



**ROSAMARA SOUZA COELHO**

**INTERAÇÕES TRÓFICAS ENVOLVENDO MOSCAS-DAS-  
FRUTAS: PARASITOIDES E *Euborellia annulipes*  
(DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) COMO ALIADOS DE  
CONTROLE**

**LAVRAS – MG  
2022**

**ROSAMARA SOUZA COELHO**

**INTERAÇÕES TRÓFICAS ENVOLVENDO MOSCAS-DAS-FRUTAS:  
PARASITOIDES E *Euborellia annulipes* (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) COMO  
ALIADOS DE CONTROLE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

Prof<sup>a</sup>: Dr<sup>a</sup>. Rosangela Cristina Marucci  
Orientadora

Prof<sup>a</sup>: Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Coelho, Rosamara Souza.

Interações tróficas envolvendo moscas-das-frutas: Parasitoides e *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) como aliados de controle / Rosamara Souza Coelho. - 2022.

112 p. : il.

Orientador(a): Rosangela Cristina Marucci.

Coorientador(a): Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Controle Biológico. 2. Relações tritróficas de moscas-das-frutas. 3. Potencial predatório. I. Marucci, Rosangela Cristina. II. Peñafior, Maria Fernanda Gomes Villalba. III. Título.

**ROSAMARA SOUZA COELHO**

**INTERAÇÕES TRÓFICAS ENVOLVENDO MOSCAS-DAS-FRUTAS:  
PARASITOIDES E *Euborellia annulipes* (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) COMO  
ALIADOS DE CONTROLE**

**TROPHIC INTERACTIONS ASSOCIATED TO FRUIT FLIES: PARASITOIDS AND  
*Euborellia annulipes* (DERMAPTERA: ANISOLABIDIDAE) AS CONTROL ALLIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 24 de agosto de 2022.

Dr<sup>a</sup>. Rosangela Cristina Marucci UFLA

Dr. Luis Claudio Paterno Silveira UFLA

Dr<sup>a</sup>. Clarice Diniz Alvarenga Corsato UNIMONTES

Dr. Elton Lucio de Araujo UFERSA

Dr<sup>a</sup>. Natalia Naranjo Guevara Fontys University of Applied Sciences

Prof<sup>a</sup>: Dr<sup>a</sup>. Rosangela Cristina Marucci  
Orientadora

Prof<sup>a</sup>: Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflores  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2022**

Dedicatória

*Dedico a vovô Tomaz Rabelo (em memória), por ser meu maior incentivador.*

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Processo: 141130/2018-0.

Agradeço, inicialmente, à Universidade Federal de Lavras, UFLA e ao Departamento de Entomologia, pela realização do doutorado. Sem dúvidas, estou realizando um grande sonho pessoal e profissional. Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Rosangela Cristina Marucci, pela importante oportunidade oferecida, pelos ensinamentos, sua disponibilidade e atenção. À minha coorientadora Profa. Dra. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor, pelo valioso incentivo e respeito. Obrigada por me oportunizar trabalhar com Ecologia Química e por contribuir com cada etapa dos experimentos. Lembro com carinho das vezes que você esteve no laboratório, me fornecendo apoio e conhecimento na condução dos testes. Agradeço de forma especial à Profa. Dra. Clarice Diniz Alvarenga, pela valiosa contribuição na taxonomia de tefritídeos, direcionamentos e acima de tudo, por sua disponibilidade, atenção e gentileza sempre. Ao meu querido Marvin Pec, antes de tudo, por ser um maravilhoso amigo e por todas as contribuições nas análises estatísticas, discussões e conhecimentos compartilhados. Ao Dr. Pedro Maranhã Peche, por todo apoio no desenvolvimento das coletas no Pomar de Fruticultura UFLA. Ao prof. Dr. Luis Claudio Paterno Silveira, por todas as vezes que me recebeu em sua sala para solucionar as minhas dúvidas e contribuir com as discussões. Também agradeço à Ana Luisa Rodrigues, Joana Gladenucci e Emanuel da Costa Alves, especialmente pela valiosa amizade e respeito construídos. Obrigada por todas as vezes que se disponibilizaram a contribuir com as coletas/aquisição de frutos e pelo auxílio nas avaliações dos diversos ensaios.

Agradeço também aos que contribuíram indiretamente com esta pesquisa, me dando carinho e trazendo alegria aos meus dias. Aos meus pais: Rosa Maria Souza Coelho, José Cicero Coelho e minha amada vovó Raimunda Rosa, por serem a minha família. Foram muitos momentos difíceis, mas conseguimos avançar e chegar até aqui. À minha querida tia Rosineide Souza, a quem eu tenho muito orgulho. Agradeço imensamente por todo o incentivo. A minha melhor amiga Rafaela Costa Pacheco, por me acolher e me dar o abraço mais sincero que eu poderia receber. Obrigada por me fazer sentir parte da sua família e me oportunizar estar presente em momentos tão importantes. Obrigada, especialmente, por me apresentar Sofia e Lupita. Ao Dr. Cherre Sade, por ser meu irmão do coração e um grande pesquisador, me auxiliando sempre na resolução das minhas dúvidas. Obrigada por estar sempre presente e ser meu incentivador, desde a graduação até aqui. Aos meus colegas do Laboratório de controle biológico de pragas, LCBIOL, que tornaram meus dias mais leves e felizes. Aos técnicos do

Departamento de Entomologia, pela companhia diária e todos os auxílios. Agradeço também aos valiosos amigos que conquistei na UFLA: Sosténes Leal, Janet Alfonso Simonetti, Amanda Cristina Guimarães e Larah Martins, por estarem presentes na minha vida ao longo desses quatro anos. À Emanuela Mesquita, a quem carinhosamente chamo de Manu, pela valiosa amizade, apoio e contribuição na arte de algumas fotos. Por fim, agradeço especialmente à Isabel, pelos muitos auxílios com as normas do Departamento de Entomologia.

## RESUMO GERAL

*Ceratitis capitata* e *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) destacam-se pela polifagia e plasticidade fenotípica, impactando diretamente a fruticultura e os mercados de exportação. Conhecer o complexo moscas-das-frutas, bem como as variações de infestação e parasitismo entre frutíferas é, nesta perspectiva, fundamental para gerenciar os riscos e implementar táticas assertivas em pomares com diversidade de plantas hospedeiras. Além disso, a prospecção de novos agentes de biocontrole é uma estratégia particularmente interessante, especialmente quando consideramos inimigos naturais já presentes em campo, a exemplo do predador *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). Esse estudo determinou a composição do complexo moscas-das-frutas para um pomar na região Sul de Minas Gerais, Brasil e avaliou o papel dos voláteis do fruto da goiaba (*Psidium guajava*) na sinalização de abrigo e presença de presas por *E. annulipes*. Adicionalmente, determinou-se a predação da mosca-das-frutas *C. capitata* por *E. annulipes* e investigamos se o parasitismo por *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) influencia na predação, além de verificar se as marcações químicas do parasitoide *D. longicaudata* orientam a escolha de *E. annulipes* entre larvas parasitadas e não parasitadas. Para o levantamento em campo, cinco espécies de mosca-das-frutas e sete espécies de parasitoides foram associadas a cinco famílias botânicas. O maior índice de infestação foi obtido para araçá-boi (*Eugenia stipitata*) e consideramos pitanga (*Eugenia uniflora*) e araçá-roxo (*Psidium myrtilloides*) como repositórios de parasitoides de moscas-das-frutas. A amostragem utilizando armadilhas, possibilitou a captura de 10 espécies de moscas-das-frutas, sendo *A. amita* e *A. punctata* reportadas pela primeira vez para o estado de Minas Gerais. As espécies mais abundantes foram *C. capitata*, *A. fraterculus* e *A. obliqua*. Nossos resultados mostraram também que as fêmeas do predador *E. annulipes* utilizam pistas químicas voláteis para localizar frutos de goiaba, os quais servem como abrigo. Apesar de serem inicialmente atraídas pelos odores de frutos de goiaba infestados por presas, as tesourinhas preferem se abrigar em frutos não infestados após a predação. Além disso, as fêmeas predam um número maior de moscas-das-frutas do que os machos, independentemente do estágio de desenvolvimento da presa, mas ambos os sexos exibiram uma resposta funcional do tipo II. Curiosamente, os machos mataram as presas, mas não consumiram mais larvas de moscas-das-frutas do que as fêmeas. Em testes com chance de escolha, as fêmeas evitaram se alimentar de larvas parasitadas por *D. longicaudata*. No geral, esses achados são inéditos, agregam conhecimento e novas relações tróficas para moscas-das-frutas e indicam que *E. annulipes* é um potencial agente de controle biológico de *C. capitata*. Por evitar o consumo de larvas parasitadas por *D. longicaudata*, a combinação dos dois inimigos naturais é promissora, podendo resultar em efeito aditivo na mortalidade da praga.

**Palavras-chave:** *Anastrepha*. *Ceratitis*. Tesourinha. Comportamento. Resposta olfativa. Predação intraguilda.



## ABSTRACT

*Ceratitis capitata* and *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) stand out for their polyphagy and phenotypic plasticity, directly impacting fruit production and export markets. Knowing the fruit fly complex, as well as the variations in infestation and parasitism among fruit trees is, in this perspective, essential to manage risks and implement assertive tactics in orchards with a diversity of host plants. Furthermore, the prospect of new biocontrol agents is a particularly interesting strategy, especially when we consider natural enemies already present in the field, such as the predator *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae). This study determined the composition of the fruit fly complex for an orchard in southern Minas Gerais, Brazil and evaluated the role of guava (*Psidium guajava*) as repositories and prey presence by *E. annulipes*. Additionally, predation of the fruit fly *C. capitata* by *E. annulipes* was determined and we investigated whether parasitism by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) influences predation, in addition to verifying whether chemical markings of the parasitoid *D. longicaudata* guide the choice of *E. annulipes* between parasitized and non-parasitized larvae. For the field survey, five species of fruit flies and seven species of parasitoids were associated with five botanical families. The highest infestation rate was obtained for araçá-boi (*Eugenia stipitata*) and we considered pitanga (*Eugenia uniflora*) and araçá-roxo (*Psidium myrtoides*) as repositories of fruit fly parasitoids. Sampling with traps allowed the capture of 10 species of fruit flies, being *A. amita* and *A. punctata* reported for the first time for the state of Minas Gerais. The most abundant species were *C. capitata*, *A. fraterculus* and *A. obliqua*. Our results also showed that females of the predator *E. annulipes* use volatile chemical cues to locate guava fruits, which serve as a repository, and that despite being initially attracted by the odors of prey-infested guava fruits, they prefer to shelter in uninfested fruits after predation. Furthermore, females prey on a greater number of fruit flies than males, regardless of prey developmental stage, but both sexes exhibited a type II functional response. Interestingly, the males killed the prey but did not consume more fruit fly larvae than the females. In the choice tests, females avoided feeding on larvae parasitized by *D. longicaudata*. Overall, these findings are unprecedented, add knowledge and new trophic relationships for fruit flies and indicate that *E. annulipes* is a potential biological control agent for *C. capitata*. By avoiding the consumption of larvae parasitized by *D. longicaudata*, the combination of the two natural enemies is promising, and may result in an additive effect on pest mortality.

**Keywords:** *Anastrepha*. *Ceratitis*. Earwig. Behavior. Olfactory response. Intraguild predation.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>10</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>SEGUNDA PARTE.....</b>	<b>17</b>
	<b>ARTIGO 1 – Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em Minas Gerais, Brasil: Interações tróficas e novos relatos .....</b>	<b>17</b>
	<b>ARTIGO 2 – Do volatiles from the fruit-fly host signal shelter and prey presence? The case of the predatory earwig <i>Euborellia annulipes</i> .....</b>	<b>57</b>
	<b>ARTIGO 3 – Predation potential of the earwig <i>Euborellia annulipes</i> on fruit fly larvae and trophic interactions with the parasitoid <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> .....</b>	<b>84</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>110</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

Tefritídeos frugívoros (Diptera: Tephritidae) são guiados por estímulos químicos, visuais e táteis para plantas hospedeiras (CUNNINGHAM et al., 2016; DREW; PROKOPY; ROMIG, 2003; JALEEL et al., 2021; RATTANAPUN; AMORNSAK; CLARKE, 2009). Logo, as plantas desempenham funções cruciais na orientação de adultos para sítios onde há recursos essenciais à sobrevivência e reprodução, havendo, portanto, variações na atratividade/preferência das moscas-das-frutas dentre as espécies frutíferas (JALEEL et al., 2021; SOUSA et al., 2020). Os tefritídeos causam sérias ameaças a fruticultura, especialmente em virtude do potencial invasivo, polifagia e plasticidade fenotípica (LEMIC et al., 2021). O controle destas espécies é dificultado, particularmente, pela disponibilidade de frutíferas hospedeiras associadas ao caráter multivoltino. Os danos, entretanto, são muito mais significativos quando consideramos as perdas econômicas associadas as espécies-praga, incluindo as limitações à exportação de frutas frescas. No Brasil, *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) são reportadas infestando ampla diversidade de frutos de importância comercial ou não (ZUCCHI; MORAES, 2021; 2022). Enquanto *Anastrepha* spp. são nativas das Américas, *C. capitata* é uma espécie invasora, nativa da África Subsaariana e a única espécie do gênero presente em território nacional (DESCHEPPER et al., 2021).

*Anastrepha* é representada por 128 espécies no Brasil. Entretanto, das espécies registradas, apenas 60 tem seus hospedeiros conhecidos e destas, 28 espécies com apenas um hospedeiro associado (ZUCCHI; MORAES, 2022). Essa limitação de informação das plantas hospedeiras pode ser justificada por uma maioria dos estudos de levantamento envolvendo exclusivamente a amostragem de moscas-das-frutas por meio de armadilhas, realizadas, sobretudo, em cultivos comerciais. Ademais, há para este gênero, 318 espécies de plantas hospedeiras associadas, distribuídas em 59 famílias botânicas, sendo as principais: Myrtaceae, Sapotaceae e Fabaceae (ZUCCHI; MORAES, 2022). A mosca-das-frutas do mediterrâneo, *C. capitata*, é considerada uma das invasoras mais notórias (DESCHEPPER et al., 2021). No Brasil, ela aparece associada a 115 espécies hospedeiras e 31 famílias, dentre as quais destacam-se: Myrtaceae, Rutaceae, Rosaceae, Anacardiaceae e Sapotaceae (ZUCCHI; MORAES, 2021).

Embora sejam constantes os esforços para agregar conhecimento a respeito das interações tróficas envolvendo moscas-das-frutas, muitas informações ainda permanecem desconhecidas. É preciso, entretanto, considerar a extensão territorial e a diversificação das

paisagens brasileiras, aliadas a diversidade e disponibilidade das espécies frutíferas que viabilizam a permanência das espécies em campo. Por exemplo, o Estado de Minas Gerais concentra boa parte dos levantamentos de tefritídeos na região Norte do Estado (ALVARENGA et al., 2009; CAMARGOS et al., 2015; QUERINO et al., 2014; SOARES et al., 2020). Particularmente, esta região contém importantes projetos de fruticultura irrigada, tal como o Projeto de Irrigação Jaíba, que compreende desde pequenos agricultores até grandes áreas irrigadas corporativas (OLIVEIRA; SILVA; PEREIRA, 2018). O Sul do Estado, em contrapartida, tem uma diversificação das culturas agrícolas com potencial de expansão comercial, mas possui poucos trabalhos que consideram as espécies de moscas-das-frutas naturalmente dispersas em campo (ROSSI et al., 1998). Trabalhos de levantamento por meio da coleta de frutos hospedeiros são, nessa perspectiva, fundamentais para gerar conhecimento destas interações tão relevantes.

Considerando a dificuldade de controle das populações de moscas-das-frutas atreladas a ineficiência e restrições ao controle químico, o controle biológico com espécies de himenópteros parasitoides constituem uma ferramenta particularmente viável e importante (DIAS; MONTOYA; NAVA, 2022; PARANHOS; NAVA; MALAVASI, 2019). As coletas realizadas por meio da amostragem de frutos podem, nesse contexto, fornecer informações relevantes sobre parasitoides nativos e embasar a tomada de decisões para o manejo de tefritídeos. Além disso, frutos hospedeiros podem ser classificados como potenciais repositórios de inimigo naturais e, nessa perspectiva, contribuir para a manutenção destes parasitoides em campo. Himenópteros Opiinae (Braconidae) estão associados a tefritídeos de importância econômica no Brasil, sendo *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti, 1911) a espécie mais amplamente distribuída em território nacional (MARINHO; COSTA; ZUCCHI, 2018). Além disso, os Eucoilinae (Figitidae) também são reportados para o Brasil, sendo *Aganaspis pelleranoi* (Brèthes, 1924) a espécie mais frequente deste grupo (GUIMARÃES et al., 2003).

O parasitismo natural, entretanto, parece insuficiente na regulação das populações de moscas em campo, requerendo a adoção de ferramentas adicionais, a exemplo do controle biológico clássico e/ou aplicado. Para tanto, é desejável que estas espécies sejam facilmente criadas em condições artificiais, viabilizando posteriores liberações inundativas. Um estudo recente mostrou que *D. areolatus* tem potencial para ser utilizado em programas de controle biológico (RABELO et al., 2020). Entretanto, mais pesquisas ainda precisam ser desenvolvidas para melhorar a viabilidade das colônias de laboratório. Dentre as espécies de braconídeos, o parasitoide larva-pupa *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera: Braconidae), foi introduzido em 1994 no Brasil a partir dos Estados Unidos, para uso contra

moscas-das-frutas, incluindo *C. capitata* (WALDER et al., 1995). Esse parasitoide é considerado um dos principais agentes de biocontrole de moscas-das-frutas, especialmente pela facilidade de criação artificial, sua adaptabilidade e capacidade de forrageamento em frutos presentes na copa das árvores e/ou a nível do solo (GARCÍA-MEDEL et al., 2007; GARCIA; RICALDE, 2013; HARBI et al., 2018).

Como toda ferramenta de controle, os parasitoides também apresentam limitações em sua eficiência, reforçando a necessidade da adoção de múltiplas ferramentas que viabilizem o controle efetivo de tefritídeos. Por exemplo, parasitoides larva-pupa podem não alcançar, com seus ovipositores, as larvas hospedeiras que por ventura estejam mais profundamente ao epicarpo (MONTROYA et al., 2016). Além disso, a eficácia de parasitismo não é modulada apenas por características intrínsecas aos frutos, mas também pela espécie do hospedeiro tefritídeos (LÓPEZ-ARRIAGA et al., 2022; SÁ et al., 2018). Nesse contexto, as larvas que escaparem do parasitismo podem manter as gerações de moscas em campo e continuar gerando perdas de frutos. Nos ecossistemas, entretanto, outros agentes de regulação natural de moscas-das-frutas podem estar presentes e constituir estratégias particularmente interessantes, como é o caso da espécie de tesourinha *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) (Dermaptera: Anisolabididae).

*Euborellia annulipes* é considerada a espécie mais cosmopolita da ordem Dermaptera (KOCAREK; DVORAK; KIRSTOVA, 2015), exibe atividade predatória noturna e alta voracidade. Em campo, essa tesourinha parece ser fortemente atraída por fruto da família Mrytacea, tais como Araçá-boi e goiaba (*Psidium guajava* L.), infestados com imaturos de moscas-das-frutas (Coelho, R. S., observação pessoal). Relato anterior da predação dessa espécie sobre *Bactrocera dorsalis* (Handel, 1912) (Diptera: Tephritidae) foi verificado (CLANCY; MARUCCI; VAN DEN BOSCH, 1951) e, posteriormente, sobre *Anastrepha suspensa* Loew (1862) (Diptera: Tephritidae) (HENNESSEY, 1997), mas os estudos de predação parecem não ter evoluído.

Sabe-se que a longas distâncias, as misturas voláteis liberadas por frutos infestados (*herbivore-induced plant volatiles*, HIPVs), podem guiar os inimigos naturais para habitats com maior probabilidade de encontro com as presas (TAKABAYASHI; SHIOJIRI, 2019). Considerando que as tesourinhas requerem um substrato úmido e escuro para se proteger, os frutos hospedeiros de moscas-das-frutas podem prover não apenas alimento, como também abrigo e contribuir para a permanência destes indivíduos em campo. As tesourinhas são capazes de acessar o interior dos frutos por orifícios formados quando esses se desprendem da planta hospedeira, possibilitando o acesso a larvas mais jovens, que estejam mais internamente aos

frutos e que, ocasionalmente, escaparam do parasitismo (Coelho, R. S., observação pessoal). Por outro lado, um mesmo fruto pode conter larvas parasitadas e não parasitadas e nessa condição, a tesourinha pode escolher alimentar-se de larvas e/ou pupas de moscas previamente parasitadas ou evitá-las.

