, n. 1, p. 122–136, 2013.
- FELTHAM, H.; PARK, K.; GOULSON, D. Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. **Ecotoxicology**, v. 23, p. 317–323, 2014.
- FERRARI, R. R.; RICARDO, P. C.; DIAS, F. C.; ARAUJO, N. DE S.; SOARES, D. O.; ZHOU, Q.-S.; ZHU, C.-D.; COUTINHO, L. L.; ARIAS, M. C.; BATISTA, T. M. The nuclear and mitochondrial genome assemblies of *Tetragonisca angustula* (Apidae: Meliponini), a tiny yet remarkable pollinator in the Neotropics. **BMC genomics**, v. 25, n. 587, p. 1-15, 2024.
- FIGUEIREDO, W. R. S.; OLIVEIRA, F. Q. DE; OLIVEIRA, R. DE; BATISTA, J. DE L.; BRITO, C. H. DE. Bioactivity of oil from *Croton grewoides* on the control of mediterranean fruit fly. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 4, p. 113-118, 2010.

- FISCHER, J.; MÜLLER, T.; SPATZ, A.-K.; GREGGERS, U.; GRÜNEWALD, B.; MENZEL, R. Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e91364, 2014.
- FRANCISCO, F. O.; SANTIAGO, L. R.; MIZUSAWA, Y. M.; OLDROYD, B. P.; ARIAS, M. C. Population structuring of the ubiquitous stingless bee *Tetragonisca angustula* in southern Brazil as revealed by microsatellite and mitochondrial markers. **Insect science**, v. 24, p. 877–890, 2017.
- GBYLIK-SIKORSKA, M.; SNIEGOCKI, T.; POSYNIAK, A. Determination of neonicotinoid insecticides and their metabolites in honey bee and honey by liquid chromatography tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography B**, v. 990, p. 132–140, 2015.
- GILL, R. J.; RAINE, N. E. Chronic impairment of bumblebee natural foraging behaviour induced by sublethal pesticide exposure. **Functional Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1459–1471, 2014.
- GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. **Nature**, v. 491, p. 105–108, 2012.
- GOSWAMI, V.; SRIVASTAVA, P.; KHAN, M. S. Efficacy of essential oils against *Varroa destructor* infesting *Apis mellifera* Linn. colonies and their impact on brood development. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 6, n. 1, p. 27–30, 2014.
- GOULSON, D. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 977–987, 2013.
- GOULSON, D.; NICHOLLS, E.; BOTÍAS, C.; ROTHERAY, E. L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 6229, p. 1255–1257, 2015.
- HAMMEL, B.; VOLLET-NETO, A.; MENEZES, C.; NASCIMENTO, F. S.; ENGELS, W.; GRUTER, C. Soldiers in a stingless bee: work rate and task repertoire suggest they are an elite force. **The American Naturalist**, v. 187, n. 1, p. 120–129, 2015.

- HENRY, M.; BÉGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J.-F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. **Science**, v. 336, p. 348–350, 2012.
- HIKAL, W. M.; BAESHEN, R. S.; SAID-AL AHL, H. A. H. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. **Cogent biology**, v. 3, p. 1-16, 2017.
- ISLAM, N.; AMJAD, M.; HAQ, E. U.; STEPHEN, E.; NAZ, F. Efficacy of Essential Oils and Formic Acid in the Management of *Tropilaelaps clareae* in *Apis mellifera* Linnaeus Colonies in Relation to Honey Production. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 30, n. 2, p. 194–201, 2017.
- ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, n. 8-10, p. 603-608, 2000.
- ISMAN, M. B.; MACHIAL, C. M. Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. **Advances in Phytomedicine**, v. 3 p. 29-44, 2006.
- IWAMA, S. A influência de fatores climáticos na atividade externa de *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponinae). **Boletim de Zoologia**, v. 2, p. 189-201, 1977.
- JACOB, C. R. O.; ZANARDI, O. Z.; MALAQUIAS, J. B.; SILVA, C. A. S.; YAMAMOTO, P. T. The impact of four widely used neonicotinoid insecticides on *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Apidae). **Chemosphere**, v. 224, p. 65-70, 2019.
- KATUMO, D. M.; LIANG, H.; OCHOLA, A. C.; LV, M.; WANG, Q.-F.; YANG, C.-F. Pollinator diversity benefits natural and agricultural ecosystems, environmental health, and human welfare. **Plant Diversity**, v. 44, n. 5, p. 429–435, 2022.
- KHALIFA, S. A. M. *et al.* Overview of bee pollination and its economic value for crop production. **Insects**, v. 12, n. 8, p. 1-23, 2021.
- KIM, K. H.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 525-535, 2017.
- KORDALI, S.; CAKIR, A.; MAVI, A.; KILIC, H.; YILDIRIM, A. Screening of chemical composition and antifungal and antioxidant activities of the essential oils from three Turkish *Artemisia* Species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 5, p. 1408–1416, 2005.

- KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. **Biopesticides International**, v. 4, n. 1, p. 63-84, 2008.
- KUMAR, S.; MAHAPATRO, G. K.; YADAV, D. K.; TRIPATHI, K.; KOLI, P.; KAUSHIK, P.; SHARMA, K.; NEBAPURE, S. Essential oils as green pesticides: An overview. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 92, n. 11, p. 1298-1305, 2022.
- KWAPONG, P.; AIDOO, K.; COMBEY, R.; KARIKARI, A. **Stingless bees: Importance, management and utilization: A training manual for stingless beekeeping**. p. 1-72, 2010.
- LEOCÁDIO, R. R. V.; SEGUNDO, A. K. R.; PESSIN, G. A Brazilian native bee (*Tetragonisca angustula*) dataset for computer vision. **Data in brief**, v. 55, p. 1-8, 2024.
- LEONHARDT, S. D. Chemical ecology of stingless bees. **Journal of chemical ecology**, v. 43, p. 385–402, 2017.
- LIMA, M. A. P.; MARTINS, G. F.; OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C. Agrochemical induced stress in stingless bees: peculiarities, underlying basis, and challenges. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 202, n. 9–10, p. 733–747, 2016.
- MALASPINA, O.; DA SILVA-ZACARIN, E. C. M. Cell markers for ecotoxicological studies in target organs of bees. **Journal of Morphological Sciences**, v. 23, n. 3, p. 303-309, 2006.
- MARTINS, C. F.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; KOEDAM, D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Espécies arbóreas utilizadas para nidificação por abelhas sem ferrão na caatinga (Seridó, PB; João Câmara, RN). **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2004.
- MATEUS, S.; FERREIRA-CALIMAN, M. J.; MENEZES, C.; GRUTER, C. Beyond temporal-polyethism: division of labor in the eusocial bee *Melipona marginata*. **Insectes Sociaux**, v. 66, p. 317-328, 2019.
- MATHIASSEN, M. E.; REHAN, S. M. Wild bee declines linked to plant-pollinator network changes and plant species introductions. **Insect conservation and diversity**, v. 13, n. 6, p. 595–605, 2020.
- MATOS, W. B.; SANTOS, A. C. C.; LIMA, A. P. S.; SANTANA, E. D. R.; SILVA, J. E.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Potential source of ecofriendly insecticides: essential oil induces avoidance and cause lower impairment on the activity