Com base no exposto, o objetivo geral dessa tese consistiu em estabelecer a composição do complexo moscas-das-frutas visando agregar informações sobre as espécies de tefritídeos, parasitoides e suas interações multitróficas, assim como avaliar o papel dos voláteis do fruto da goiaba na sinalização de abrigo e a presença de presas para tesourinha *E. annulipes*. Avaliou-se também a predação da mosca-das-frutas *C. capitata* por *E. annulipes* e se o parasitismo por *D. longicaudata* influencia na predação. Finalmente, verificou-se também se as marcações químicas do parasitoide *D. longicaudata* orientam a escolha de *E. annulipes* entre larvas parasitadas e não parasitadas. Foram testadas as seguintes hipóteses: (i) as espécies frutíferas influenciam as comunidades de moscas-das-frutas e espécies de parasitoides em um pomar diversificado no Sul de Minas Gerais; (ii) a infestação e parasitismo respondem à variação dos frutos hospedeiros; (iii) os frutos de goiaba infestados podem prover não só abrigo, mas também alimento para a manutenção e reprodução da espécie *E. annulipes*; (iv) *E. annulipes* preda larvas e pupas de *C. capitata* e fêmeas de tesourinhas são mais vorazes que os machos e (v) como o parasitoide *D. longicaudata* presumivelmente marca o hospedeiro após o parasitismo, a tesourinha, provavelmente, evita predação de larvas de moscas-das-frutas parasitadas. Assim, este estudo buscou fornecer informações sobre algumas das complexas relações que ocorrem entre as espécies de moscas-das-frutas e seus inimigos naturais, e como estes resultados podem respaldar táticas de controle biológico destes tefritídeos.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. D. et al. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus parasitóides em plantas hospedeiras de três municípios do norte do Estado de Minas Gerais. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 2, p. 195–204, 2009.
- CAMARGOS, M. G. et al. Moscas-das-frutas (Diptera: tephritidae) em cafezais irrigados no norte de minas gerais. **Coffee Science**, v. 10, n. 1, p. 28–37, 2015.
- CLANCY, D.; MARUCCI, P.; VAN DEN BOSCH, R. Notes on Natural Enemies of Tephritid Flies. **Hawaiian Entomological Society**, v. 14, n. 2, p. 229–235, 1951.
- CUNNINGHAM, J. P. et al. Do Fruit Ripening Volatiles Enable Resource Specialism in Polyphagous Fruit Flies? **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, n. 9, p. 931–940, 1 set. 2016.
- DESCHEPPER, P. et al. Looking at the big picture: worldwide population structure and range expansion of the cosmopolitan pest *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). **Biological Invasions**, v. 23, n. 11, p. 3529–3543, 2021.
- DIAS, N. P.; MONTOYA, P.; NAVA, D. E. A 30-year systematic review reveals success in tephritid fruit fly biological control research. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 170, n. 5, p. 370–384, 1 maio 2022.
- DREW, R. A. I.; PROKOPY, R. J.; ROMIG, M. C. Attraction of fruit flies of the genus *Bactrocera* to colored mimics of host fruit. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 107, n. 1, p. 39–45, 1 abr. 2003.
- GARCÍA-MEDEL, D. et al. Foraging behavior by six fruit fly parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) released as single- or multiple-species cohorts in field cages: Influence of fruit location and host density. **Biological Control**, v. 43, n. 1, p. 12–22, 2007.
- GARCIA, F. R. M.; RICALDE, M. P. Augmentative biological control using parasitoids for fruit fly management in Brazil. **Insects**, v. 4, n. 1, p. 55–70, 2013.
- GUIMARÃES, J. A. et al. Eucoilinae species (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) parasitoids of fruit-infesting dipterous larvae in Brazil: identity, geographical distribution and host associations. **Zootaxa**, v. 278, n. 1, p. 1, 2003.
- HARBI, A. et al. Functional response of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) over *Ceratitis capitata* (Wiedemann): Influence of temperature, fruit location and host density. **Crop Protection**, v. 109, p. 115–122, 1 jul. 2018.
- HENNESSEY, M. K. Predation on wandering larvae and pupae of caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in guava and carambola grove soils. **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 14, n. 2, p. 129–138, 1997.
- JALEEL, W. et al. Olfactory response of two different *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) on banana, guava, and mango fruits. **Journal of King Saud University - Science**, v. 33, n. 5, p. 101455, 1 jul. 2021.
- KOCAREK, P.; DVORAK, L.; KIRSTOVA, M. *Euborellia annulipes* (Dermaptera:

Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or beneficial inhabitant? **Applied Entomology and Zoology**, v. 50, n. 2, p. 201–206, 2015.  
 LEMIC, D. et al. Medfly Phenotypic Plasticity as A Prerequisite for Invasiveness and Adaptation. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12510, 12 nov. 2021.

LÓPEZ-ARRIAGA, F. et al. Host selection for the rearing of *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera: Braconidae), a fruit fly parasitoid. **Phytoparasitica**, v. 50, n. 1, p. 117–125, 1 fev. 2022.

MARINHO, C. F.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. Annotated checklist and illustrated key to braconid parasitoids (Hymenoptera, Braconidae) of economically important fruit flies (Diptera, Tephritidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4527, n. 1, p. 021–036, 2018.

MONTOYA, P. et al. Natural parasitism in fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations in disturbed areas adjacent to commercial mango orchards in Chiapas and Veracruz, Mexico. **Environmental Entomology**, v. 45, n. 2, p. 328–337, 2016.

OLIVEIRA, I. M. DE; SILVA, A. S. DA; PEREIRA, L. A. G. SIG aplicado ao estudo da produção e comercialização de frutas nos municípios de Janaúba e Jaíba – MG. **GEOFRONTER**, v. 1, n. 4, 28 jul. 2018.

PARANHOS, B. J.; NAVA, D. E.; MALAVASI, A. Biological control of fruit flies in Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 54, 2019.

QUERINO, R. B. et al. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) community in guava orchards and adjacent fragments of native vegetation in Brazil. **The Florida Entomologist**, v. 97, n. 2, p. 778–786, 2014.

RABELO et al. Processo de domesticação do parasitoide nativo de moscas-das-frutas *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) em laboratório. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 84–97, 2020.

RATTANAPUN, W.; AMORNSAK, W.; CLARKE, A. R. *Bactrocera dorsalis* preference for and performance on two mango varieties at three stages of ripeness. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 131, n. 3, p. 243–253, 1 jun. 2009.

ROSSI, M. M.; MATIOLI, J. C.; BUENO, V. H. P. Principais espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e sua dinâmica populacional em pessegueiros na região de Caldas, Sul de Minas Gerais. **Revista de Agricultura**, v. 63, p. 329-342, 1988.

SÁ, L. P. et al. Parasitism of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) on two fruit fly species. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 85, n. 0, 23 ago. 2018.

SOARES, D. P. et al. Fruit flies (Diptera: tephritidae) in mango orchards in the Minas Gerais Semi-arid region. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 844–852, 7 set. 2020.

SOUSA, E. M. DE et al. Ovipositional Behaviour of Two Fruit Flies, *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus*, in Seven Fruit Hosts in the Laboratory. **Annual Research & Review in Biology**, v. 35, n. 11, p. 93–102, 23 nov. 2020.



TAKABAYASHI, J.; SHIOJIRI, K. Multifunctionality of herbivory-induced plant volatiles in chemical communication in tritrophic interactions. **Current Opinion in Insect Science**, v. 32, p. 110–117, 2019.

WALDER, J. M. M. et al. Criação e liberação do parasitóide *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) para controle de moscas-das-frutas no estado de São Paulo. **Laranja**, p. 149–153, 1995.

ZUCCHI, R. A.; MORAES, R. C. B. **Moscas-das-frutas no Brasil - Hospedeiros e parasitóides da mosca-das-frutas do Mediterrâneo**. 2021. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/ceratitis>. Acesso em: 23 jul. 2022.

ZUCCHI, R. A.; MORAES, R. C. B. **Moscas da fruta no Brasil - espécies de *Anastrepha* suas plantas hospedeiras e parasitóides**. 2022. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/anastrepha>. Acesso em: 23 jul. 2022.

## 2 SEGUNDA PARTE

### **ARTIGO 1 – Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em Minas Gerais, Brasil: Interações tróficas e novos relatos**

(Artigo redigido nas normas da revista: Neotropical Entomology)

Rosamara Souza Coelho<sup>1</sup>; Clarice Diniz Alvarenga<sup>2</sup>; Marvin Pec<sup>3</sup>; Ana Luisa Rodrigues Silva<sup>1</sup>;  
Pedro Maranh Peche<sup>4</sup>; Rosangela Cristina Marucci<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

<sup>2</sup>Departament of Agricultural Sciences, State University of Montes Claros (UNIMONTES),  
Janaúba, MG, Brazil

<sup>3</sup>Department of Entomology and Acarology, Luiz de Queiroz College of Agriculture  
(ESALQ/USP), University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil

<sup>4</sup> Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

\*Correspondente:

Rosangela Cristina Marucci, Biological Control Laboratory, Entomology Department, Federal  
University of Lavras, PO Box 3037, 37200-900, Lavras, State of Minas Gerais, Brazil. E-  
mail: rosangelac.marucci@ufla.br

## 1 **Resumo**

2 Um pomar diversificado com hospedeiros de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) pode  
3 fornecer informações a respeito das relações tróficas, incluindo novos insights sobre os insetos  
4 benéficos. Avaliamos a composição do complexo moscas-das-frutas visando fornecer  
5 informações sobre as espécies de tefritídeos, parasitoides e interações multitróficas para a  
6 região Sul de Minas Gerais, Brasil. A amostragem ocorreu por meio de frutos coletados à nível  
7 da planta e/ou solo, segundo disponibilidade/período de frutificação entre fevereiro de 2019 a  
8 junho de 2021 e através de armadilhas, mantidas continuamente entre novembro de 2019 a abril  
9 de 2021. As ocorrências de *Anastrepha amita* Zucchi e *A. punctata* Hendel são registradas pela  
10 primeira vez no estado de Minas Gerais e novas associações tróficas foram obtidas para *A.*  
11 *bahiensis* Lima, *A. bistrigata* Bezzi, *A. fraterculus* (Wiedemann), *A. obliqua* (Macquart) e  
12 *Ceratitis capitata* (Wiedemann), incluindo frutíferas nativas. No geral, as amostras de  
13 armadilhas possibilitaram a coleta de 10 espécies de tefritídeos, sendo *C. capitata*, *A.*  
14 *fraterculus* e *A. obliqua* as mais abundantes. Cinco espécies de moscas-das-frutas e sete  
15 espécies de parasitoides foram obtidas de frutos. O braconídeo *Doryctobracon areolatus*  
16 (Szépligeti) foi o mais frequente entre as espécies de parasitoides. Além disso, classificamos os  
17 frutos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e araçá-roxo (*Psidium myrtoides* O. Berg) como  
18 repositórios de parasitoides de moscas-das-frutas. Curiosamente, não houve diferença entre a  
19 composição das espécies de moscas-das-frutas e parasitoides emergidos de amostras da árvore  
20 e do solo. A flutuação populacional das moscas-das-frutas mais abundantes coletadas sugere  
21 que *C. capitata* pode deslocar espécies de *Anastrepha*, reafirmando seu potencial invasivo. Os  
22 resultados aqui obtidos são inéditos para o estado de Minas Gerais e poderão somar esforços ao  
23 manejo de moscas-das-frutas, especialmente, o controle biológico.

24  
25 **Palavras-chave:** Frutos hospedeiros; *Ceratitis capitata*; *Anastrepha*; parasitoides.

## 26 **Introdução**

27           As características das plantas influenciam os herbívoros, afetando direta e indiretamente  
28 os inimigos naturais (Abdala-Roberts et al. 2019). Por exemplo, o comportamento de  
29 herbívoros pode ser modulado por sinais químicos emitidos pelas plantas hospedeiras  
30 (Cunningham et al. 2016; Ghosh e Venkatesan 2019; Bolton et al. 2021; Jaleel et al. 2021);  
31 configuração morfológica (incluindo cores dos frutos, firmeza e espessura do pericarpo) (Drew  
32 et al. 2003; Rattanapun et al. 2009); recompensa nutricional (Yu et al. 2019) e atração inata  
33 e/ou adquirida (Anderson e Anton 2014; Kadow 2019). Da mesma forma, as plantas podem  
34 alterar os comportamentos dos inimigos naturais de forma a reduzir ou aumentar a herbivoria  
35 (Abdala-Roberts et al. 2019; Cai et al. 2020; Ayelo et al. 2021; Zida et al. 2022; Pires et al.  
36 2022). Particularmente, as interações envolvendo tefritídeos frugívoros (Diptera: Tephritidae)  
37 e parasitoides tem ganhando notoriedade em estudos e aplicações, principalmente em virtude  
38 da relevância econômica e do avanço do controle biológico (Paranhos et al. 2019; Clarke et al.  
39 2022; Dias et al. 2022). Nesse aspecto, conhecer as interações multitróficas de moscas-das-  
40 frutas pode fornecer novos insights e abordagens para o manejo integrado e, especialmente, o  
41 controle biológico de tefritídeos.

42           *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae)  
43 infestam uma diversidade de espécies frutíferas, sejam de importância econômica ou não.  
44 *Anastrepha* spp. são nativas do continente americano, representadas por 128 espécies no Brasil,  
45 associadas a 318 espécies frutíferas em 59 famílias (Zucchi e Moraes 2022). Em contrapartida,  
46 *C. capitata* é nativa da África subsaariana (Deschepper et al. 2021) e é a única da espécie do  
47 gênero presente no Brasil, associada a 115 espécies frutíferas em 31 famílias (Zucchi e Moraes  
48 2021). Em campo, estas moscas são frequentemente parasitadas por himenópteros das famílias  
49 Braconidae e Figitidae (Almeida et al. 2019; Sousa et al. 2021), espécies cenobiontes que  
50 parasitam larvas e emergem dos pupários de seus hospedeiros. Dentre os parasitoides nativos,  
51 destaca-se *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae), frequentemente  
52 associado a *Anastrepha* spp. (Sousa et al. 2021).

53           O Estado de Minas Gerais está inserido no domínio de três biomas brasileiros: Cerrado,  
54 Mata Atlântica e Caatinga. Apesar da importância e diversificação das culturas frutícolas, os  
55 trabalhos envolvendo levantamentos de moscas-das-frutas concentram-se na região Norte  
56 (Alvarenga et al. 2009; Querino et al. 2014; Camargos et al. 2015; Soares et al. 2020) e na  
57 região da Zona da Mata Mineira (Pirovani et al. 2020). Curiosamente, pouco esforço amostral  
58 tem sido destinado a região Sul (Rossi et al. 1998), onde as informações sobre as interações

59 multitróficas de tefritídeos permanecem escassas. Considerando a alta polifagia e plasticidade  
60 fenotípica das moscas-das-frutas, atrelados ao desconhecimento das espécies de ocorrência na  
61 região Sul do Estado, a amostragem por meio da coleta de frutos torna-se indispensável na  
62 compreensão destas relações.

63 Neste estudo, levantamos a hipótese de que as espécies frutíferas influenciam as  
64 comunidades de moscas-das-frutas e parasitoides em um pomar diversificado. Ademais, a  
65 infestação e parasitismo respondem à variação dos frutos hospedeiros. Nessa perspectiva, nosso  
66 objetivo foi estabelecer a composição do complexo moscas-das-frutas visando fornecer  
67 informações sobre as espécies de tefritídeos, parasitoides e suas interações multitróficas para a  
68 região Sul de Minas Gerais. A compreensão destas interações contribuirá para a implementação  
69 de estratégias assertivas de controle da mosca-das-frutas em pomares.

70

## 71 **Material e métodos**

### 72 **Área de estudo**

73 O estudo foi realizado no pomar experimental da Universidade Federal de Lavras -  
74 UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil (44°58'56" W e 21°13'50" S, altitude 908 m). Segundo a  
75 classificação de Köppen, o clima da região é Cwa - clima subtropical, ou seja, um clima tropical  
76 de altitude caracterizado por um inverno seco e um verão quente e úmido (Alvares et al. 2013).  
77 A temperatura média anual durante os dois anos de amostragem (fevereiro 2019 - junho 2021)  
78 variou de 15 a 23,4°C (temperaturas mínimas de 10,3 a 19,9°C e temperaturas máximas de 16,3  
79 a 30,4°C), com precipitação total anual de 1.124 mm (2019), 1.633,9 mm (2020) e 661,5 mm  
80 (janeiro a junho de 2021) e umidade relativa média variando de 50,74 a 78,65 (Fig. 1). Os dados  
81 meteorológicos foram obtidos de uma estação meteorológica localizada no Campus UFLA. A  
82 área abrange 17 ha de vegetação diversificada, com cultivo de diversas frutíferas hospedeiras  
83 de moscas-das-frutas (Tabela 1) e fragmentos de mata, além de áreas urbanas no entorno do  
84 campus (Coelho, R.S observação pessoal). Esporadicamente frutos infestados com moscas-das-  
85 frutas também foram coletados em pomares domésticos nas zonas rurais dos municípios de  
86 Ijaci, Minas Gerais, Brasil (44°55'43" W e 21°10'15" S, altitude 833 m) e Itumirim, Minas  
87 Gerais, Brasil (44°52'15" W e 21°19'01" S, altitude 870,56 m) para compor a lista de espécies  
88 e estabelecer as relações tróficas.

89

90

91

## 92 **Amostragem**

### 93 **Coleta de frutos**

94 A amostragem de frutos ocorreu durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021  
95 e variou ao longo do tempo, dependendo da disponibilidade/época de frutificação. Coletaram-  
96 se frutos maduros ou em fase de amadurecimento aleatoriamente das árvores e/ou frutos caídos  
97 no solo, os quais foram acondicionados em bandejas plásticas (435 × 285 × 80 mm) rotuladas  
98 e encaminhados ao Laboratório de Controle Biológico de Pragas (LCBIOL - UFLA).  
99 Sequencialmente, os frutos de cada espécie (separados em amostras da árvore e do solo) foram  
100 pesados, quantificados e mantidos em bandejas plásticas, com uma fina camada de vermiculita  
101 como substrato para a pupação. Esses recipientes foram cobertos com tecido voile e mantidos  
102 sob condições controladas (25 ± 2 °C, 50 ± 10% UR e fotofase de 12 h). Após um período de  
103 15-20 dias, a vermiculita foi examinada, os pupários contabilizados e acondicionados em novos  
104 recipientes plásticos (50 ml) rotulados e contendo vermiculita, mantendo nesta condição até a  
105 emergência de moscas adultas e/ou parasitoides. Finalmente, os adultos obtidos foram  
106 contabilizados, sexados e preservados em álcool 70% para posterior identificação.

107

### 108 **Armadilhas**

109 Foram utilizadas três armadilhas do tipo McPhail, contendo isca composta por proteína  
110 hidrolisada de milho (Bio Anastrepha®) diluída a 5%. As armadilhas foram instaladas na copa  
111 das árvores aproximadamente 1,50 m acima do solo e inspecionadas quinzenalmente, ocasião  
112 em que os espécimes de moscas capturados eram coletados e os atrativos alimentares  
113 substituídos. Os espécimes foram lavados com água em peneira e devidamente acondicionados  
114 em recipientes plásticos (250 ml) com álcool 70%, sendo rotulados e encaminhados ao LCBIOL  
115 - UFLA para triagem. As armadilhas foram mantidas de maneira ininterrupta de novembro de  
116 2019 a abril de 2021.

117

### 118 **Identificação dos insetos**

119 A identificação de moscas e parasitoides foi baseada exclusivamente em adultos. A  
120 identificação específica de *Anastrepha* foi baseada apenas nas fêmeas (Uramoto 2007; Zucchi  
121 et al. 2011) e *C. capitata* em machos e fêmeas. As espécies de Braconidae foram identificadas  
122 de acordo com Canal e Zucchi (2000) e Marinho et al. (2018) e Figitidae de acordo com  
123 Guimarães et al. (2003). *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) corresponde a um  
124 complexo de espécies crípticas; entretanto, considerado como lato sensu neste trabalho.

125 Amostras de referência de moscas-das-frutas foram preservadas em álcool 70% e depositadas  
126 posteriormente no Museu de Entomologia da Esalq, USP, enquanto amostras de parasitoides  
127 foram depositadas na Coleção Entomológica do Centro de Biodiversidade e Patrimônio  
128 Genético da UFLA.

129

### 130 **Análises dos dados**

131 Realizamos uma análise descritiva das espécies frutíferas hospedeiras e não hospedeiras  
132 de moscas-das-frutas bem como as espécies de moscas e parasitoides obtidas a partir destas  
133 coletas. Para amostras de cada espécie de planta hospedeira, o índice de infestação por  
134 tefritídeos foi calculado dividindo-se o número total de pupários obtidos da amostra do fruto  
135 pelo número de frutos. A porcentagem de parasitismo foi obtida dividindo-se o total de  
136 parasitoides emergidos pelo número total adultos emergidos da amostra e multiplicados por 100  
137 (Alvarenga et al. 2009). Para as análises usamos unicamente os espécimes obtidos de frutos  
138 coletados no pomar experimental da UFLA, visto que houve uma periodicidade na amostragem  
139 destes frutos. A riqueza total das espécies foi calculada a partir do número de indivíduos  
140 coletados (para moscas e parasitoides), agrupando todas as amostras, para a obtenção da curva  
141 de rarefação de Coleman e do estimador de riqueza Bootstrap. Para a análise da composição  
142 das espécies de moscas e parasitoides obtidos de frutos amostrados da árvore e/ou caídos no  
143 solo, realizou-se uma análise multivariada permutacional de variância (Permanova) através do  
144 pacote “Vegan” (Oksanen et al. 2020). As interações de moscas-das-frutas com frutos  
145 hospedeiros e de parasitoides com frutos infestados foram apresentadas pelo mapa de calor para  
146 determinar as relações entre as espécies (moscas-das-frutas e/ou parasitoides) e espécies de  
147 frutos. Representamos quais frutos contribuíram para a abundância e diversidade das espécies  
148 na área de estudo. A força das interações de espécies entre frutos foi medida pela distância  
149 euclidiana. Todas as análises foram executadas utilizando-se o software R 4.0 (R Core Team  
150 2020).

151 A frequência foi calculada a partir da proporção de indivíduos de uma espécie em  
152 relação ao número total amostrado. A riqueza total das espécies coletadas em armadilhas foi  
153 calculada a partir do número de indivíduos, agrupando-se as três armadilhas por 18 meses de  
154 amostragem, gerando a curva de rarefação de Coleman e do estimador de riqueza Bootstrap.

155

156

157

## 158 **Flutuação das populações**

159           Para visualizar diferentes padrões de distribuição das espécies de moscas-das-frutas foi  
160 estabelecida a flutuação populacional utilizando-se apenas as fêmeas de moscas-das-frutas  
161 capturadas mensalmente nas armadilhas. Nesta análise foram consideradas as três espécies de  
162 moscas-das-frutas mais abundantes.

163

## 164 **Resultados**

### 165 **Coleta de frutos**

### 166 **Moscas-das-frutas**

167           Ao todo, foram amostrados frutos de 30 espécies frutíferas distribuídas em nove famílias  
168 botânicas, os quais somaram 166,71 kg de 8.146 frutos coletados. Dentre as espécies frutíferas  
169 obtidas, registramos a presença de *Anastrepha* spp. e/ou *C. capitata* em 23 espécies  
170 pertencentes às famílias Myrtaceae, Rubiaceae, Oxalidaceae, Rutaceae e Rosaceae. O índice de  
171 infestação de moscas-das-frutas variou entre os frutos obtidos das árvores e do solo e entre as  
172 espécies frutíferas (Tabela 1). Ademais, os maiores índices de infestação média foram obtidos  
173 para *Eugenia stipitata* MacVaugh (7,67), *Prunus pérsica* (L.) cv. Libra (6,73), *Psidium guajava*  
174 (L.) cv. Roxa (6,27) e cv. Polpa vermelha (5,71) (Tabela 1).

175           De todas as espécies, a mosca-das-frutas Sul-americana, *Anastrepha fraterculus*,  
176 infestou o maior número de hospedeiros, explorando 20 espécies frutíferas distribuídas entre as  
177 cinco famílias botânicas amostradas. Em particular, as espécies de plantas *Campomanesia*  
178 *xanthocarpa* O. Berg., *Plinia jaboticaba* (Vell.) Kausel, *Citrus paradisi* Macfad x *Poncirus*  
179 *trifoliata* L. Raf., *Citrus aurantium* L., *Citrus sinensis* (L.), *Citrus limonia* Osbeck, *Poncirus*  
180 *trifoliata* (L.) e *Citrus unshiu* (Mack.) Marcov. tiveram exclusivamente *A. fraterculus*  
181 infestando seus frutos. A mosca-das-frutas *Anastrepha obliqua* (Macquart, 1835) foi associada  
182 a 10 espécies de plantas das cinco famílias botânicas, sendo a única espécie infestando *Eugenia*  
183 *pyriformis* Cambess. *Anastrepha bistrigata* Bezzi, 1919 foi obtida de duas espécies da família  
184 Myrtaceae. Por outro lado, *Anastrepha bahiensis* Lima, 1937 foi obtida unicamente de  
185 *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.. Finalmente, a mosca-do-mediterrâneo, *C. capitata* foi  
186 encontrada em 11 espécies das cinco famílias amostradas (Tabela 2).

187           A composição de moscas-das-frutas obtidas dos frutos da árvore e do solo não  
188 apresentaram diferença entre si, sugerindo similaridade pela análise de Permanova,  
189 ( $F_{1,38}=1,736$ ;  $p<0,122$ ).



190 A espécie *A. fraterculus* e *C. capitata* apresentaram maior número de espécimes/Kg de  
191 frutos (Fig. 2).

192 Observou-se uma tendência à assíntota na curva de acumulação de espécies representada  
193 na amostragem por frutos, com uma riqueza observada total de cinco espécies de moscas-das-  
194 frutas (Fig. 3). Conforme o estimador Bootstrap (5,36), a riqueza de espécies estimada para o  
195 Pomar de Fruticultura da UFLA não se mostrou muito divergente da riqueza observada.  
196 Segundo o esforço amostral, obtivemos a riqueza de 93,28% das espécies (Fig. 3).

197 As interações das espécies de moscas-das-frutas com suas frutíferas hospedeiras  
198 mostraram que *A. fraterculus* interagiu fortemente com cereja do rio grande, seguida pela  
199 pitanga e araçá-roxo e *C. capitata* mostrou a interação mais forte com pêsego libra e café  
200 convencional (Fig. 4). A maioria das interações foram fortes, porém, houveram interações  
201 fracas. Por exemplo, *A. bahiensis* interagiu apenas com nêspereira (Fig. 4).

202

### 203 **Parasitoides**

204 Encontramos quatro espécies da família Braconidae: *Doryctobracon areolatus*  
205 (Szépligeti, 1911); *Opius bellus* Gahan, 1930; *Utetes anastrephae* (Viereck, 1913) e *Asobara*  
206 *anastrephae* (Muesebeck, 1958) e três espécies da família Figitidae: *Odontosema anastrephae*  
207 Borgmeier, 1935; *Aganaspis pelleranoi* (Brèthes, 1924) e *Lopheucoila anastrephae* (Rhower,  
208 1919) associadas a espécies de moscas-das-frutas obtidas de frutos hospedeiros. O parasitoide  
209 *D. areolatus* foi obtido de amostras de 14 espécies frutíferas, sendo a espécie presente em quase  
210 a totalidade de frutos amostrados. As espécies *O. bellus* e *U. anastrephae* foram encontradas  
211 em seis espécies frutíferas hospedeiras de moscas-das-frutas. *Asobara anastrephae*, por sua vez,  
212 foi obtida de moscas-das-frutas infestando cinco espécies frutíferas. As espécies *A. pelleranoi* e  
213 *L. anastrephae* foram encontradas em amostras de quatro espécies frutíferas e *O. anastrephae*  
214 associada a tefritídeos em três frutíferas coletadas (Tabela 3).

215 A composição de parasitoides obtidas de moscas-das-frutas infestando frutos foram  
216 similares, uma vez que não houve separação entre as amostras dos frutos obtidos da árvore e  
217 do solo, pela análise de Permanova ( $F_{1,28} = 0,787 p < 0,602$ ).

218 Das sete espécies de parasitoides obtidas das amostras, *D. areolatus* apresentou o maior  
219 número de espécimes por massa total de frutos, seguido por *O. bellus* e *U. anastrephae* (Fig.  
220 5).

221 Houve estabilidade na curva de acumulação de espécies de parasitoides obtidos de frutos  
222 infestados por tefritídeos, com uma riqueza total observada de sete espécies (Fig. 6). O

223 estimador Bootstrap (7,02), indica que alcançamos uma riqueza de 98,59% de espécies de  
224 parasitoides esperada (Fig. 6).

225 A porcentagem de parasitismo variou dependendo das espécies frutíferas hospedeiras  
226 de moscas-das-frutas e entre amostras obtidas das árvores e do solo (Tabela 4). As maiores  
227 porcentagens de parasitismo média foram obtidas para *Eugenia uniflora* (49, 89%), *Psidium*  
228 *myrtoides* (40,40%) e *C. xanthocarpa* (40,00%) (Tabela 4).

229 As interações das espécies de parasitoides obtidos das amostras de frutos infestados por  
230 moscas-das-frutas mostraram que *D. areolatus* interagiu fortemente com pitanga, araçá-roxo e  
231 cereja do rio grande (Figura 7). A maioria das interações foram fracas, por exemplo, *O.*  
232 *anastrephae* interagiu apenas com goiaba roxa, araçá-boi, goiaba polpa branca e carambola.

233

### 234 **Armadilhas**

235 Nossos esforços de amostragem resultaram nos primeiros registros de *Anastrepha amita*  
236 Zucchi, 1979 e *Anastrepha punctata* Hendel, 1914 para o estado de Minas Gerais. Foram  
237 coletadas 1.768 fêmeas de moscas-das-frutas de 10 espécies. Dentre as espécies, *C. capitata*, *A.*  
238 *fraterculus* e *A. obliqua* foram as mais frequentes (Tabela 5).

239 Observou-se uma tendência à assíntota na curva de acumulação de espécies coletadas  
240 nas armadilhas McPhail, com uma riqueza observada total de 10 espécies (Fig. 8). Conforme o  
241 estimador Bootstrap, a riqueza de espécies estimada para o Pomar de fruticultura da UFLA não  
242 se mostrou muito discrepante da riqueza observada (10,90), indicando que obtemos uma riqueza  
243 de 91,74% de espécies de moscas (Fig. 8).

244

### 245 **Flutuação das populações**

246 A flutuação populacional de moscas-das-frutas foi calculada para as três espécies mais  
247 abundantes, sendo *C. capitata*, *A. fraterculus* e *A. obliqua*. Um pico das populações de *A.*  
248 *fraterculus* e *A. obliqua* foi observado durante o período de fevereiro de 2020 a abril de 2020.  
249 Posteriormente, no mês de junho de 2020 iniciou-se um pico populacional de *C. capitata*, que  
250 se estendeu até novembro, onde observou-se poucos indivíduos das espécies de *Anastrepha*.  
251 No mês de fevereiro de 2021 iniciou-se um outro pico populacional de *A. fraterculus* e *A.*  
252 *obliqua*, estendendo-se até abril (Fig. 9).

253

## 254 **Discussão**

255 Atualmente, o gênero *Anastrepha* possui 36 espécies reportadas para Minas Gerais,  
256 Brasil (Pirovani et al. 2020; Zucchi e Moraes 2022). O presente estudo, entretanto, contribuiu  
257 com os primeiros registros de mais duas espécies: *A. amita* e *A. punctata*, totalizando 38  
258 espécies. Além disso, este artigo apresenta os resultados do primeiro levantamento sobre  
259 Tephritidae em um pomar diversificado no Sul de Minas Gerais. Consequentemente, todas as  
260 relações tróficas aqui obtidas são novas para esta região e destacam a importância de ampliar o  
261 conhecimento sobre o complexo moscas-das-frutas em ambientes ainda pouco explorados e  
262 com diversidade de frutíferas.

263 A amostragem por armadilhas e frutos compartilharam quatro espécies: *A. fraterculus*,  
264 *A. obliqua*, *A. bistrigata* e *C. capitata*. No geral, as amostras das armadilhas apresentaram maior  
265 riqueza de espécies quando comparadas as amostras de frutos. Isso se deve, especialmente, por  
266 um maior esforço amostral, visto que as armadilhas permaneciam no pomar continuamente. A  
267 coleta de frutos, entretanto, ocorreu mediante disponibilidade/período de frutificação das  
268 espécies hospedeiras. Embora as amostras de armadilhas tenham resultado na maior riqueza de  
269 espécies, a associação de hospedeiros, e de seus parasitoides, só é possível através da coleta de  
270 frutos (Araujo et al. 2019). Assim, esse estudo utilizou-se de ambos os métodos de amostragem  
271 que, complementarmente, contribuíram para gerar as informações aqui apresentadas.

272 Claramente a infestação por tefritídeos é condicionada por características intrínsecas as  
273 espécies frutíferas e, portanto, algumas delas parecem ser fortemente atrativas, como é o caso  
274 de espécies da família Myrtaceae e Rosaceae (Tabela 1). *Anastrepha fraterculus*, por exemplo,  
275 parece apresentar preferência por espécies da família Myrtaceae (Alvarenga et al. 2009;  
276 Querino et al. 2014; Araujo et al. 2019). Além disso, frutos da família Myrtaceae, como *P.*  
277 *guajava*, contribuíram para a presença de *A. bistrigata* no pomar, semelhante ao encontrado por  
278 Araujo et al. (2019). Entretanto, alguns frutos podem exibir algum grau de resistência e/ou  
279 serem não preferíveis por moscas-das-frutas. *Physalis peruviana* é, neste contexto, reportado  
280 como fruto não hospedeiro para a mosca-do-mediterrâneo, *C. capitata*, seja pela casca e as  
281 resinas/ceras da superfície, inviabilizando a oviposição ou, no caso das larvas, pelos compostos  
282 tóxicos no fruto (Aluja et al. 2019). Nossos achados somam a esse relato, visto que nenhuma  
283 pupa foi obtida destes frutos, e apoiam as variações entre diferentes frutíferas (hospedeiras ou  
284 não, além de variação entre níveis de infestação), respaldando a condução de levantamentos  
285 baseados na amostragem de frutos.

286 Documentamos aqui o primeiro registro de *P. myrtoides* como hospedeiro de *A. obliqua*  
287 para o Brasil. Além disso, novas associações tróficas são relatadas para o estado de Minas  
288 Gerais. *Anastrepha bahiensis* foi associada a *E. japonica* e *A. bistrigata* a *P. myrtoides* e *P.*  
289 *guajava*, sendo, até o momento, as únicas frutíferas hospedeiras associadas a estas espécies de  
290 moscas no estado. Por outro lado, *A. fraterculus* e *A. obliqua* infestaram o maior número de  
291 espécies frutíferas e houve, com esta pesquisa, um acréscimo no número de hospedeiros  
292 conhecidos (Tabela 2). Com estas novas ocorrências, esse número aumentou de 17 para 31  
293 hospedeiros associados a *A. fraterculus* e de 12 para 19 hospedeiros associados a *A. obliqua*,  
294 registrados para Minas Gerais. A mosca Sul-americana, *A. fraterculus*, foi, ainda, a que mais  
295 interagiu com as espécies frutíferas coletadas, com diferentes intensidades de interação.  
296 Entretanto, a mais fraca interação foi obtida por *A. bahiensis* em *E. japonica* (nêspera), o que  
297 se deve ao único espécime obtido.

298 *Ceratitis capitata* destaca-se por sua adaptabilidade e está entre as espécies mais  
299 invasoras (Deschepper et al. 2021), podendo preferir espécies frutíferas exóticas. Para Minas  
300 Gerais, há 23 hospedeiros conhecidos (Zucchi e Moraes 2022). Este estudo, entretanto,  
301 constatou novas associações entre *C. capitata* e espécies nativas brasileiras, tais como: *E.*  
302 *stipitata*, *P. myrtoides* e *E. involucrata*. No geral, entre frutíferas nativas e exóticas, sete novas  
303 espécies podem ser consideradas hospedeiras de *C. capitata* no estado (Tabela 2).  
304 Curiosamente, não obtivemos adultos de *C. capitata* de frutos de *P. guajava*. Em contrapartida,  
305 *P. persica* influenciou fortemente a presença de *C. capitata*, havendo um número reduzido de  
306 espécimes de *A. fraterculus* para esta frutífera. Provavelmente, estas espécies desenvolveram  
307 estratégias de exploração de nichos distintos, em diferentes épocas do ano, para evitar a  
308 competição.

309 Sete espécies de parasitoides foram obtidas em frutos infestados por moscas-das-frutas  
310 (Tabela 3). Além disso, as maiores porcentagens de parasitismo observadas neste estudo em  
311 hospedeiros, como *P. myrtoides* e *E. uniflora* (40,40 – 49,89%), sugerem que o tamanho  
312 pequeno dos frutos pode contribuir para a efetividade do parasitismo. Embora não tenhamos  
313 verificado a correlação entre o parasitismo e tamanho de frutos, é fato que, em frutos maiores,  
314 o hospedeiro tefritídeo pode estar fora de alcance ou escapar movendo-se mais profundamente  
315 dentro do fruto, tornando-o menos suscetível ao ovipositor do parasitoide (Montoya et al. 2016).  
316 Aqui, classificamos *P. myrtoides* e *E. uniflora* como repositório de parasitoides de moscas-das-  
317 frutas. Ademais, este estudo confirma que *D. areolatus* é o parasitoide nativo com maior  
318 abundância, semelhante ao observado por outros autores (Alvarenga et al. 2009; Paranhos et al.  
319 2019; López-Ortega et al. 2020; Sousa et al. 2021a). Entre parasitoides frequentemente

320 encontrados atacando o mesmo hospedeiro, como no caso de *D. areolatus* e *U. anastrephae*, o  
321 tamanho do ovipositor das fêmeas e, o consequente acesso ao hospedeiro, pode ser uma  
322 adaptação evolutiva que viabiliza a coexistência e fornece 'espaço livre de concorrentes'. Nesse  
323 caso, o ovipositor mais longo de *D. areolatus* pode indicar uma especialização que lhe permite  
324 atacar larvas em frutos maiores do que *U. anastrephae* que, por sua vez, é um competidor  
325 intrínseco superior a *D. areolatus* (Aluja et al. 2013).

326 Em relação à composição de espécies amostradas da árvore e solo, os exemplares  
327 amostrados representaram a comunidade de moscas-das-frutas e parasitoides de forma  
328 semelhante. Para parasitoides, por exemplo, registramos espécimes que forrageiam e atacam  
329 seus hospedeiros tefritídeos enquanto os frutos ainda estão fixos a planta, o que pode justificar  
330 a similaridade entre árvore e solo. Essa diferença poderia ocorrer, entretanto, se algumas das  
331 espécies coletadas exibisse atividade/preferência de forrageamento e parasitismo em  
332 hospedeiros tefritídeos mais velhos e, conseqüentemente, em frutos já presentes no solo, como  
333 o caso de *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) (Harbi et al.  
334 2018).

335 As flutuações populacionais das espécies mais abundantes sugerem uma hierarquia  
336 competitiva entre *C. capitata*, *A. fraterculus* e *A. obliqua*. Logo, a espécie invasora, *C. capitata*,  
337 parece deslocar, pelo menos em determinado período do ano, as espécies de *Anastrepha*.  
338 Relatos anteriores de invasões envolvendo esses dois gêneros sugerem que *C. capitata* é  
339 competitivamente superior (Silva et al. 2021). Como anteriormente mencionado, a maior  
340 abundância de *C. capitata* de junho a novembro de 2020 foi determinada principalmente pela  
341 disponibilidade de *P. persica*. O pico populacional subsequente de *A. fraterculus* pode estar,  
342 nesta perspectiva, fortemente associado a disponibilidade de frutíferas da família Myrtaceae.  
343 Por fim, as informações aqui obtidas abrem caminho para a compreensão de algumas das  
344 complexas relações tróficas de moscas-das-frutas, espécies hospedeiras e parasitoides para o  
345 estado de Minas Gerais e, especialmente, a região Sul do estado. Trabalhos posteriores podem  
346 explorar outras espécies hospedeiras nativas na busca por novas associações tróficas, o que  
347 pode, portanto, contribuir e subsidiar estratégias de manejo integrado, tal como o controle  
348 biológico, de moscas-das-frutas em ambientes diversificados.

349

350 **Referências**

- 351 Abdala-Roberts L, Puentes A, Finke DL, et al (2019) Tri-trophic interactions: bridging species,  
352 communities and ecosystems. *Ecology Letters* 22:2151–2167.  
353 <https://doi.org/10.1111/ELE.13392>
- 354 Almeida LBM, Coelho JB, Guimarães JA, Uchoa MA (2019) Native parasitoids (Hymenoptera:  
355 Braconidae) of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Serra da Bodoquena National Park-MS,  
356 Brazil. *Biota Neotropica* 19:20190776. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0776>
- 357 Aluja M, Guillén L, Castro Á, et al (2019) *Physalis peruviana* L. (solanaceae) is not a host of  
358 *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): Evidence from multi-year field and laboratory  
359 studies in Colombia. *Insects* 10:. <https://doi.org/10.3390/insects10120434>
- 360 Aluja M, Ovruski SM, Sivinski J, et al (2013) Inter-specific competition and competition-free  
361 space in the tephritid parasitoids *Utetes anastrephae* and *Doryctobracon areolatus*  
362 (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae). *Ecological Entomology* 38:485–496.  
363 <https://doi.org/10.1111/EEN.12039>
- 364 Alvarenga CD, Matrangolo CAR, Lopes GN, et al (2009) Moscas-das-frutas (Diptera:  
365 Tephritidae) e seus parasitóides em plantas hospedeiras de três municípios do norte do  
366 Estado de Minas Gerais. *Arquivos do Instituto Biológico* 76:195–204.  
367 <https://doi.org/10.1590/1808-1657v76p1952009>
- 368 Alvares CA, Stape JL, Sentelhas, PC, et al (2013) Köppen' climate classification map for  
369 Brazil. *Meteorol. Z.* 22, 711–728.
- 370 Anderson P, Anton S (2014) Experience-based modulation of behavioural responses to plant  
371 volatiles and other sensory cues in insect herbivores. *Plant, Cell & Environment* 37:1826–  
372 1835. <https://doi.org/10.1111/PCE.12342>
- 373 Araujo MR, Uramoto K, Ferreira ENL, et al (2019) Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Diversity  
374 and Host Relationships in Diverse Environments Estimated with Two Sampling Methods.  
375 *Environmental Entomology* 48:227–233. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy177>
- 376 Ayelo PM, Pirk CWW, Yusuf AA, et al (2021) Exploring the Kairomone-Based Foraging  
377 Behaviour of Natural Enemies to Enhance Biological Control: A Review. *Frontiers in*  
378 *Ecology and Evolution* 9:143. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2021.641974/BIBTEX>
- 379 Bolton LG, Piñero JC, Barrett BA (2021) Olfactory Cues From Host- and Non-host Plant Odor  
380 Influence the Behavioral Responses of Adult *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)  
381 to Visual Cues. *Environmental Entomology* 50:571–579.  
382 <https://doi.org/10.1093/EE/NVAB004>
- 383 Cai P, Song Y, Huo D, et al (2020) Chemical cues induced from fly-oviposition mediate the  
384 host-seeking behaviour of *Fopius arisanus* (hymenoptera: Braconidae), an effective egg  
385 parasitoid of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae), within a tritrophic context.  
386 *Insects* 11:. <https://doi.org/10.3390/insects11040231>
- 387 Camargos MG, Alvarenga CD, Giustolin TA, et al (2015) Moscas-das-frutas (Diptera:  
388 tephritidae) em cafezais irrigados no norte de minas gerais. *Coffee Science* 10:28–37
- 389 Clarke AR, Harris C, Kay BJ, et al (2022) Opiine parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) and  
390 biological control of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Australia: Past, present and future.