- of a stingless bee than organosynthetic insecticides, in laboratory. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 209, p. 111764, 2021.
- MELO, B. A. DE; DE OLIVEIRA, S. R.; LEITE, D. T.; BARRETO, C. F.; SILVA, H. DE S. Inseticidas botânicos no controle de pragas de produtos armazenados. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 1-10, 2011.
- MELO, B. A. DE; OLIVEIRA, S. R. DE; LEITE, D. T.; BARRETO, C. F.; SILVA, H. DE S. Inseticidas botânicos no controle de pragas de produtos armazenados. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 01–10, 2011.
- MENEZES, C.; ALVES, D. A.; LUCENA, D. A. A.; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas sem ferrão relevantes para a meliponicultura no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Estudos das Abelhas, 2023.
- MIOTELO, L.; REIS, A. L. M. DOS; ROSA-FONTANA, A.; PACHÚ, J. K. DA S.; MALAQUIAS, J. B.; MALASPINA, O.; ROAT, T. C. A food-ingested sublethal concentration of thiamethoxam has harmful effects on the stingless bee *Melipona scutellaris*. **Chemosphere**, v. 288, p. 1-12, 2022.
- MODRO, A. F. H.; SOUZA, S. D.; ABURAYA, F. H.; MAIA, E. Conhecimento dos moradores do médio Araguaia, Estado do Mato Grosso, sobre a utilidade de produtos de abelhas (Hymenoptera, Apidae). **Acta scientiarum. Biological sciences**, v. 31, n. 4, p. 421–424, 2009.
- MORGADO, L. N.; LORENZON, M. C. A. Recurso polínico utilizado por *Tetragonisca angustula* Latreille. **A abelha jataí: Flora visitada na Mata Atlântica**. Ed. Letras e Versos, Rio de Janeiro, p. 53-57, 2014.
- MU, H.; WANG, K.; YANG, X.; XU, W.; LIU, X.; RITSEMA, C. J.; GEISSEN, V. Pesticide usage practices and the exposure risk to pollinators: a case study in the North China Plain. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 241, p. 113-713, 2022.
- NIEH, J. C. Recruitment communication in stingless bees (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). **Apidologie**, v. 35, n. 2, p. 159–182, 2004.
- NOCELLI, R. C. F.; ROAT, T. C.; ZACARIN, E. C. M. DA S.; MALASPINA, O. Riscos de pesticidas sobre as abelhas. **Semana dos Polinizadores**, v. 3, p. 196-212, 2012.

- NOGUEIRA, D. S. Overview of stingless bees in Brazil (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). **EntomoBrasilis**, v. 16, p. e1041, 2023.
- NOVAIS, J. S. DE; ABSY, M. L.; SANTOS, F. DE A. R. DOS. Pollen grains in honeys produced by *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (Hymenoptera: Apidae) in tropical semi-arid areas of north-eastern Brazil. **Arthropod-plant interactions**, v. 7, n. 6, p. 619–632, 2013.
- OHLINGER, B. D.; SCHÜRCH, R.; DURZI, S.; KIETZMAN, P. M.; SILLIMAN, M. R.; COUVILLON, M. J. Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) Decrease Foraging but Not Recruitment after Neonicotinoid Exposure. **Journal of Insect Science**, v. 22, n. 1, p. 1–11, 2022.
- PALMER, M. J.; MOFFAT, C.; SARANZEWA, N.; HARVEY, J.; WRIGHT, G. A.; CONNOLLY, C. N. Cholinergic pesticides cause mushroom body neuronal inactivation in honeybees. **Nature communications**, v. 4, p. 1–8, 2013.
- PARK, Y. L.; TAK, J. H. Essential Oils for Arthropod Pest Management in Agricultural Production Systems. **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety**, p. 61–70, 2016.
- PEDRO, S. R. M. The Stingless Bee Fauna In Brazil (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 348–354, 2014.
- PICHERSKY, E.; GERSHENZON, J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. **Current opinion in plant biology**, v. 5, n. 3, p. 237–243, 2002.
- PRATO, M. **Influência da quantidade de alimento sobre a produção de sexuais e a determinação de castas em três espécies de abelhas sem ferrão**. 2015. Tese (Doutorado em Entomologia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, SP, 2015.
- RATTAN, R. S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop protection**, v. 29, n. 9, p. 913–920, 2010.
- RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology letters**, v. 11, n. 5, p. 499–515, 2008.
- RODGER, J. G. *et al.* Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines. **Science Advances**, v. 7, n. 42, p. 1–10, 2021.