- 391 Annals of Applied Biology 180:44–72. <https://doi.org/10.1111/AAB.12724>
- 392 Cunningham JP, Carlsson MA, Villa TF, et al (2016) Do Fruit Ripening Volatiles Enable  
393 Resource Specialism in Polyphagous Fruit Flies? Journal of Chemical Ecology 42:931–  
394 940. <https://doi.org/10.1007/S10886-016-0752-5/FIGURES/3>
- 395 Deschepper P, Todd TN, Virgilio M, et al (2021) Looking at the big picture: worldwide  
396 population structure and range expansion of the cosmopolitan pest *Ceratitis capitata*  
397 (Diptera, Tephritidae). Biological Invasions 23:3529–3543.  
398 <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10530-021-02595-4>
- 399 Dias NP, Montoya P, Nava DE (2022) A 30-year systematic review reveals success in tephritid  
400 fruit fly biological control research. Entomologia Experimentalis et Applicata 170:370–  
401 384. <https://doi.org/10.1111/EEA.13157>
- 402 Drew RAI, Prokopy RJ, Romig MC (2003) Attraction of fruit flies of the genus *Bactrocera* to  
403 colored mimics of host fruit. Entomologia Experimentalis et Applicata 107:39–45.  
404 <https://doi.org/10.1046/J.1570-7458.2003.00039.X>
- 405 Ghosh E, Venkatesan R (2019) Plant Volatiles Modulate Immune Responses of *Spodoptera*  
406 *litura*. Journal of Chemical Ecology 45:715–724. <https://doi.org/10.1007/S10886-019-01091-3/FIGURES/5>
- 408 Harbi A, Beitia F, Ferrara F, et al (2018) Functional response of *Diachasmimorpha*  
409 *longicaudata* (Ashmead) over *Ceratitis capitata* (Wiedemann): Influence of temperature,  
410 fruit location and host density. Crop Protection 109:115–122.  
411 <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2018.03.010>
- 412 Jaleel W, Saeed R, Shabbir MZ, et al (2021) Olfactory response of two different *Bactrocera*  
413 fruit flies (Diptera: Tephritidae) on banana, guava, and mango fruits. Journal of King Saud  
414 University - Science 33:101455. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2021.101455>
- 415 Kadow ICG (2019) State-dependent plasticity of innate behavior in fruit flies. Current Opinion  
416 in Neurobiology 54:60–65. <https://doi.org/10.1016/J.CONB.2018.08.014>
- 417 López-Ortega M, Díaz-Fleischer F, Piñero JC, et al (2020) The mayan tropical rainforest: An  
418 uncharted reservoir of tritrophic host-fruit fly-parasitoid interactions. Insects 11:1–15.  
419 <https://doi.org/10.3390/insects11080495>
- 420 Montoya P, Ayala A, López P, et al (2016) Natural parasitism in fruit fly (Diptera: Tephritidae)  
421 populations in disturbed areas adjacent to commercial mango orchards in Chiapas and  
422 Veracruz, Mexico. Environmental Entomology 45:328–337.  
423 <https://doi.org/10.1093/ee/nvw001>
- 424 Oksanen FJ, Blanchet G, Friendly M (2020) Vegan: Community Ecology. Package. R  
425 [packageversion 2.5-7. https://CRAN.R-project.org/package=vegan](https://CRAN.R-project.org/package=vegan)
- 426
- 427 Paranhos BJ, Nava DE, Malavasi A (2019) Biological control of fruit flies in Brazil. Pesquisa  
428 Agropecuaria Brasileira 54:. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.26037>
- 429 Pires PD da S, Sant' Ana J, Redaelli LR, Leite NA (2022) Chemotaxis and parasitism of the  
430 Neotropical fruit fly parasitoid *Ganaspis pelleranoi* can be altered by pre-imaginal and  
431 imaginal conditioning to fruit volatiles. Entomologia Experimentalis et Applicata

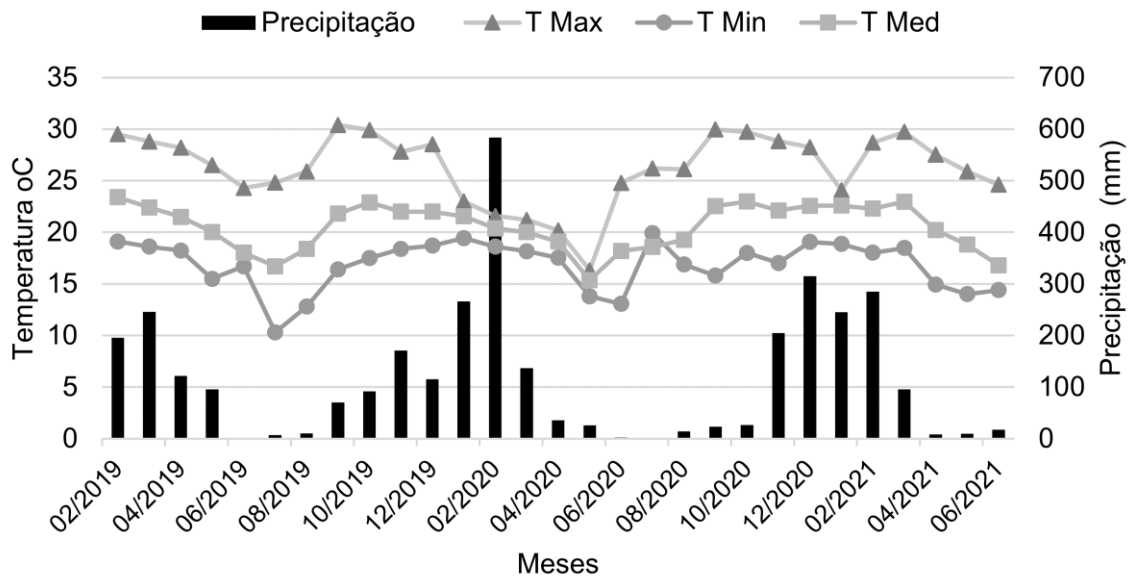
- 432 170:419–426. <https://doi.org/10.1111/EEA.13163>
- 433 Pirovani VD, Martins D dos S, Uramoto K, Ferreira PSF (2020) New occurrences of  
434 *Anastrepha Schiner* (Diptera: Tephritidae) in the state of Minas Gerais, Brazil. *Arquivos*  
435 *do Instituto Biológico* 87:1–5. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000342019>
- 436 Querino RB, Maia JB, Lopes GN, et al (2014) Fruit fly (Diptera: Tephritidae) community in  
437 guava orchards and adjacent fragments of native vegetation in Brazil. *The Florida*  
438 *Entomologist* 97:778–786
- 439 Rattanapun W, Amornsak W, Clarke AR (2009) *Bactrocera dorsalis* preference for and  
440 performance on two mango varieties at three stages of ripeness. *Entomologia*  
441 *Experimentalis et Applicata* 131:243–253. [https://doi.org/10.1111/J.1570-](https://doi.org/10.1111/J.1570-7458.2009.00850.X)  
442 [7458.2009.00850.X](https://doi.org/10.1111/J.1570-7458.2009.00850.X)
- 443 Rossi MM, Matioli JC, Bueno VHP (1998) Principais espécies de moscas-das-frutas (Diptera:  
444 Tephritidae) e sua dinâmica populacional em pessegueiros na região de Caldas, Sul de  
445 Minas Gerais. *Revista de Agricultura* 63:329-342
- 446 Silva DR de B, Roriz AKP, Petitinga CSCDA, et al (2021) Competitive interactions and partial  
447 displacement of *Anastrepha obliqua* by *Ceratitis capitata* in the occupation of host  
448 mangoes (*Mangifera indica*). *Agricultural and Forest Entomology* 23:70–78.  
449 <https://doi.org/10.1111/AFE.12406>
- 450 Soares DP, de Souza TAN, Santos J de O, et al (2020) Fruit flies (Diptera: tephritidae) in mango  
451 orchards in the Minas Gerais Semi-arid region. *Revista Caatinga* 33:844–852.  
452 <https://doi.org/10.1590/1983-21252020V33N328RC>
- 453 Sousa M do S de M, Santos JEV dos, Toledo JJ de, et al (2021a) *Geissospermum argenteum*  
454 (Angiosperma: Apocynaceae): a reservoir of parasitoids of fruit flies (Diptera:  
455 Tephritidae) in an upland forest in the Brazilian Amazon. *Agricultural and Forest*  
456 *Entomology* 23:297–310. <https://doi.org/10.1111/afe.12432>
- 457 Sousa M do SM, Santos JEV, Nava DE, et al (2021b) Overview and Checklist of Parasitoids  
458 (Hymenoptera, Braconidae and Figitidae) of *Anastrepha* Fruit Flies (Diptera, Tephritidae)  
459 in the Brazilian Amazon. *Annual Research & Review in Biology* 36:60–74.  
460 <https://doi.org/10.9734/ARRB/2021/V36I930426>
- 461 Uramoto K (2007) Diversidade de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares  
462 comerciais de papaia e em áreas remanescentes da Mata Atlântica e suas plantas  
463 hospedeiras nativas, no município de Linhares, Espírito Santo. Tese, Escola Superior de  
464 Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba.
- 465 Yu J, Yang W, Zeng X, Liu J (2019) The oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* learns and  
466 remembers sugar quality. *Journal of Insect Physiology* 117:103895.  
467 <https://doi.org/10.1016/J.JINSPHYS.2019.103895>
- 468 Zida I, Nacro S, Dabiré RA, et al (2022) Native hymenopteran parasitoids associated with fruit-  
469 infesting flies in three plant formations and prospects for biological control in Western  
470 Burkina Faso, West Africa. *Agricultural and Forest Entomology* 24:114–123.  
471 <https://doi.org/10.1111/AFE.12476>
- 472 Zucci RA, Moraes RCB (2021) Moscas-das-frutas no Brasil - Hospedeiros e parasitóides da  
473 mosca-das-frutas do Mediterrâneo. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/ceratitis>.



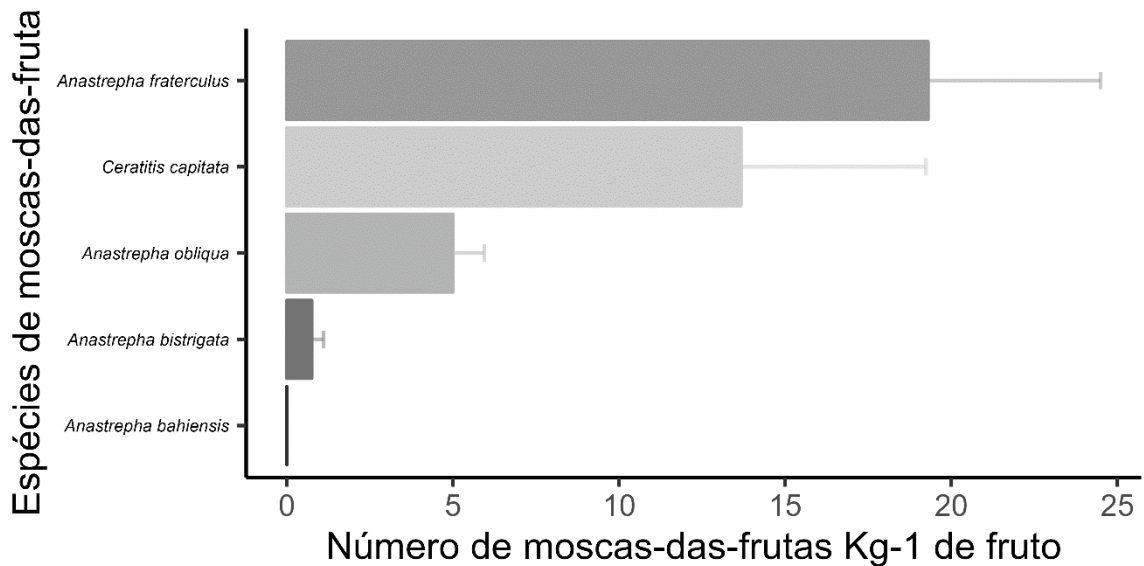
474           Acesso 20 jan. 2022.

475   Zucchi RA, Moraes RCB (2022) Moscas da fruta no Brasil - espécies de *Anastrepha* suas  
476   plantas hospedeiras e parasitóides. Disponível em:  
477   <http://www.lea.esalq.usp.br/anastrepha>. Acesso 15 ago. 2022.

## Figuras

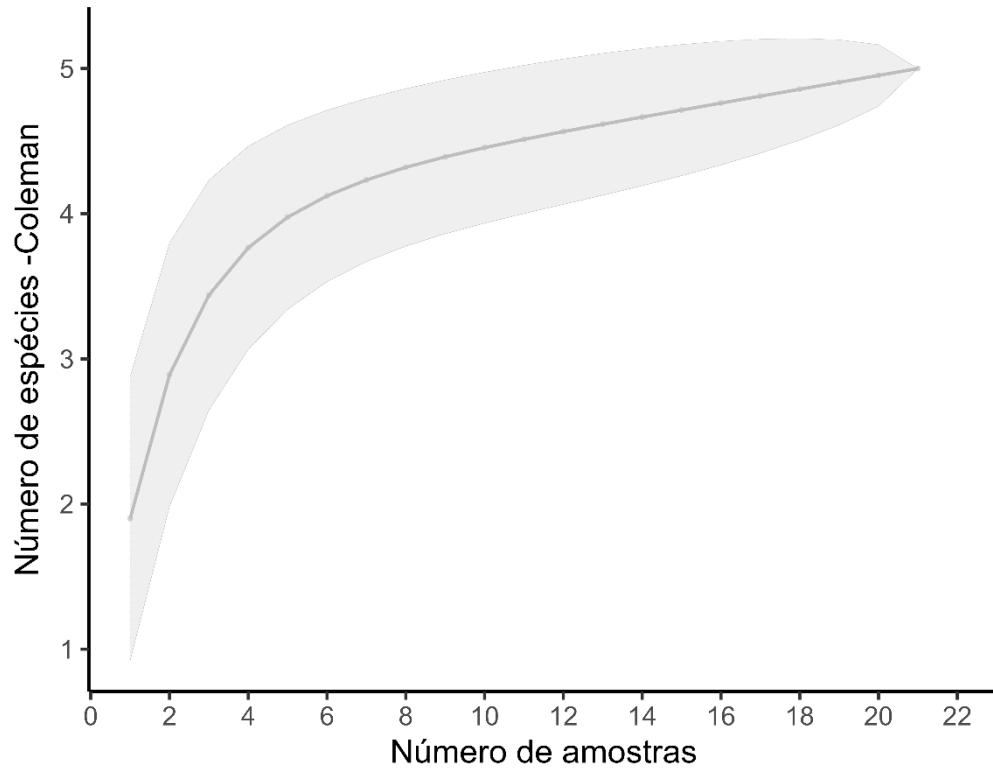


**Fig. 1** Dados climáticos obtidos do pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de fevereiro de 2019 a abril de 2021

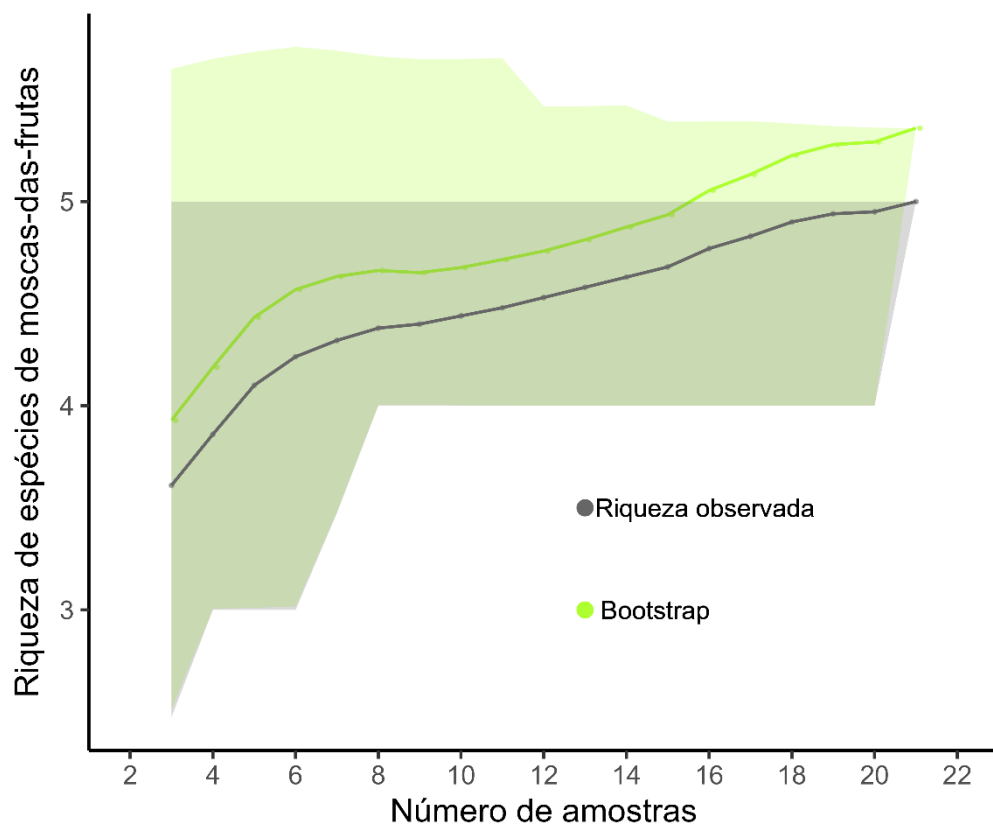


**Fig. 2** Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) por massa total de frutos coletados em um pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021. As barras representam a média de espécimes capturados e as linhas representam o erro padrão

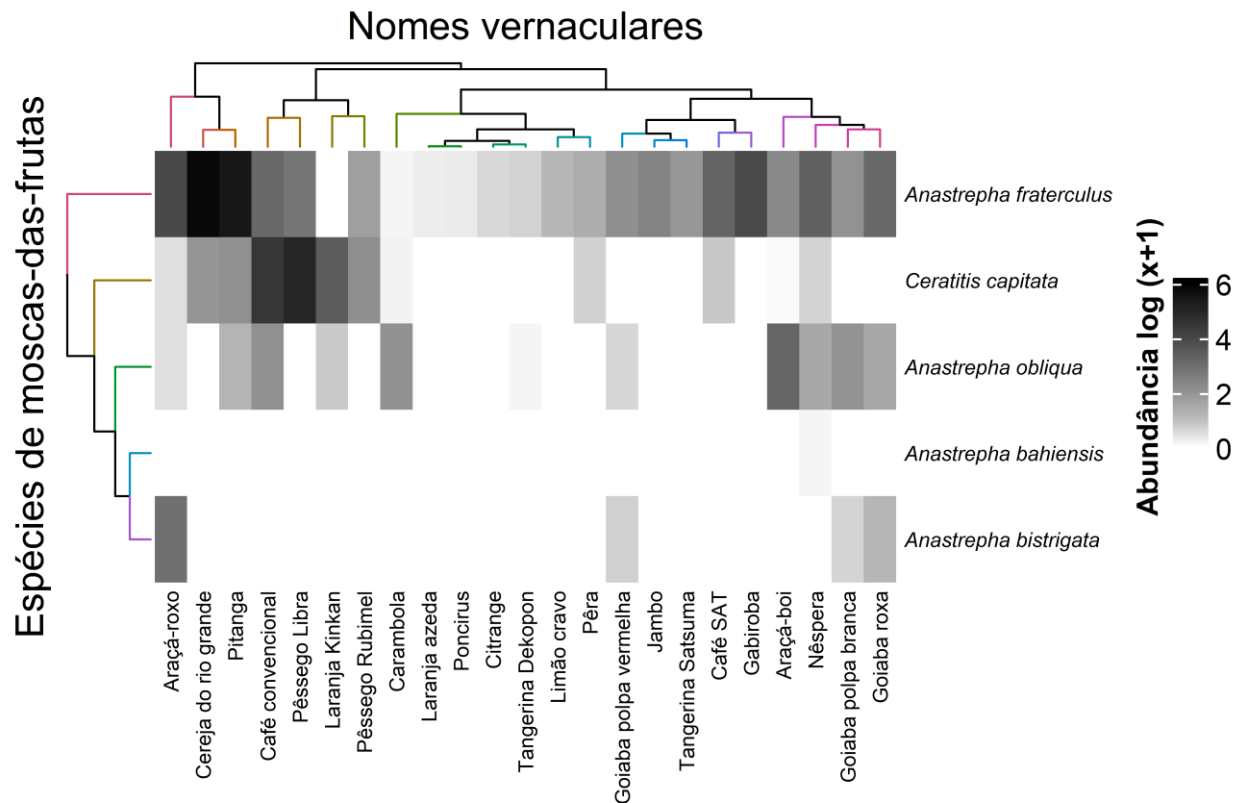
A



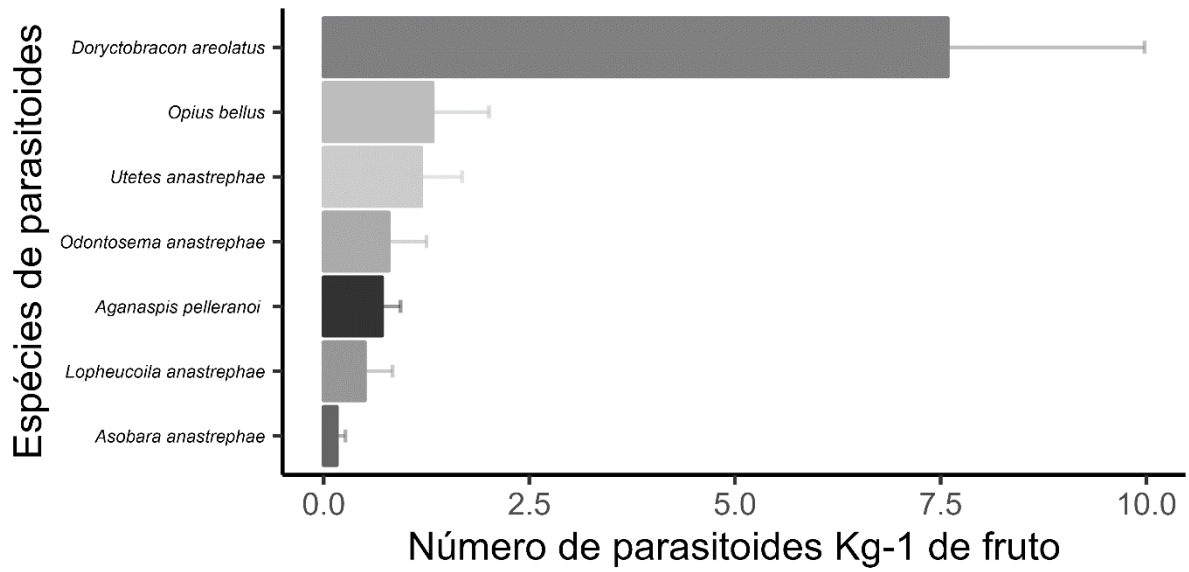
B



**Fig. 3** Curva de rarefação de Coleman e estimador de riqueza Bootstrap de espécies obtidas de frutos coletados em um pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021. **(A)** Riqueza observada. **(B)** Riqueza observada e estimador de riqueza Bootstrap. As linhas representam a riqueza observada e estimada. A área sombreada representa o erro padrão

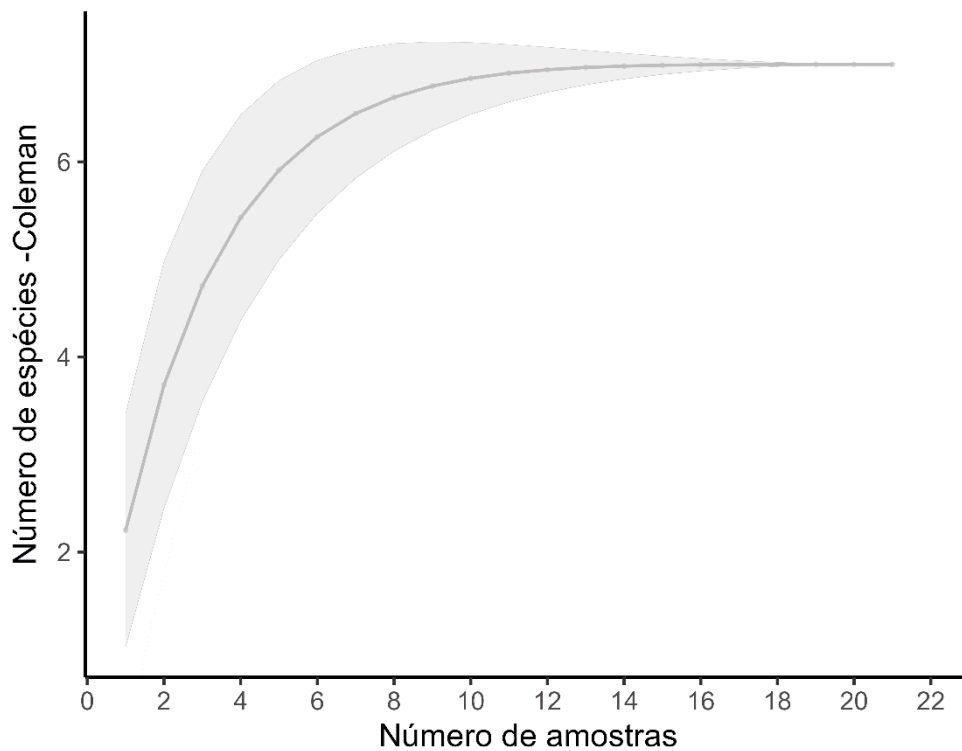


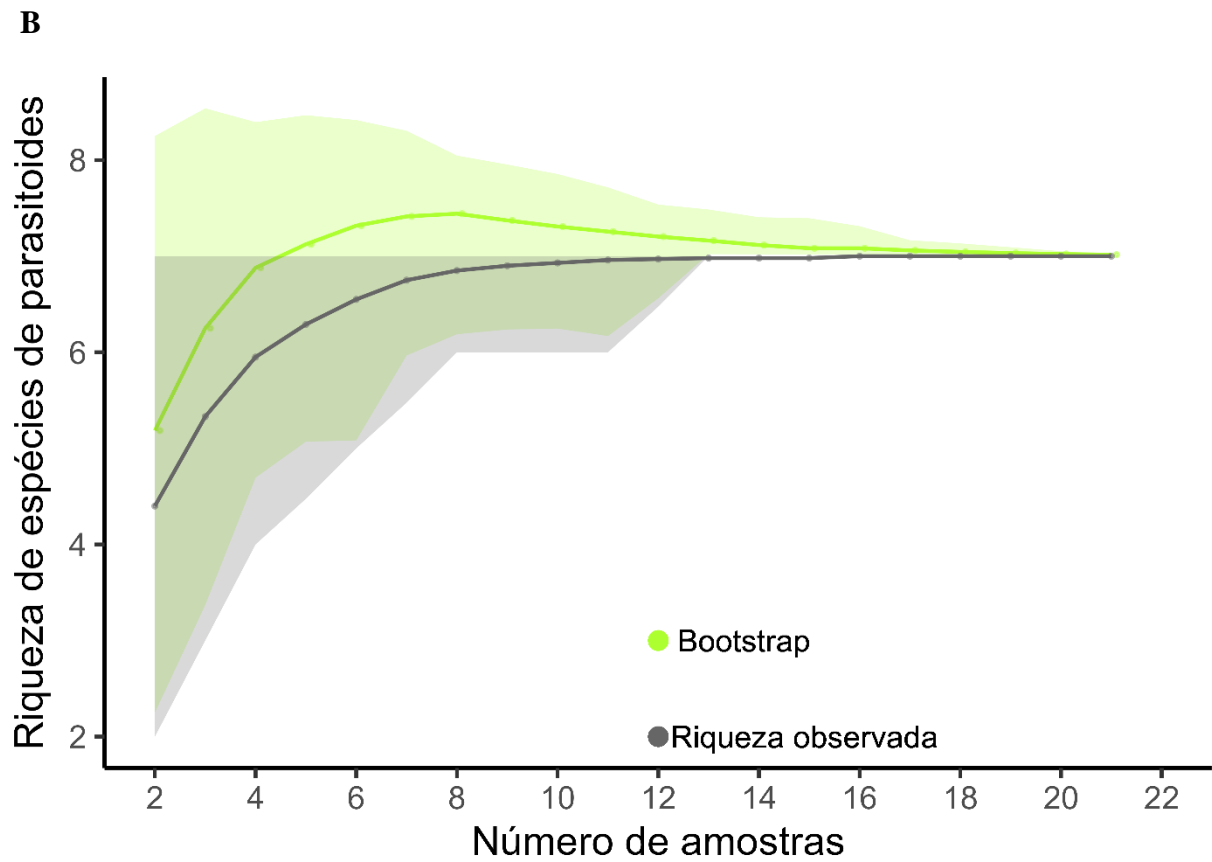
**Fig. 4** Mapa de calor das interações de espécies de moscas-das-frutas com hospedeiros do pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Tons mais escuros indicam interações mais fortes e tons mais claros indicam interações mais fracas



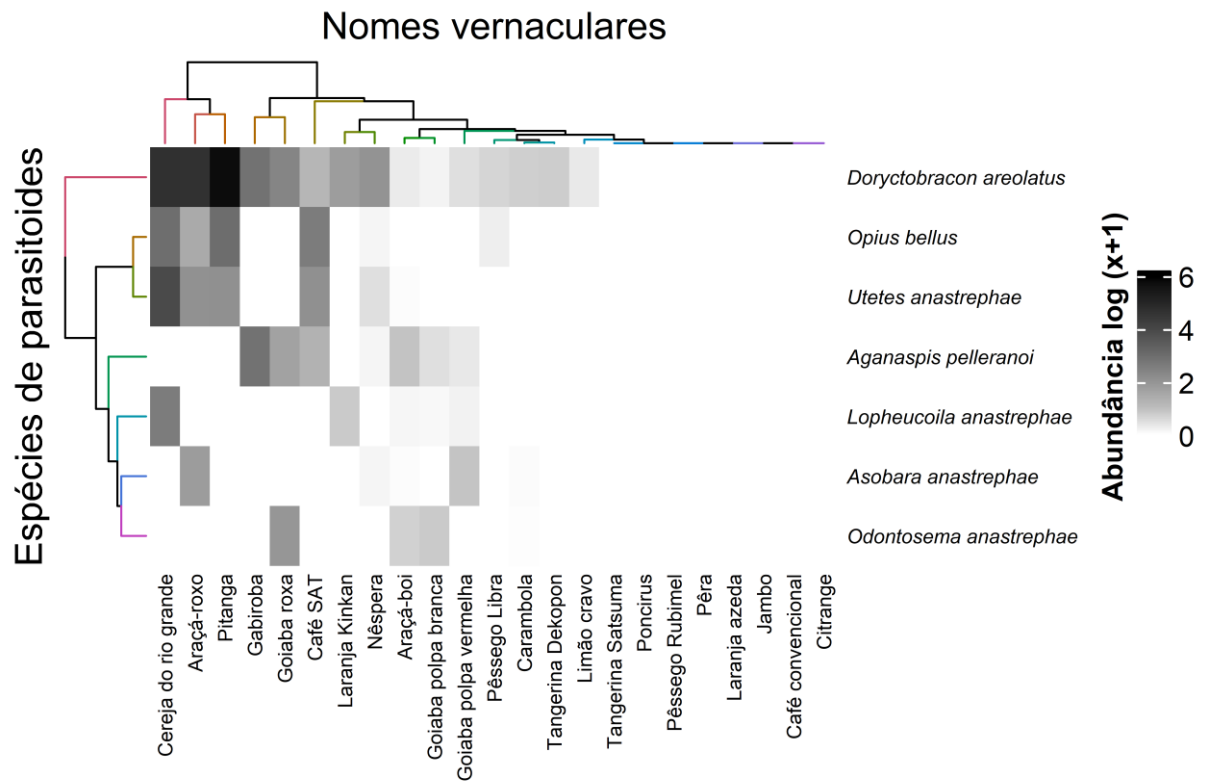
**Fig. 5** Média de parasitoides por massa total de frutos coletados em um pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021. As barras representam a média de espécimes capturados e as linhas representam o erro padrão

**A**

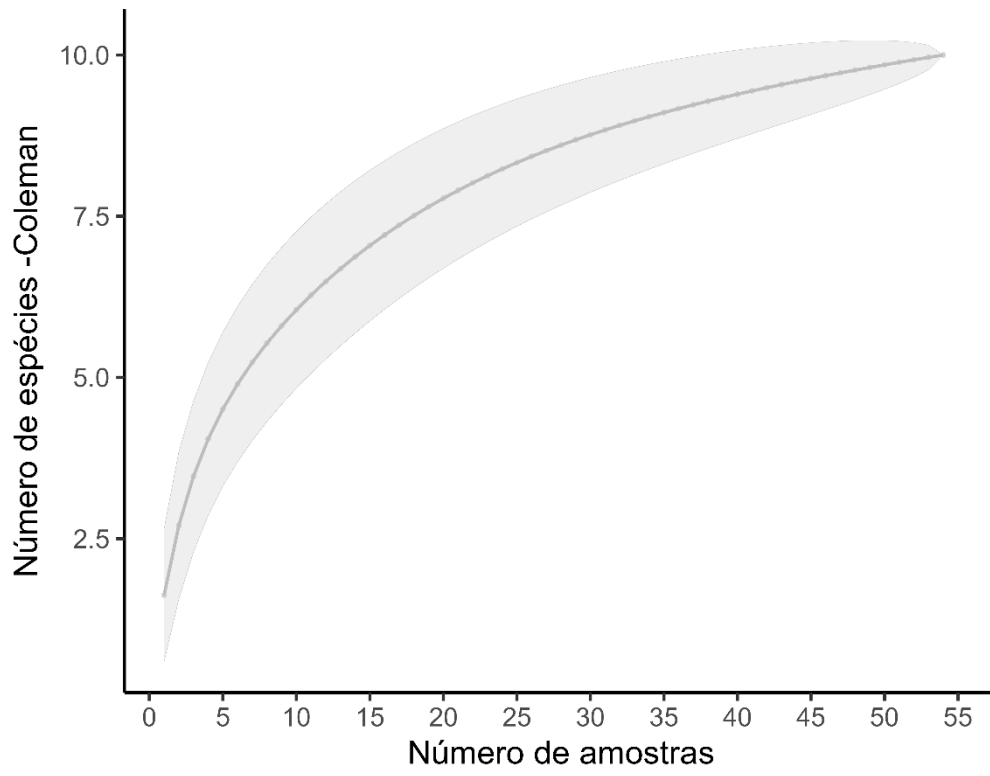
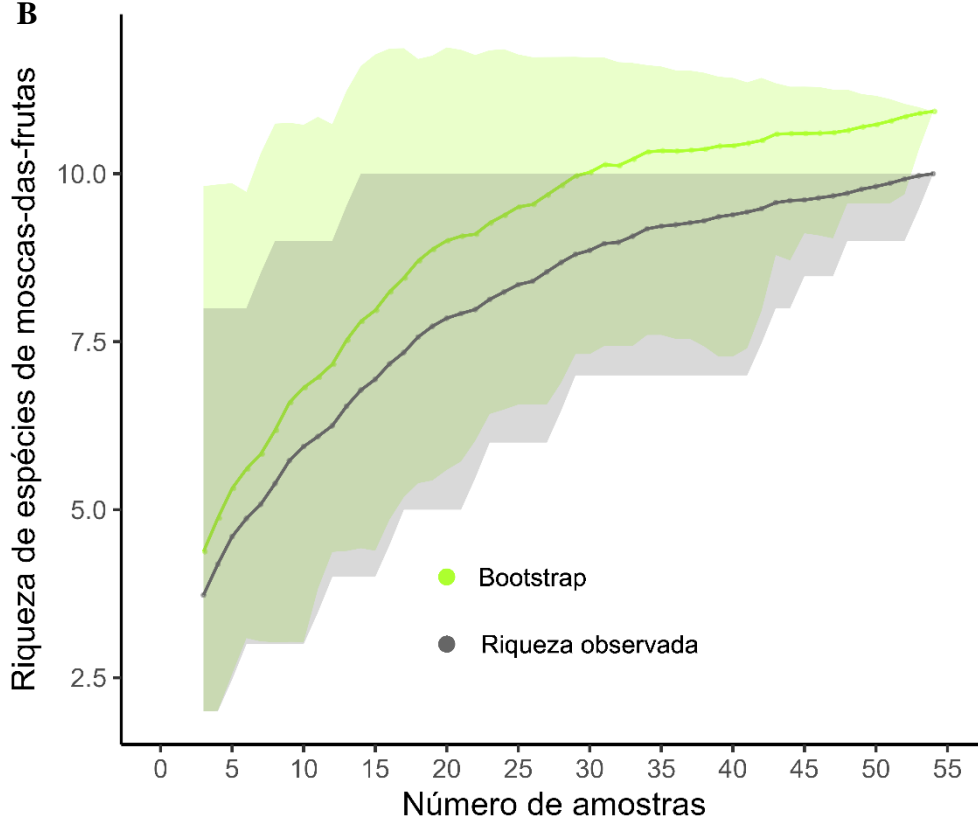




**Fig. 6** Curva de rarefação de Coleman e estimador de riqueza Bootstrap de espécies de parasitoides obtidas de moscas-das-frutas infestando frutos coletados em um pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021. **(A)** Riqueza observada. **(B)** Riqueza observada e estimador de riqueza Bootstrap. As linhas representam a riqueza observada e estimada. A área sombreada representa o erro padrão

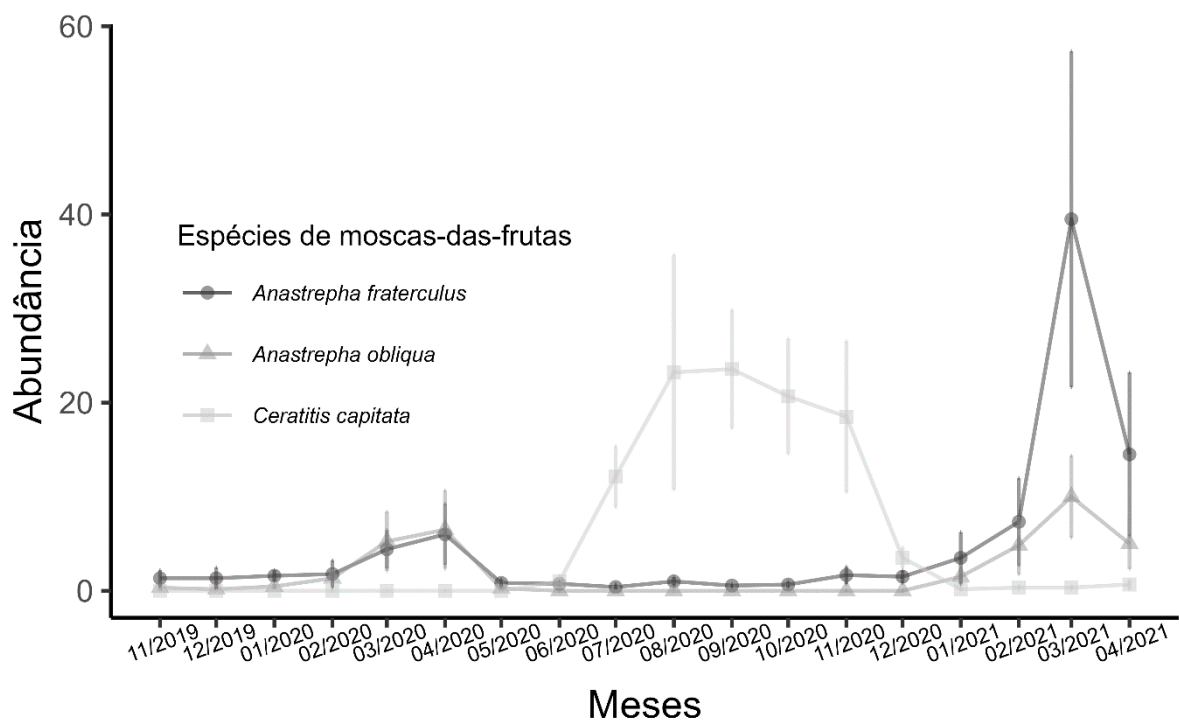


**Fig. 7** Mapa de calor das interações das espécies de parasitoides com frutos infestados de moscas-das-frutas do pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Tons mais escuros indicam interações mais fortes e tons mais claros indicam interações mais fracas

**A****B**



**Fig. 8** Curva de rarefação de Coleman e estimador de riqueza Bootstrap das espécies de moscas-das-frutas coletadas por meio de armadilhas McPhail em pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de novembro de 2019 a abril de 2021. **(A)** Riqueza observada. **(B)** Riqueza observada e estimador de riqueza Bootstrap. As linhas representam a riqueza observada e estimada. A área sombreada representa o erro padrão



**Fig. 9** Flutuação populacional das espécies de moscas-das-frutas mais abundantes coletadas por meio de armadilhas McPhail em pomar experimental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil, durante o período de novembro de 2019 a abril de 2021

## Tabelas

Tabela 1 – Família botânica, nome científico e vernacular, número e peso dos frutos amostrados, classificados como infestados ou não por moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021. (Pomar de fruticultura da UFLA, Lavras, MG e pomares doméstico de Itumirim, MG e Ijaci, MG).