- RODRIGUES, T. C.; GOIS, I. B.; FERNANDES, R. P. M.; BLANK, A. F.; SANDES, R. D. D.; NETA, M. T. S. L.; NARAIN, N.; ARRIGONI-BLANK, M. F. Chemical characterization and antimicrobial activity of essential oils from *Croton grewoides* Baill. accessions on the phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 193, p. 1-11, 2023.
- ROUBIK, D. W. Stingless bee (Apidae: Apinae: Meliponini) ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 231-256, 2023.
- RUNDLÖF, M.; ANDERSSON, G. K. S.; BOMMARCO, R.; FRIES, I.; HEDERSTRÖM, V.; HERBERTSSON, L.; JONSSON, O.; KLATT, B. K.; PEDERSEN, T. R.; YOURSTONE, J.; SMITH, H. G. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature**, v. 521, p. 77–80, 2015.
- SANCHEZ-BAYO, F.; GOKA, K. Pesticide residues and bees – A risk assessment. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. e94482, 2014.
- SANDROCK, C.; TANADINI, L. G.; PETTIS, J. S.; BIESMEIJER, J. C.; POTTS, S. G.; NEUMANN, P. Sublethal neonicotinoid insecticide exposure reduces solitary bee reproductive success: Loss of pollinator fitness. **Agricultural and forest entomology**, v. 16, p. 119–128, 2014.
- SANTOS, A. C. C.; CRISTALDO, P. F.; ARAÚJO, A. P. A.; MELO, C. R.; LIMA, A. P. S.; SANTANA, E. D. R.; OLIVEIRA, B. M. S. DE; OLIVEIRA, J. W. S.; VIEIRA, J. S.; BLANK, A. F.; BACCI, L. *Apis mellifera* (Insecta: Hymenoptera) in the target of neonicotinoids: an one-way ticket? bioinsecticides can be an alternative. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 28–36, 2018.
- SANTOS, N. C. **Bioatividade de óleos essenciais de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários: toxicidade sobre *Chrysodeixis includens* e seletividade sobre o predador *Podisus nigrispinus***. 2021. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2021.
- SANTOS, N. C.; SILVA, J. E. DA; SANTOS, A. C. C.; DANTAS, J. DE O.; TAVARES, S. R. S. A.; ANDRADE, V. S.; OLIVEIRA, S. D. DA S.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Bioactivity of essential oils from *Croton grewoides* and its major compounds: toxicity to soybean looper *Chrysodeixis includens* and selectivity to the

- predatory stink bug *Podisus nigrispinus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 7, p. 18798–18809, 2023.
- SAS Institute Inc, 2002. Sas/Stat. SAS/STAT 9.2 User's Guid. Introd. Staveley, J.P., Law, S.A., Fairbrother, A., Menzie, C.A., 2014. A causal analysis of observed declines in managed honey bees (*Apis mellifera*). **Hum. Ecol. Risk Assess**, v. 20, 566–591.
- SCHULER, M. A. The role of cytochrome P450 monooxygenases in plant-insect interactions. **Plant physiology**, v. 112, n. 4, p. 1411-1419, 1996.
- SILVA, C. G. V.; ZAGO, H. B.; JÚNIOR, H. J. G. S.; CAMARA, C. A. G.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, R.; SCHWARTZ, M. O. E.; LUCENA, M. F. A. Composition and insecticidal activity of the essential oil of *Croton grewoides* Baill. against Mexican bean weevil (*Zabrotes subfasciatus* Boheman). **Journal of Essential Oil Research**, v. 20, n. 2, p. 179-182, 2008.
- SILVA, W. P.; PAZ, J. R. L. DA. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. **Natureza on line**, v. 10, n. 3, p. 146-152, 2012.
- STANLEY, D. A.; GARRATT, M. P. D.; WICKENS, J. B.; WICKENS, V. J.; POTTS, S. G.; RAINE, N. E. Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. **Nature**, v. 528, p. 548–550, 2015.
- STEVENSON, P. C.; NICOLSON, S. W.; WRIGHT, G. A. Plant secondary metabolites in nectar: impacts on pollinators and ecological functions. **Functional Ecology**, v. 31, n. 1, p. 65–75, 2017.
- TAN, K. H.; NISHIDA, R. Methyl eugenol: its occurrence, distribution, and role in nature, especially in relation to insect behavior and pollination. **Journal of insect science**, v. 12, n. 1, p. 56, 2012.
- TAYE, R. R. An overview on the diversity, nesting behaviour and importance of stingless bees (Hymenoptera; Apidae). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 1, p. 529-532, 2020.
- TOLEDO-HERNÁNDEZ, E.; PEÑA-CHORA, G.; HERNÁNDEZ-VELÁZQUEZ, V.M.; LORMENDEZ, C. C.; TORIBIO-JIMÉNEZ, J.; ROMERO-RAMÍREZ, Y.; LEÓN-RODRÍGUEZ, R. The stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): a review of the current threats to their survival. **Apidologie**, v. 53, n. 8, p. 1-23, 2022.

- TOMÉ, H. V. V.; BARBOSA, W. F.; MARTINS, G. F.; GUEDES, R. N. C. Spinosad in the native stingless bee *Melipona quadrifasciata*: regrettable non-target toxicity of a bioinsecticide. **Chemosphere**, v. 124, p. 103–109, 2015.
- TOMÉ, H. V. V.; MARTINS, G. F.; LIMA, M. A. P.; CAMPOS, L. A. O.; GUEDES, R. N. C. Imidacloprid-Induced Impairment of Mushroom Bodies and Behavior of the Native Stingless Bee *Melipona quadrifasciata anthidioides*. **PloS one**, v.7, n. 6 p. e38406, 2012.
- VALADARES, L.; VIEIRA, B. G.; NASCIMENTO, F. S. DO; SANDOZ, J.-C. Brain size and behavioral specialization in the jataí stingless bee (*Tetragonisca angustula*). **The Journal of comparative neurology**, v. 530, n. 13, p. 2304–2314, 2022.
- VENTURIERI, G. C. **Criação de Abelhas Indígenas sem Ferrão**. 2. ed. rev. atual. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 60p., 2008.
- VIDAL, T. G. **Revisão de literatura: importância das abelhas nativas (meliponas) para os pequenos produtores**. 2017. Monografia (Graduação em Tecnologia em Agroecologia) – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, PB, 2017.
- WHITEHORN, P. R.; O’CONNOR, S.; WACKERS, F. L.; GOULSON, D. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science**, v. 336, p. 351–352, 2012.
- WOLF, S.; LENSKY, Y.; PALDI, N. Genetic variability in flower attractiveness to honeybees (*Apis mellifera* L.) within the genus *Citrullus*. **HortScience**, v. 34, n. 5, p. 860-863, 1999.
- XAVIER, V. M.; MESSAGE, D.; PICANÇO, M. C.; BACCI, L.; SILVA, G. A.; BENEVENUTE, J. DA S. Impact of botanical insecticides on indigenous stingless bees (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, v. 56, p. 1-14, 2010.
- XAVIER, V. M.; MESSAGE, D.; PICANÇO, M. C.; CHEDIAK, M.; SANTANA JÚNIOR, P. A.; RAMOS, R. S.; MARTINS, J. C. Acute toxicity and sublethal effects of botanical insecticides to honey bees. **Journal of Insect Science**, v. 15, n. 1, p. 1–6, 2015.
- XU, H.-X.; ZHENG, X.-S.; YANG, Y.-J.; TIAN, J.-C.; LU, Y.-H.; TAN, K.-H.; HEONG, K.-L.; LU, Z.-X. Methyl eugenol bioactivities as a new potential botanical insecticide

against major insect pests and their natural enemies on rice (*Oriza sativa*). **Crop protection (Guildford, Surrey)**, v. 72, p. 144–149, 2015.

YAMAMOTO, M.; BARBOSA, A. A. A.; OLIVEIRA, P. E. A. M. DE. A polinização em cultivos agrícolas e a conservação das áreas naturais: o caso do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis F. Flavicarpa* Deneger). **Oecologia Australis**, v. 14, n. 01, p. 174-192, 2010.

YANG, E. C.; CHUANG, Y. C.; CHEN, Y. L.; CHANG, L. H. Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 6, p. 1743–1748, 2008.

ZANETTE, L. R. S.; MARTINS, R. P.; RIBEIRO, S. P. Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 105-121, 2005.