Plantas		Número de frutos (n)	Peso (kg)	Fruto infestado Sim/Não	Índice de infestação		Índice de infestação
Família/Espécie	Nome vernacular				Árvore	Solo	
<b>Myrtaceae</b>							
	<i>Eugenia stipitata</i> MacVaugh	298 (16)	20,36	Sim	11,55	4,76	7,67
	<i>Psidium myrtoides</i> O. Berg	964 (13)	3,24	Sim	1,69	0,95	1,49
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	203 (2)	0,31	Sim	1,69	1,76	1,72
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	40 (1)	0,12	Sim	0,35	0,35	0,35
		267 (7)	10,67	Sim	3,09	1,62	2,35
	<i>Psidium guajava</i> L.	30 (2)	1,58	Sim	3,66	1,61	2,29
		40 (4)	4,73	Sim	6,72	2,67	5,71
		154 (6)	8,1	Sim	9,01	2,98	6,27
	<i>Plinia jaboticaba</i> (Vell.) Kausel	127 (1)	0,27	Sim	0,05	0,05	0,05
	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	11 (1)	0,47	Sim	3,33	0	1,67
		110 (1)	0,41	Sim	3,96	3,38	3,67
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	100 (1)	0,23	Sim	1,54	1,09	1,31
		45 (3)	0,82	Sim	3,15	1,8	2,47
	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess						
<b>Rubiaceae</b>							

Continua...

Tabela 1- Continuação

Plantas		Número de frutos (n)	Peso (kg)	Fruto infestado Sim/Não	Índice de infestação		Índice de infestação
Família/Espécie	Nome vernacular				Árvore	Solo	
<i>Coffea arabica</i> L.	Café convencional	105 (1)	0,13	Sim	0,3	-	0,3
	Café SAT <sup>3</sup>	2757 (3)	3,01	Sim	0,16	-	0,16
<b>Oxalidaceae</b>							
<i>Averrhoa carambola</i> L.	Carambola	654 (16)	36,82	Sim	1,43	1,12	1,28
<b>Rutaceae</b>							
<i>Citrus paradisi</i> (L.) Osb. x <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	Citrango	15 (1)	2,45	Sim	0,2	-	0,2
<i>Citrus paradisi</i> Macfad. x <i>Poncirus trifoliata</i> L.) Raf.	Citrumelo	12 (1)	1,56	Sim	0,08	-	0,08
<i>Citrus reticulata</i> Blanco. x <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Tangerina Dekopon	70 (6)	7,15	Sim	0,6	1,43	0,72
<i>Citrus aurantium</i> L.	Laranja azeda	19 (1)	3,22	Sim	-	0,16	0,16
<i>Citrus sinensis</i> (L.)	Laranja Serra d'água <sup>2</sup>	5 (1)	0,84	Sim	1,8	-	1,8
<i>Fortunella margarita</i> (Lour.) Swingle	Laranja Kinkan	162 (5)	1,96	Sim	0,85	0,5	0,65
<i>Citrus limonia</i> Osbeck	Limão cravo	66 (3)	3,6	Sim	0,57	0,43	0,5
<i>Poncirus trifoliata</i> (L.)	Poncirus Flying Dragon	240 (2)	10,36	Não	-	-	-
	Poncirus	47 (2)	8,6	Sim	0,06	0,23	0,17
<i>Citrus unshiu</i> (Mak.) Marcov.	Tangerina Satsuma	20 (2)	1,48	Sim	2,22	3	2,61

Continua...

Tabela 1- Continuação

Plantas		Número de frutos (n)	Peso (kg)	Fruto infestado Sim/Não	Índice de infestação		Índice de infestação	
Família/Espécie	Nome vernacular				Árvore	Solo		
<b>Rosaceae</b>								
	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Nêspera	586 (11)	6,66	Sim	0,98	1,01	0,99
	<i>Pyrus communis</i> x <i>P. pyrifolia</i>	Pêra	50 (2)	2,95	Sim	0,95	0,67	0,86
	<i>Prunus pérsica</i> L.	Pêssego Libra	157 (3)	3,32	Sim	9,32	4,14	6,73
		Pêssego Rubimel	23 (1)	1,06	Sim	1,13	-	1,13
	<i>Rubus niveus</i> Thunb.	Framboesa negra	211 (1)	0,21	Não	-	-	-
		Framboesa vermelha	180 (3)	0,49	Não	-	-	-
<b>Solanaceae</b>								
	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	Tomate de árvore	162 (14)	6,19	Não	-	-	-
	<i>Physalis peruviana</i> L.	Physalis	128 (4)	0,35	Não	-	-	-
<b>Cactaceae</b>								
	<i>Selenicereus undatus</i> (Haw.)	Pitaya branca	24 (4)	4,91	Não	-	-	-
	<i>Selenicereus polyrhizus</i>	Pitaya vermelha	5 (1)	1,3	Não	-	-	-

Continua...

Tabela 1- Continuação

Plantas		Número de frutos (n)	Peso (kg)	Fruto infestado Sim/Não	Índice de infestação		Índice de infestação
Família/Espécie	Nome vernacular				Árvore	Solo	
<b>Moraceae</b>							
<i>Ficus Carica</i> L.	Figo	38 (2)	2,94	Não	-	-	-
<b>Passifloraceae</b>							
<i>Passiflora edulis</i> Sims.	Maracujá azedo	21 (1)	3,84	Não	-	-	-

(n) número de amostras coletadas de cada espécie

<sup>1</sup>coletas realizadas nos pomares domésticos de Ijací, MG

<sup>2</sup>coleta realizada no pomar doméstico de Itumirim, MG

<sup>3</sup>Café SAT: café sem aplicações de agrotóxicos

Tabela 2 - Família botânica, nome científico e vernacular e espécies de moscas-das-frutas, número de fêmeas, número de macho e total obtidos de frutos amostrados durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021 (Pomar de fruticultura da UFLA, Lavras, MG e pomares doméstico de Itumirim, MG e Ijaci, MG).

Hospedeiros		Espécie de moscas-das-frutas (fêmeas)	Machos	Total
Família/Espécie	Nome vernacular			
<b>Myrtaceae</b>				
<i>Eugenia stipitata</i>	Araçá-boi	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (177)	699	1373
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (496)		
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (1)		
<i>Psidium myrtoides</i>	Araçá-roxo	<i>Anastrepha bistrigata</i> Bezzi (58)	198	442
		<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (178)		
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (2)		
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (2)		
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Gabiroba	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (6)	1	7
<i>Psidium guajava</i>	Goiaba polpa branca	<i>Anastrepha bistrigata</i> Bezzi (9)	152	291
		<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (66)		
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (64)		

Continua...

Tabela 2 – Continuação

Hospedeiros		Espécie de moscas-das-frutas (fêmeas)	Machos	Total
Família/Espécie	Nome vernacular			
	Goiaba polpa branca <sup>1</sup>	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (25) <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (7) <i>Anastrepha bistrigata</i> Bezzi (1)	19	52
	Goiaba polpa vermelha	<i>Anastrepha bistrigata</i> Bezzi (5) <i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (36) <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (4)	34	79
	Goiaba roxa	<i>Anastrepha bistrigata</i> Bezzi (17) <i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (162) <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (26)	172	377
<i>Plinia jaboticaba</i>	Jaboticaba <sup>1</sup>	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (1)	1	2
<i>Eugenia involucrata</i>	Cereja do Rio Grande	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (110) <i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (2)	107 3	222
<i>Syzygium jambos</i>	Jambo	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (5) <i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (0)	3 8	16

Continua...

Tabela 2 – Continuação

Hospedeiros		Espécie de moscas-das-frutas (fêmeas)	Machos	Total
Família/Espécie	Nome vernacular			
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (99)	128	232
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (1)		
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (3)		
	Pitanga <sup>1</sup>	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (31)	35	66
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia <sup>1</sup>	<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (53)	31	84
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Coffea arabica</i>	Café convencional	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (3)	0	31
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (1)		
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (12)		
	Café SAT <sup>3</sup>	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (77)	83	167
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (4)	3	
<b>Oxalidaceae</b>				
<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (6)	138	422
		<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (263)		
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (7)		

Continua...

Tabela 2 – Continuação



Hospedeiros		Espécie de moscas-das-frutas (fêmeas)	Machos	Total
Família/Espécie	Nome vernacular			
<b>Rutaceae</b>				
<i>Citrus paradisi</i> x <i>Poncirus trifoliata</i>	Citrange	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (2)	1	3
<i>Citrus reticulata</i> X <i>Citrus sinensis</i>	Tangerina Dekopon	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (6) <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (1)	4	11
<i>Citrus aurantium</i>	Laranja azeda	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (1)	2	3
<i>Citrus sinensis</i>	Laranja Serra d'água <sup>2</sup>	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (4)	2	6
<i>Fortunella margarita</i>	Laranja Kinkan	<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (2) <i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (49)	10 17	78
<i>Citrus limonia</i>	Limão cravo	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (6)	7	13
<i>Poncirus trifoliata</i>	Poncirus	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (3)	1	4
<i>Citrus unshiu</i>	Tangerina Satsuma	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (9)	7	16
<b>Rosaceae</b>				
<i>Eriobotrya japonica</i>	Nêspera	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (173) <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) (23) <i>Anastrepha bahiensis</i> Lima (1) <i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (6)	217 66	486
			Continua...	

Tabela 2 – Continuação

Hospedeiros		Espécie de moscas-das-frutas (fêmeas)	Machos	Total
Família/Espécie	Nome vernacular			
<i>Pyrus communis</i> x <i>P. pyrifolia</i>	Pêra	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (9)	15	32
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (3)	5	
<i>Prunus persica</i>	Pêssego Libra	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (52)	48	1124
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (496)	528	
	Pêssego Rubimel	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wied.) (5)	4	25
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wied.) (8)	8	

<sup>1</sup>coletas realizadas nos pomares domésticos de Ijací, MG

<sup>2</sup>coleta realizada no pomar doméstico de Itumirim, MG

<sup>3</sup>Café SAT: café sem aplicações de agrotóxicos

Tabela 3 –Espécies de parasitoides e seus hospedeiros obtidos de frutos coletados durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021 (Pomar de fruticultura da UFLA, Lavras, MG e pomares doméstico de Itumirim, MG e Ijaci, MG).

Espécies de parasitoides	Número	Plantas associadas	Insetos hospedeiros	
<i>Aganaspis pelleranoi</i> (Brèthes)	31	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>	
	2	Gabiroba	<i>A. fraterculus</i>	
	6	Goiaba polpa branca	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
	2	Goiaba polpa vermelha	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
	32	Goiaba roxa	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
	8	Café SAT <sup>2</sup>	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>	
	<i>Doryctobracon areolatus</i> (Szépligeti)	7	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
		344	Araçá-roxo	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
2		Gabiroba	<i>A. fraterculus</i>	
2		Goiaba polpa branca	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
3		Goiaba polpa vermelha	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
73		Goiaba roxa	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>	
35		Cereja do Rio Grande	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>	
133		Pitanga	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>	
48		Pitanga <sup>1</sup>	<i>A. fraterculus</i>	
1		Uvaia <sup>1</sup>	<i>A. obliqua</i>	
7		Café SAT <sup>2</sup>	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>	
40		Carambola	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>	

Continua...

Tabela 3 – Continuação

Espécies de parasitoides	Número	Plantas associadas	Insetos hospedeiros
	7	Tangerina Dekopon	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	8	Laranja Kinkan	<i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	1	Limão cravo	<i>A. fraterculus</i>
	43	Nêspera	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>A. bahiensis</i> , <i>C. capitata</i>
	3	Pêssego Libra	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
<i>Lopheucoila anastrephae</i> (Rhower)	3	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	1	Goiaba polpa branca	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	1	Goiaba polpa vermelha	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	4	Cereja do Rio Grande	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
	2	Laranja Kinkan	<i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
<i>Odontosema anastrephae</i> Borgmeier	21	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	12	Goiaba polpa branca	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	45	Goiaba roxa	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	1	Carambola	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
<i>Opius bellus</i> Graham	11	Araçá-roxo	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	6	Cereja do Rio Grande	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
	8	Pitanga	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	6	Pitanga <sup>1</sup>	<i>A. fraterculus</i>
	38	Café SAT <sup>2</sup>	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
	1	Nêspera	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>A. bahiensis</i> , <i>C. capitata</i>
	1	Pêssego Libra	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>

Continua...

Tabela 3 – Continuação

Espécies de parasitoides	Número	Plantas associadas	Insetos hospedeiros
<i>Utetes anastrephae</i> (Viereck)	1	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	23	Araçá-roxo	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	16	Cereja do Rio Grande	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
	3	Pitanga	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	8	Pitanga <sup>1</sup>	<i>A. fraterculus</i>
	22	Café SAT <sup>2</sup>	<i>A. fraterculus</i> , <i>C. capitata</i>
	4	Nêspera	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>A. bahiensis</i> , <i>C. capitata</i>
<i>Asobara anastrephae</i> (Muesebeck)	1	Araçá-boi	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	17	Araçá-roxo	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	7	Goiaba polpa vermelha	<i>A. bistrigata</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i>
	2	Carambola	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>C. capitata</i>
	1	Nêspera	<i>A. fraterculus</i> , <i>A. obliqua</i> , <i>A. bahiensis</i> , <i>C. capitata</i>

<sup>1</sup>coletas realizadas nos pomares domésticos de Ijací, MG

<sup>2</sup>Café SAT: café sem aplicações de agrotóxicos

Tabela 4 – Família botânica, nome científico e vernacular e porcentagem de parasitismo de frutos infestados por moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) amostrados durante o período de fevereiro de 2019 a junho de 2021 (Pomar de fruticultura da UFLA, Lavras, MG e pomares doméstico de Itumirim, MG e Ijaci, MG).

Família/ Espécie	Hospedeiros Nome vernacular	Parasitismo (%)		Parasitismo médio (%)
		Árvore	Solo	
<b>Myrtaceae</b>				
<i>Eugenia stipitata</i>	Araçá-boi	1,29	3,99	2,84
<i>Psidium myrtooides</i>	Araçá-roxo	32,73	61,86	40,4
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Gabiroba	0	80	40
<i>Psidium guajava</i>	Goiaba polpa branca	0,71	13,65	7,18
	Goiaba polpa branca <sup>1</sup>	0	0	0
	Goiaba roxa	21,02	37,5	28,51
<i>Plinia jaboticaba</i>	Jaboticaba <sup>1</sup>	0	0	0
<i>Eugenia involucrata</i>	Cereja do rio grande	15,37	40,9	27
<i>Syzygium jambos</i>	Jambo	0	0	0
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga	36,66	38,81	37,73
	Pitanga <sup>1</sup>	40,54	59,25	49,89
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia <sup>1</sup>	0,9	0	0,45

Continua...

Tabela 4 – Continuação

Hospedeiros		Parasitismo (%)		Parasitismo médio (%)
Família/ Espécie	Nome vernacular	Árvore	Solo	
<b>Rubiaceae</b>				
<i>Coffea arabica</i>	Café convencional	0	-	0
	Café SAT <sup>3</sup>	31,4	-	31,4
<b>Oxalidaceae</b>				
<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	6,96	7,09	7,02
<b>Rutaceae</b>				
<i>Citrus paradisi</i> x <i>Poncirus trifoliata</i>	Citrango	0	0	0
<i>Citrus sinensis</i>	Laranja Serra d'água <sup>2</sup>	0	0	0
<i>Fortunella margarita</i>	Laranja Kinkan	0,55	54,68	30,62
<i>Citrus limonia</i>	Limão cravo	0	7,14	3,57
<i>Poncirus trifoliata</i>	Poncirus	0	0	0
<i>Citrus unshiu</i>	Tangerina Satsuma	0	0	0

Continua...

Tabela 4 – Continuação

Hospedeiros		Parasitismo (%)		Parasitismo médio (%)
Família/ Espécie	Nome vernacular	Árvore	Solo	
<b>Rosaceae</b>				
<i>Eriobotrya japonica</i>	Nêspera	13,65	9,55	11,6
<i>Pyrus communis</i> x <i>P. pyrifolia</i>	Pêra	0	0	0
<i>Prunus persica</i>	Pêssego Libra	0,3	0,28	0,19
	Pêssego Rubimel	0	0	0

<sup>1</sup>coletas realizadas nos pomares domésticos de Ijací, MG

<sup>2</sup>coleta realizada no pomar doméstico de Itumirim, MG

<sup>3</sup>Café SAT: café sem aplicações de agrotóxicos



Tabela 5 –Moscas-das-frutas coletadas com armadilhas McPhail durante o período de novembro de 2019 a abril de 2021 (Pomar de fruticultura da UFLA, Lavras, MG).

Espécies	Número de fêmeas	Coletas	Frequência relativa
<i>Ceratitis capitata</i>	880	22	0,498
<i>Anastrepha fraterculus</i>	600	45	0,339
<i>Anastrepha obliqua</i>	255	24	0,144
<i>Anastrepha distincta</i>	11	8	0,006
<i>Anastrepha grandis</i>	7	7	0,004
<i>Anastrepha dissimilis</i>	6	4	0,003
<i>Anastrepha bistrigata</i>	4	4	0,002
<i>Anastrepha pseudoparallela</i>	3	2	0,002
<i>Anastrepha amita</i>	1	1	0,001
<i>Anastrepha punctata</i>	1	1	0,001
Total	1768		
Riqueza S'	10		

**ARTIGO 2 – Do volatiles from the fruit-fly host signal shelter and prey presence? The case of the predatory earwig *Euborellia annulipes***

(Manuscript written following Entomologia Experimentalis et Applicata' guidelines)

Rosamara Souza Coelho<sup>1</sup>; Marvin Pec<sup>2</sup>; Patrícia Pereira<sup>1</sup>; Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor<sup>1</sup>; Rosangela Cristina Marucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

<sup>2</sup>Department of Entomology and Acarology, Luiz de Queiroz College of Agriculture (ESALQ/USP), University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil

**\*Correspondence**

Rosangela Cristina Marucci, Biological Control Laboratory, Entomology Department, Federal University of Lavras, PO Box 3037, 37200-900, Lavras, State of Minas Gerais, Brazil. E-mail: rosangelac.marucci@ufla.br

**Short Title:** Volatiles from fruit-fly host and the case of *Euborellia annulipes*

## 1 **Abstract**

2 Chemical clues are crucial to natural enemies in searching for and successfully locating the host  
3 or prey. *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae), a nocturnal predatory  
4 earwig, is often found inside fruits of the family Myrtaceae that have fallen to the ground and  
5 become infested with larvae of fruit flies (Diptera: Tephritidae). Here, we evaluated the role of  
6 volatiles from guava fruit (*Psidium guajava* L.) in signaling the presence of shelter and prey to  
7 females of this earwig. First, in arena tests, we investigated the preference of earwigs,  
8 inexperienced with guava odors or fruit-fly predation, to shelter in mechanically perforated  
9 fruits, not infested by larvae of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) vs.  
10 artificial fruits, and for mechanically perforated vs. larvae-infested fruits. Subsequently, we  
11 evaluated the earwigs' attraction and preference for volatiles emitted by guavas that were intact,  
12 mechanically perforated, and infested by larvae of *C. capitata*. The results of the arena tests  
13 showed that at all times evaluated, the earwigs preferred the guava fruits over the artificial fruits  
14 and had no preference between infested and uninfested fruits up to 33 h; however, from 45 h  
15 after release, more females sheltered in fruits without larvae. The olfactory tests showed that  
16 the female earwigs recognized volatiles from mechanically perforated fruits infested with *C.*  
17 *capitata* larvae, but preferred volatiles emitted by infested guavas over volatiles from intact or  
18 mechanically damaged fruits. Thus, our results suggest that females of *E. annulipes* use volatile  
19 chemical cues to locate guava fruits, which serve as shelter, and that despite being initially  
20 attracted by the odors of prey-infested guava fruits, they prefer to shelter in uninfested fruits  
21 after predation.

22

23 **Key-words:** Guava; behavior trials; olfactory response; Mediterranean fruit fly; tritrophic  
24 interaction

25

## 26 **Introduction**

27           In response to damage caused by herbivorous arthropods, plants emit complex mixtures  
28 of volatile compounds (herbivore-induced plant volatiles, HIPVs), providing important clues to  
29 natural enemies in locating, especially over long distances, potential hosts and prey (Hare, 2011;  
30 McCormick et al., 2012; Turlings & Erb, 2018; Takabayashi & Shiojiri, 2019). For example,  
31 in a plant-herbivore system where the hosts or prey are protected by the fruit pulp and therefore  
32 “invisible” to natural enemies, HIPVs can provide reliable information on the presence of  
33 herbivores, triggering innate and/or acquired responses to the perception of these stimuli.  
34 Among the most harmful pests of fruit crops, fruit flies are difficult to control because the larvae  
35 remain protected most of the time inside host fruits and later pupate in the soil, which allows  
36 them to escape conventional control strategies, mainly insecticides, and to remain protected  
37 until a new infestation cycle begins.

38           Among fruit-fly species, the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann)  
39 (Diptera: Tephritidae) is considered the most harmful because of its high polyphagy, phenotypic  
40 plasticity (Lemic et al., 2021), and cosmopolitan character (Deschepper et al., 2021), making it  
41 highly prevalent and invasive (Malacrida et al., 2007). Because of market pressure for high-  
42 quality fresh fruits and the inefficiency of chemical insecticides used indiscriminately,  
43 biological control through the use of parasitoids has assumed a prominent position (Garcia &  
44 Ricalde, 2013; Paranhos et al., 2019). It is well documented that parasitoids utilize HIPVs from  
45 host fruits in foraging, locating, and adapting to fruit-fly larvae (Altuzar et al., 2004; Silva et  
46 al., 2007; Segura et al., 2012, 2016; Pérez et al., 2013; Harbi et al., 2019; Cai et al., 2020);  
47 however, there is a gap in the understanding of predator-fly interactions.

48           As far as we are aware, no studies have focused on understanding the ecological  
49 relationships of the Mediterranean fruit fly with soil predators, such as those of the order  
50 Dermaptera, and few published reports suggest their association (Urbaneja et al., 2006; Orsini

51 et al., 2007) and the potential of dermapterans for predating tephritids (Clancy et al., 1951;  
52 Marucci, 1955; Hennessey, 1997; Oliveira et al., 2019). The earwig *Euborellia annulipes*  
53 (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) was often found inside fruits of guava *Psidium guajava*  
54 (Linnaeus) infested with fruit-fly larvae and fallen to the ground, suggesting predatory activity.  
55 In the laboratory, the earwigs fed on pupae and larvae of different instars of *C. capitata* (Coelho,  
56 unpublished data). Besides this, *E. annulipes* is a biological-control agent for lepidopterans  
57 (Silva et al., 2009; Nunes et al., 2019), dipterans (Byttebier & Fischer, 2019; Tangkawanit et  
58 al., 2021), hemipterans (Oliveira et al., 2019), and coleopterans (Lemos et al., 2003). *Euborellia*  
59 *annulipes* is distinguished by its nocturnal predatory activity and high voracity, one of the most  
60 significant attributes of this species. The ability of *E. annulipes* to enter infested fruits through  
61 holes formed when the fruit drop (Coelho, personal observation) allows the earwigs to consume  
62 larvae that are located deeper in the pulp and that may have occasionally escaped natural  
63 parasitism. All these factors indicate that this species is another potential biocontrol agent for  
64 fruit flies.

65 In our study, we evaluated the role of guava-fruit volatiles in signaling shelter and the  
66 presence of prey to earwigs. We address the following questions: (i) do the earwigs search for  
67 guava fruits as a shelter? (ii) do earwigs have a preference between prey-infested and non-prey-  
68 infested guava fruits? (iii) do volatile compounds released by mechanically perforated or prey-  
69 infested guava fruits attract earwigs? (iv) do earwigs prefer volatile compounds released by  
70 infested fruits over compounds emitted by mechanically perforated or intact fruits? and (v) do  
71 earwigs have a preference between mechanically perforated and intact guava fruits? Based on  
72 our findings and previous reports (Clancy et al., 1951; Hennessey, 1997) we hypothesized that  
73 infested guava fruits can provide not only shelter but also food for the sustenance and  
74 reproduction of the earwigs. Furthermore, it is desirable, from the perspective of biological  
75 control, to exploit potential natural enemies dispersed in the field, adding effort to the

76 techniques already used. Understanding of the ecological functions of *E. annulipes* will support  
77 further investigation of its true role as a predator, with a view toward implementation of  
78 strategies for fruit-fly control in orchards.

79

## 80 **Material and methods**

### 81 Fruits and insects

82 Fruits of *P. guajava* (cv. Paluma) were purchased at a supermarket and brought to the  
83 laboratory for cleaning with water and neutral detergent. Next, the fruits were washed in a 5%  
84 sodium hypochlorite solution for disinfection and left to dry naturally. Guava fruits were  
85 purchased every three days, standardizing the supplier, variety, stage of maturation (ripening  
86 fruits), and absence of punctures that would indicate oviposition by fruit flies in the field.

87 A colony of the earwig *E. annulipes* was established with about 70 individuals collected  
88 from fruits, especially of the family Myrtaceae, infested with fruit flies and obtained from the  
89 soil of the Fruit Culture Sector on the Experimental Campus of the Federal University of Lavras  
90 (UFLA), in the municipality of Lavras, Minas Gerais (44°58'56" W and 21°13'50" S, altitude  
91 908 m). The rearing method was adapted from Pacheco et al. (2023) and the adults were  
92 occasionally supplemented with the wheat aphid *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera:  
93 Aphididae) from a laboratory rearing colony. Only female earwigs were used for the bioassays  
94 because of their greater foraging activity compared to males of the species (Moral et al., 2017).  
95 These females had no previous experience of guava-fruit odors or fruit-fly predation.  
96 Specimens of *C. capitata* were obtained from a colony maintained in the UFLA Department of  
97 Entomology and reared according to the method described by Fernandes et al. (2019). Colonies  
98 of earwigs and fruit flies were maintained in climate-controlled rooms (25±2 °C, 70 ± 10% RH,  
99 and 12-h photophase), which were also used for the experiments.

100

## 101 Treatments

102 To obtain mechanically perforated guava fruits (MPF), the fruits were cleaned in the  
103 laboratory, and 48 h before a test began, we bored a hole 0.8 cm in diameter and 5.5 cm in depth  
104 in each fruit, in the top-central portion so as not to pierce the opposite side. Three hours before  
105 the test, we bored holes 0.8 cm in diameter in the side of each fruit (totaling four holes per fruit),  
106 to simulate the openings formed when the fruits fall to the ground and to facilitate access to the  
107 inside of the fruits by the earwigs. To obtain infested fruits (IF), we inoculated 30 5-day-old  
108 larvae of *C. capitata* into each fruit through the central hole.

109 The number of larvae per fruit was determined based on the results obtained in  
110 preliminary tests of predatory capacity (Coelho, unpublished data). To prevent the larvae from  
111 escaping, the inoculation hole was sealed with Parafilm M® pierced with small pinholes to  
112 allow gas exchange. As with the MPF, four holes were bored into the sides of each IF prior to  
113 the beginning of the experiments. Intact fruits (UF), with no mechanical damage or larvae, were  
114 used only in the olfactory-preference assays. The fruits were kept in voile-covered plastic trays  
115 (435 × 285 × 80 mm) under controlled conditions until the experiments were carried out.

116

## 117 Host preference for guava and artificial fruits

118 To determine whether the chemical cues of the uninfested guava fruit are responsible  
119 for guiding the earwig to the fruit, we performed double-choice tests between MPF and artificial  
120 fruits (AF) in rectangular plastic arenas (129 × 280 × 410 mm). Each arena contained an MPF  
121 and an AF filled with hydrogel, simulating a humid environment, both mechanically perforated  
122 as previously described. A female earwig (12 to 26 days old and not previously fasted, as the  
123 treatments did not include food) was released in the center of each arena and her choice between  
124 treatments recorded at 16 time intervals, 8 observations in the photophase and 8 observations  
125 in the scotophase. The time intervals were set at: 0, 3, 6, 7, 8, 9, 21, 24, 27, 30, 31, 32, 33, 45,

126 48 and 72 h after the females were released, which corresponded to the times of day: 12:00,  
127 15:00, 18:00, 19:00, 20:00 and 21:00 on day 1; 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 19:00, 20:00 and  
128 21:00 on day 2; 09:00 and 12:00 on day 3; 12:00 on day 4, respectively.

129 To observe the behavior of earwigs in scotophase, we used a portable red light (Naranjo-  
130 Guevara et al., 2021). To investigate whether the presence of *C. capitata* larvae plays a role in  
131 the innate attraction of the earwig female to the fruit, we conducted a double-choice test similar  
132 to the previous one. The treatments consisted of one MPF and one IF as described above. For  
133 this test, an earwig female (10 to 26 days old and fasted for 48 h) was released in the center of  
134 each arena, her choice between the treatments recorded at the above time intervals, and the  
135 number of larvae consumed recorded at the end of the 72-h evaluation period. For both  
136 experiments, each earwig was considered one repetition, totaling 31 repetitions.

137 The innate response of *E. annulipes* in searching for shelter was analyzed through  
138 generalized linear mixed models (GLMM) with a binomial distribution, with the treatments as  
139 fixed variables and evaluation intervals as random variables. The Wald Type II chi-square test  
140 was used to compare odor sources. The response of *E. annulipes* in choosing between MPF and  
141 IF was analyzed using generalized linear models (GLM) with binomial distribution. The log-  
142 likelihood ratio test was used to compare odor sources at each assessment interval. For both  
143 tests, the means were compared by Tukey's test, with 5% probability, and goodness of fit was  
144 determined through a semi-normal plot with a simulation envelope. All statistical analyses were  
145 carried out with the software R 3.6 (R Core Team, 2019) with the packages “lme4” (Bates et  
146 al., 2015), “emmeans” (Searle et al., 1980), and “hnp” (Moral et al., 2017).

147

148 Olfactory preference

149 The olfactory behavior of *E. annulipes* females was initially observed in a Y-tube  
150 olfactometer, following the method described by Naranjo-Guevara et al. (2017); however, the



151 responses were inconsistent, and an arena was developed for testing the olfactory stimuli  
152 (Figure 1). The innate olfactory response of *E. annulipes* females was evaluated in a series of  
153 five double-choice trials, where volatile cues were evaluated in the following combinations: (i)  
154 MPF vs. blank; (ii) IF vs. blank; (iii) IF vs. MPF; (iv) MPF vs. UF; and (v) IF vs. UF (Table 1).  
155 For the control treatment (blank) a ball of sulfite paper of similar size to the guava fruit was  
156 used. The treatments were enclosed in polyester bags (31 × 41 cm) and sealed with a nylon tie  
157 one hour before the beginning of the tests. The tests took place in the scotophase (19:00–22:00  
158 h), as the earwigs show random-choice behavior during the photophase (Naranjo-Guevara et  
159 al., 2017). To observe the behavior of the earwigs we used a portable red light. Silicone tubes  
160 (21 cm) connected to polyester bags containing the respective treatments were attached to  
161 opposite sides of a Petri dish used as the arena (15 cm in diameter). Each arena contained a  
162 central marking and two half-moon lateral markings surrounding the hole through which the  
163 volatiles arrived (Figure 1). One female (4 to 25 days old and fasted for 48 h) was released  
164 through a microcentrifuge tube, cut and sealed with a cotton swab soaked in water, at one end  
165 of the arena. The female was considered to have responded when she entered one of the tubes  
166 within 5 min. Undivided individuals that did not choose a treatment within that time were excluded from  
167 the statistical analysis. At each repetition, the tubes and arena were replaced and the treatments  
168 were inverted to avoid lateral bias. Each earwig was tested only once; after every 4 insects a  
169 new pair of fruits/treatments was used. For each combination of treatments there were at least  
170 43 responses.

171         The olfactory response of *E. annulipes* was analyzed using generalized linear mixed  
172 models (GLMM) with binomial distribution, with odor sources as fixed variables and  
173 fruit/treatment pairs as random variables. The Wald Type II chi-square test was used to compare  
174 odor sources. Goodness of fit was determined using a semi-normal plot with a simulation  
175 envelope. All statistical analyses were performed using R 3.6 (R Core Team, 2019) with the

176 packages “lme4” (Bates et al., 2015), “emmeans” (Searle et al., 1980), and “hnp” (Moral et al.,  
177 2017).

178

## 179 **Results**

### 180 Host preference for guava and artificial fruits

181 The earwigs preferred to shelter in MPF over AF during the entire experiment (GLMM-  
182 Binomial,  $\chi^2 = 21.37$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; Figure 2). In the test of the earwigs' preference  
183 between MPF and IF, there was an interaction between treatments and evaluation time (GLMM;  
184  $\chi^2 = 22.95$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; Figure 3). Up to 33 h, there was no difference between treatments;  
185 however, from 45 h after release, more earwig females sheltered in fruits without larvae (MPF)  
186 than in fruits with larvae (IF) (GLM-Binomial, 45 h:  $\chi^2 = 28.03$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; 48 h:  $\chi^2 =$   
187  $28.03$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; 72 h:  $\chi^2 = 25.02$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; Figure 3). In this assay, the mean  
188 consumption recorded at the end of the evaluations was  $11.39 \pm 1.07$  larvae/female (mean  $\pm$   
189 standard error).

190

### 191 Olfactory preference

192 Females of *E. annulipes* responded to volatiles from guava fruits in the arena tests,  
193 where they were attracted to volatiles emitted by MPF (GLMM;  $\chi^2 = 10.01$ , d.f. = 1,  $p = 0.0015$ ;  
194 Figure 4) and IF (GLMM;  $\chi^2 = 21.87$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; Figure 4) versus the blank (absence  
195 of fruit). However, earwigs exposed to the odors of MPF and IF preferred the volatiles from IF  
196 (GLMM;  $\chi^2 = 18.66$ , d.f. = 1,  $p < 0.001$ ; Figure 4). Although 58% of earwigs were attracted to  
197 MPF odors in relation to those emitted by UF, there was no statistically significant difference  
198 between treatments (GLMM;  $\chi^2 = 2.16$ , d.f. = 1,  $p = 0.1416$ ; Figure 4). Furthermore, earwigs  
199 exposed to IF and UF odors preferred IF (GLMM;  $\chi^2 = 10.65$ , d.f. = 1,  $p = 0.0011$ ; Figure 4).

200

## 201 Discussion

202 To locate food in a habitat with diverse host plants and potential prey, predators are  
203 guided by their innate or acquired olfactory, visual, and tactile preferences (Ardanuy et al.,  
204 2016; Takabayashi & Shiojiri, 2019). In a system where the larvae/prey are “protected” inside  
205 the fruit pulp, predators need to develop tactics to optimize locating prey, which includes  
206 detecting clues from the microhabitat of their prey (host fruits), especially over long distances.  
207 Earwigs, soil insects that forage exclusively at night (Naranjo-Guevara et al., 2017) and seek  
208 protection during the day in dark humid places (Klostermeyer, 1942), can use the host fruit of  
209 their prey as shelter and food source. Our study focused on evaluating the role of volatiles from  
210 guava fruits, infested or not with *C. capitata* larvae, in attracting the predatory earwig *E.*  
211 *annulipes*.

212 Our results confirmed our hypothesis that earwigs are attracted to guava fruits, which  
213 serve as a shelter. The earwigs not only preferred to shelter in the natural guava fruit but were  
214 also attracted by volatiles from the mechanically perforated fruits. Guava fruits that earwigs  
215 find on the ground usually have openings due to the stage of ripening and the impact on the  
216 ground, enabling the earwigs to access the fruits and providing an opportunity to encounter their  
217 prey. The larvae-infested fruit emitted even more-attractive volatiles to earwigs than the  
218 mechanically perforated fruit, as we predicted. However, the earwigs initially did not  
219 distinguish between the two treatments in the host-preference assays, and after approximately  
220 2 days, preferred to shelter in the mechanically perforated fruits.

221 Despite this preference, all the earwigs consumed larvae in the fruits (on average, each  
222 earwig consumed 36% of the larvae), which indicates that visiting the infested fruit resulted in  
223 predation. The consistency of the pulp in the infested fruit differed notably from the consistency  
224 of the mechanically perforated fruit. During the trial, the feeding larvae turned the fruit pulp  
225 gelatinous (Supplementary Fig. S1), which probably made it difficult for the earwigs to remain

226 inside after 2 days. In the field, however, we believe that this effect would be less intense, since  
227 the excess moisture from the fruit would be absorbed by the soil, enabling the earwigs to remain  
228 in the infested fruits. Interestingly, in the host-preference experiment, the earwigs filled the  
229 holes with mechanically perforated fruit pulp, presumably as a kind of “extra protection”  
230 against possible invaders (Supplementary Fig. S2). Most of the mechanically perforated fruits  
231 with this “seal” contained an earwig egg mass (Supplementary Figure S3), which reinforces the  
232 assumption that the fruits can still serve as a shelter for females and their offspring.

233         Over long distances, the volatile mixture released by infested fruits guides parasitoids  
234 and predators to habitats where they are more likely to encounter prey (Takabayashi & Shiojiri,  
235 2019). Much is already known about the localization of the habitat (including the microhabitat)  
236 and the host by fruit-fly parasitoids (Quilici & Rouse, 2012). For example, females of  
237 *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae), a generalist  
238 parasitoid and important control agent of *C. capitata* larvae in agricultural systems, recognize  
239 the volatiles of fruit fly-infested guavas (Silva et al., 2007). This parasitoid responds to  
240 compounds derived from larval activity (Segura et al., 2012), can discriminate between infested  
241 and uninfested fruits based on infochemicals, and its preference is modulated by the level of  
242 infestation (Segura et al., 2016). Guava fruits infested with fruit-fly eggs are significantly more  
243 attractive to females of the parasitoid *Fopius arisanus* Sonan (Hymenoptera: Braconidae) than  
244 are uninfested fruits (Pérez et al., 2013). However, unlike fruit-fly parasitoids that only insert  
245 the ovipositor into the fruit to parasitize host eggs and larvae, predatory earwigs need to  
246 penetrate the fruit pulp to prey, and our results suggest that their ability to remain in the fruit  
247 with prey depends on the consistency of the pulp.

248         In this study, we did not characterize the chemical profile of the volatiles from guava  
249 fruits; however, guava fruits, regardless of the stage of ripening, emit mostly volatiles derived  
250 from fatty acids (known as green leaf volatiles) such as (E)- 2-hexenal and (Z)-3-hexenyl

251 acetate (Soares et al., 2007). This group of plant volatiles seems to be important in attracting  
252 the predatory earwig *Doru luteipes* (Naranjo-Guevara et al., 2017, 2021), as well as other  
253 generalist predators (Yu et al., 2008; Allmann & Baldwin, 2010; Maeda et al., 2015). Future  
254 studies may investigate the role of green leaf volatiles in the behavior of the earwig *E. annulipes*  
255 in searching for prey.

256         In addition to herbivory-induced volatiles, other odors from infested guava fruits may  
257 have influenced their attractiveness to the earwigs in the olfactory-preference assays. Chemical  
258 cues derived from fruit-fly larvae, such as in the frass, may be attractive to natural enemies  
259 (Segura et al., 2012), even though they are less abundant and less detectable over long distances  
260 compared to host-plant volatiles (Vet & Dicke, 1992). Furthermore, microbial growth on fruits  
261 can influence the odor profile of the fruits, as well as the response of earwigs, which  
262 occasionally feed on fungi (Silva et al., 2022). However, in our study, the time interval between  
263 the fruit damage or infestation and the trials (4 days) was short and the fruits did not appear to  
264 have rotted, so that volatiles derived from microorganisms were probably not dominant in the  
265 mixture.

266         *Euborellia annulipes* has been gaining notoriety as a voracious predator of insect pest  
267 (Byttebier & Fischer, 2019; Nunes et al., 2019; Tangkawanit et al., 2021; Souza et al., 2022)  
268 and may be a useful addition to the arsenal of fruit-fly control agents. Because of the difficulty  
269 of controlling larvae inside the fruits and the ability of larvae and pupae in soil to escape control,  
270 knowledge of their ecological relationships can support biological-control programs and,  
271 especially, foster more-complex discussions about their multitrophic interactions. Our results  
272 showed that guava-fruit volatiles are important clues to help earwigs in locating shelter and  
273 prey. New research should contribute to the understanding of chemical cues associated with  
274 different levels of fruit ripening and microorganisms associated with guava-fruit infestation.

275 Further studies are needed to identify the volatile compounds involved in the attraction found  
276 in the present study.

277

### 278 **Acknowledgments**

279 We thank people that work on Department of Entomology, Federal University of Lavras  
280 (UFLA) in Brazil especially to the Biological Control laboratory. This research is part of a PhD  
281 thesis of Rosamara Souza Coelho and was supported by Conselho Nacional de  
282 Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grant Number: Process CNPq-  
283 141130/2018-0.

284 **References**

- 285 Allmann S & Baldwin IT (2010) Insects betray themselves in nature to predators by rapid  
286 isomerization of green leaf volatiles. *Science*, 329: 1075-1078.
- 287 Altuzar A, Montoya P & Rojas JC (2004). Response of *Fopius arisanus* (Hymenoptera:  
288 Braconidae) to fruit volatiles in a wind tunnel. *Florida Entomologist* 87: 616–618.
- 289 Ardanuy A, Albajes R & Turlings TCJ (2016) Innate and Learned Prey-Searching Behavior in  
290 a Generalist Predator. *Journal of Chemical Ecology* 42: 497–507.
- 291 Bates D, Mächler M, Bolker BM & Walker SC (2015) Fitting linear mixed-effects models using  
292 lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 1–48.
- 293 Byttebier B & Fischer S (2019) Predation on Eggs of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae):  
294 Temporal dynamics and identification of potential predators during the winter season in a  
295 temperate region. *Journal of Medical Entomology* 56: 737–743.
- 296 Cai P, Song Y, Huo D, Lin J, Zhang H, Zhang Z, Xiao C, Huang F & Ji Q (2020) Chemical  
297 cues induced from fly-oviposition mediate the host-seeking behaviour of *Fopius arisanus*  
298 (Hymenoptera: Braconidae), an effective egg parasitoid of *Bactrocera dorsalis* (Diptera:  
299 Tephritidae), within a tritrophic context. *Insects* 11: 231.
- 300 Clancy D, Marucci P & Van Den Bosch R (1951) Notes on Natural Enemies of Tephritid Flies.  
301 *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 14: 229–235.
- 302 Deschepper P, Todd TN, Virgilio M, De Meyer M, Barr NB & Ruiz-Arce R (2021) Looking at  
303 the big picture: worldwide population structure and range expansion of the cosmopolitan pest  
304 *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Biological Invasions* 23: 3529–3543.
- 305 Fernandes E, Araujo E, Souza I, Souza M & Nunes G, 2019. Development and morphological  
306 characterization of the immature stages of *Tetrastichus giffardianus* Silvestri (Hymenoptera:

- 307 Eulophidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 63: 262–267.
- 308 Garcia FRM & Ricalde MP (2013) Augmentative biological control using parasitoids for fruit  
309 fly management in Brazil. *Insects* 4: 55–70.
- 310 Harbi A, De Pedro L, Ferrara FAA, Tormos J, Chermiti B, Beitia F & Sabater-Munoz B (2019)  
311 *Diachasmimorpha longicaudata* Parasitism Response to Medfly Host Fruit and Fruit  
312 Infestation Age. *Insects* 10: 211.
- 313 Hare JD (2011) Ecological Role of Volatiles Produced by Plants in Response to Damage by  
314 Herbivorous Insects. *Annual Review of Entomology* 56: 161–180.
- 315 Hennessey MK (1997) Predation on wandering larvae and pupae of Caribbean fruit fly (Diptera:  
316 Tephritidae) in guava and carambola grove soils. *Journal of Agricultural and Urban*  
317 *Entomology* 14: 129–138.
- 318 Klostermeyer EC (1942) The Life History and Habits of the Ringlegged Earwig, *Euborellia*  
319 *annulipes* (Lucas) (Order Dermaptera). *Journal of the Kansas Entomological Society* 15: 13–  
320 18.
- 321 Lemic D, Bjeliš M, Ninčević P, Živković IP, Popović L, Gašparić HV & Benitez HÁ (2021)  
322 Medfly Phenotypic Plasticity as A Prerequisite for Invasiveness and Adaptation. *Sustainability*  
323 13: 12510.
- 324 Lemos WP, Ramalho FS & Zanuncio JC (2003) Age-Dependent Fecundity and Life-Fertility  
325 Tables for *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) a Cotton Boll Weevil  
326 Predator in Laboratory Studies with an Artificial Diet. *Environmental Entomology* 32: 592–  
327 601.
- 328 Maeda T, Kishimoto H, Wright LC & James DG (2015) Mixture of Synthetic Herbivore-



- 329 induced Plant Volatiles Attracts More *Stethorus punctum picipes* (Casey) (Coleoptera:  
330 Coccinellidae) than a Single Volatile. *Journal of Insect Behavior* 28: 126–137.
- 331 Malacrida AR, Gomulski LM, Bonizzoni M, Bertin S, Gasperi G & Guglielmino CR, (2007)  
332 Globalization and fruitfly invasion and expansion: The medfly paradigm. *Genetica* 131: 1–9.
- 333 Marucci PE (1955) Notes on the predatory habits and life cycle of two Hawaiian earwigs.  
334 *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 15: 565–569.
- 335 McCormick AC, Unsicker SB & Gershenson J (2012) The specificity of herbivore-induced  
336 plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in Plant Science* 17: 303–310.
- 337 Moral R de A, Demétrio CGB, Hinde J, Godoy WAC & Fernandes FS (2017) Parasitism-  
338 mediated prey selectivity in laboratory conditions and implications for biological control. *Basic  
339 and Applied Ecology* 19: 67–75.
- 340 Moral RA, Hinde J, Demétrio CGB, 2017. Half-normal plots and overdispersed models in R:  
341 The hnp package. *Journal of Statistical Software* 81, 1–23.
- 342 Naranjo-Guevara N, Peñaflor MFGV, Silva DB & Bento JMS (2021) A comparison of the  
343 direct and indirect defence abilities of cultivated maize versus perennial and annual teosintes.  
344 *Chemoecology* 31: 63–74.
- 345 Naranjo-Guevara N, Peñaflor MFG V, Cabezas-Guerrero MF & Bento JMS (2017) Nocturnal  
346 herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder.  
347 *The Science of Nature* 104: 77.
- 348 Nunes GS, Dantas TAV, Souza MS, Nascimento IN, Batista JL & Malaquias JB (2019) Life  
349 stage and population density of *Plutella xylostella* affect the predation behavior of *Euborellia  
350 annulipes*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167: 544–552.

- 351 Oliveira LVQ, Oliveira R , Nascimento Júnior JL, Silva ITFA, Barbosa VO, Batista JL (2019).  
352 Capacidade de busca da tesourinha *Euborellia annulipes* sobre o pulgão *Brevicoryne brassicae*  
353 (Hemiptera: Aphididae). *PesquisAgro* 2: 3–10.
- 354 Oliveira R, Alves PRR, Dantas TAV, Oliveira GM, Borba MA, Souza MS & Batista JL (2019)  
355 Biological Aspects and Predation of *Pygidicrana v-nigrum* against the Mediterranean Fly  
356 *Ceratitis capitata*. *Journal of Experimental Agriculture International* 31: 1–8.
- 357 Orsini MM, Daane KM, Sime KR & Nelson EH (2007) Mortality of olive fruit fly pupae in  
358 California. *Biocontrol Science and Technology* 17: 797–807.
- 359 Pacheco RC, Silva DD, Mendes SM, Lima KP, Figueiredo JEF & Marucci RC (2023) How  
360 omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera:  
361 Forficulidae)? *Brazilian Journal of Biology* 83: e243890 (in press).
- 362 Paranhos BJ, Nava DE & Malavasi A (2019) Biological control of fruit flies in Brazil. *Pesquisa*  
363 *Agropecuaria Brasileira* 54: e26037.
- 364 Pérez J, Rojas JC, Montoya P, Liedo P & Castillo A (2013) *Anastrepha* egg deposition induces  
365 volatiles in fruits that attract the parasitoid *Fopius arisanus*. *Bulletin of Entomological Research*  
366 103: 318–325.
- 367 Quilici S & Rouse P (2012) Location of Host and Host Habitat by Fruit Fly Parasitoids. *Insects*  
368 3: 1220–1235.
- 369 R Core Team (2019) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation  
370 for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 371 Searle SR, Speed FM & Milliken GA (1980) Population Marginal Means in the Linear Model:  
372 An Alternative to Least Squares Means. *The American Statistician* 34: 216–221.

- 373 Segura DF, Nussenbaum AL, Viscarret MM, Devescovi F, Bachmann GE, Corley JC, Ovruski  
374 SM & Cladera JL (2016) Innate host habitat preference in the parasitoid *Diachasmimorpha*  
375 *longicaudata*: Functional significance and modifications through learning. *PLoS ONE* 11:  
376 e0152222.
- 377 Segura DF, Viscarret MM, Ovruski SM & Cladera JL (2012) Response of the fruit fly parasitoid  
378 *Diachasmimorpha longicaudata* to host and host-habitat volatile cues. *Entomologia*  
379 *Experimentalis et Applicata* 143: 164–176.
- 380 Silva AB, Batista JL & Brito CH (2009) Capacidade predatória de *Euborellia annulipes* (Lucas,  
381 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). *Acta Scientiarum, Agronomy* 31: 7–11.
- 382 Silva DD, Mendes SM, Parreira DF, Pacheco RC, Marucci RC, Cota LV, Costa RV &  
383 Figueiredo JEF (2022) Fungivory: a new and complex ecological function of *Doru luteipes*  
384 (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology* 82: e238763.
- 385 Silva JWP, Bento JMS & Zucchi RA (2007) Olfactory response of three parasitoid species  
386 (Hymenoptera: Braconidae) to volatiles of guavas infested or not with fruit fly larvae (Diptera:  
387 Tephritidae). *Biological Control* 41: 304–311.
- 388 Soares FD, Pereira T, Maio Marques MO & Monteiro AR (2007) Volatile and non-volatile  
389 chemical composition of the white guava fruit (*Psidium guajava*) at different stages of maturity.  
390 *Food Chemistry* 100: 15–21.
- 391 Souza JM, Selegim AR, Nunes GS, Truzzi CC, Vieira NF & Bortoli SA (2022) Predation of  
392 *Diatraea saccharalis* eggs and neonates by the earwig *Euborellia annulipes*. *Biological*  
393 *Control*: 104953.
- 394 Takabayashi J & Shiojiri K (2019) Multifunctionality of herbivory-induced plant volatiles in  
395 chemical communication in tritrophic interactions. *Current Opinion in Insect Science* 32: 110–

396 117.

397 Tangkawanit U, Seehavet S & Siri N (2021) The potential of *Labidura riparia* and *Euborellia*  
398 *annulipes* (Dermaptera) as predators of house fly in livestock. *Songklanakarin Journal of*  
399 *Science and Technology* 43: 603–607.

400 Turlings TCJ & Erb M (2018). Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant  
401 Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. *Annual Review of*  
402 *Entomology* 63: 433–452.

403 Urbaneja A, García Marí F, Tortosa D, Navarro C, Vanaclocha P, Bagues L & Castañera P  
404 (2006) Influence of ground predators on the survival of the Mediterranean fruit fly pupae,  
405 *Ceratitis capitata*, in Spanish citrus orchards. *BioControl* 51: 611–626.

406 Vet LEM & Dicke M (1992) Ecology of Infochemical Use by Natural Enemies in a Tritrophic  
407 Context. *Annual Review of Entomology* 37: 141–172.

408 Yu H, Zhang Y, Wu K, Gao XW & Guo YY (2008) Field-testing of synthetic herbivore-induced  
409 plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Environmental Entomology* 37: 1410–1415

410

411

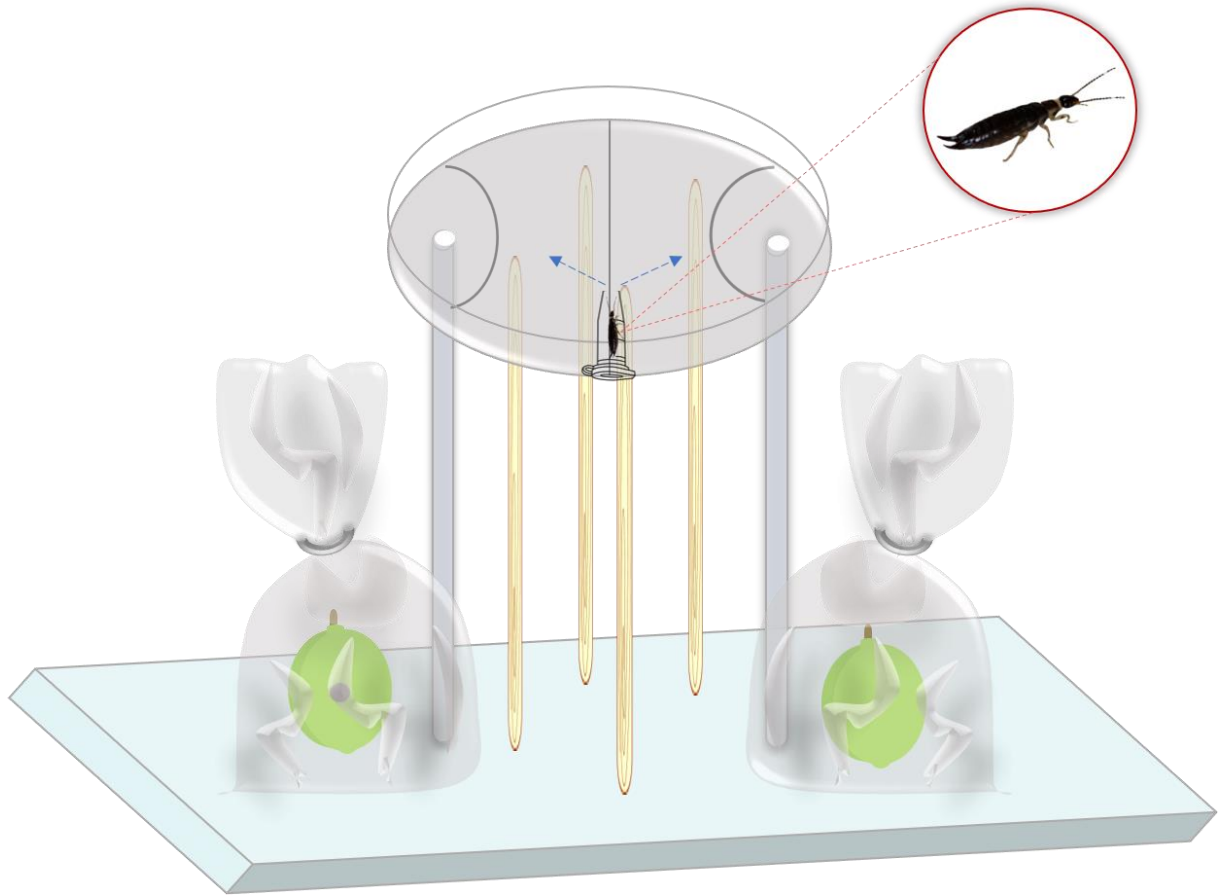
**Figures**

Figure 1. Arena used in the two-choice tests of olfactory preference.

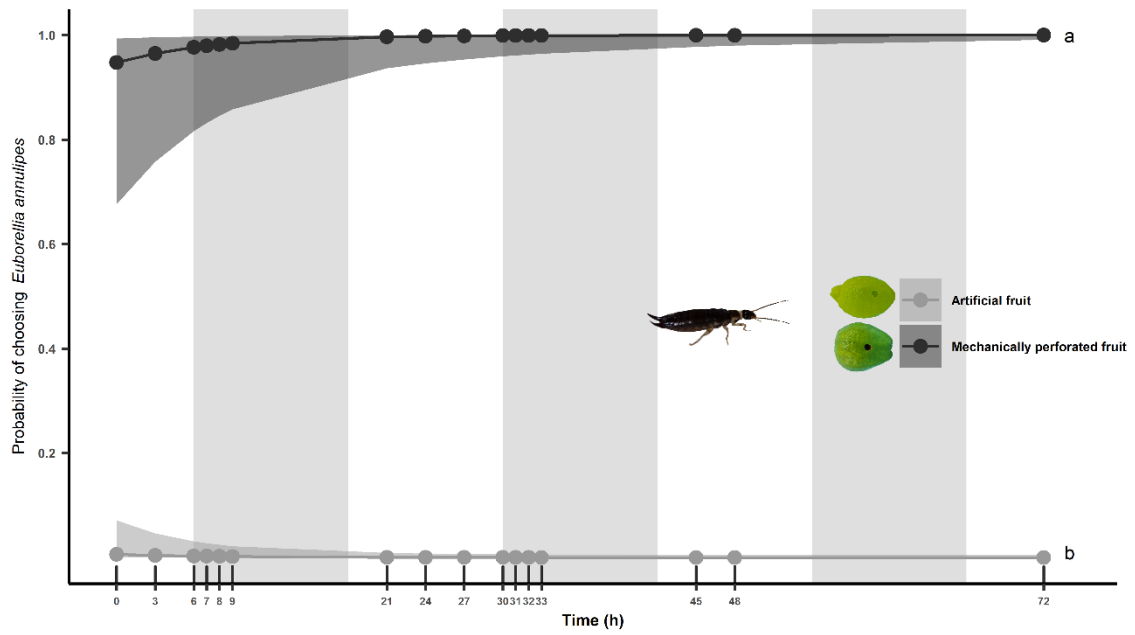


Figure 2. Preference of *Euborellia annulipes* females between mechanically perforated *Psidium guajava* fruits and artificial fruits. Dark and light bars comprise the assessments in scotophase and photophase, respectively. Equal letters indicate no significant difference by Tukey's test ( $p = 0.05$ ).

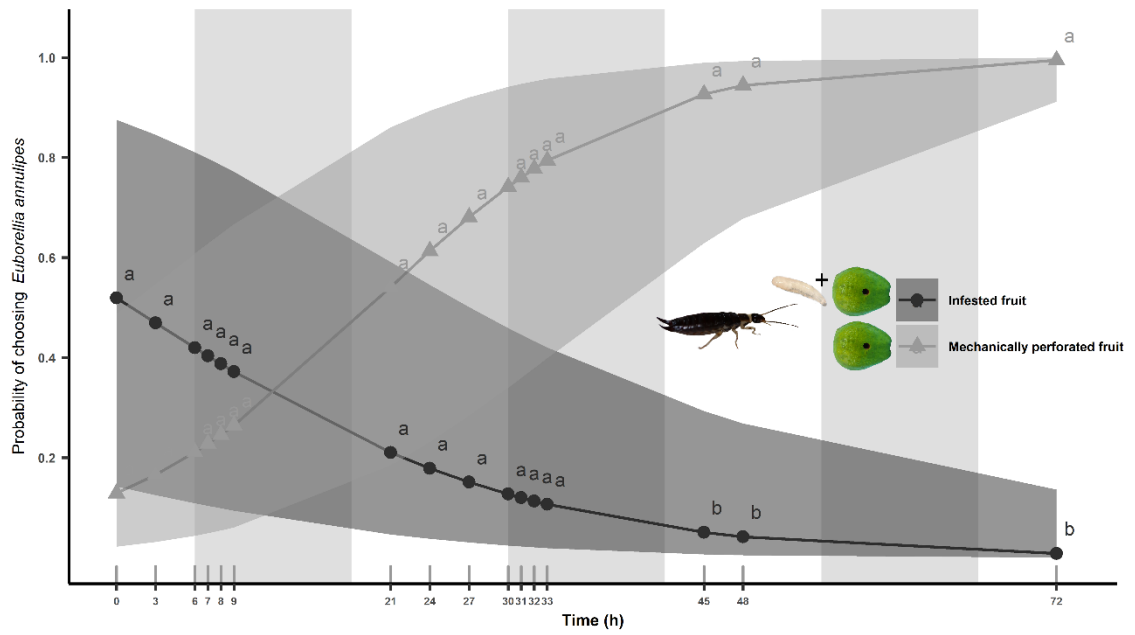


Figure 3. Preference of *Euborellia annulipes* females between mechanically perforated *Psidium guajava* fruits and fruits infested with *Ceratitidis capitata* larvae. Dark and light bars comprise the assessments in scotophase and photophase, respectively. Equal letters indicate no significant difference by Tukey's test ( $p = 0.05$ ).

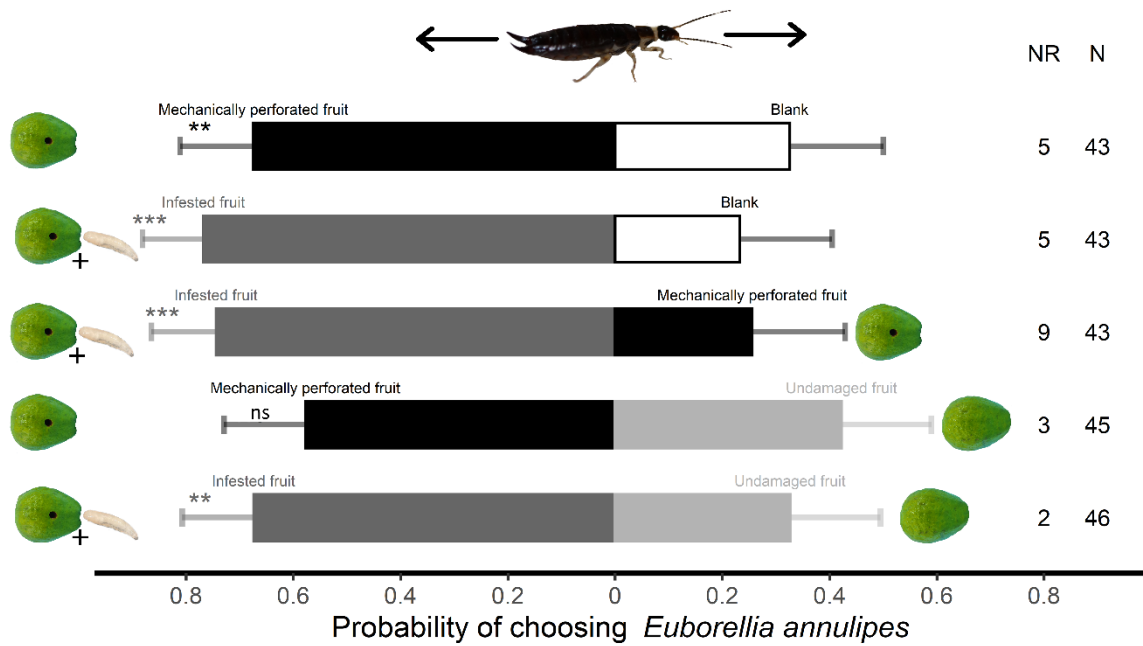


Figure 4. Probability of *Euborellia annulipes* females choosing between mechanically perforated *Psidium guajava* fruits infested with *Ceratitidis capitata* larvae and intact fruits. Bars represent the overall percentages of earwigs that chose each odor source. \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.005$ ; ns: no significant difference (by Wald's Chi-square test); N: number of responsive predators and NR: non-responses.



## Tables

Table 1. Combinations of treatments offered to *Euborellia annulipes* females and the respective hypotheses tested.

Test	Hypothesis
<b>MPF vs. blank</b>	Volatiles released by mechanically perforated fruits are attractive to female earwigs, which seek the fallen fruit for shelter.
<b>IF vs. blank</b>	Volatiles released by fruits infested by fruit-fly larvae are attractive to female earwigs, which seek shelter and a food source.
<b>IF vs. MPF</b>	Volatiles released by fruits infested by fruit-fly larvae are preferred over volatiles from mechanically perforated fruits by female earwigs, which seek shelter and a food source.
<b>MPF vs. UF</b>	Volatiles released by mechanically perforated fruits are more attractive than unperforated fruits to earwig females, which look for fruits with openings to shelter inside.
<b>IF vs. UF</b>	Volatiles released by fruit infested by fruit-fly larvae are more attractive than unperforated fruit to female earwigs seeking shelter and a food source.

MPF: Mechanically perforated fruit; IF: Infested fruit; UF: Undamaged fruit.

**Supplementary material**

Figure S1. Gelatinous fruit pulp as a result of larvae feeding during the trial.



Figure S2. Earwigs filled the holes with mechanically perforated pulp creating an “extra protection” against potential invaders.



Figure S3. Fruits mechanically perforated with this “seal” and presence a mass of earwig eggs.

**ARTIGO 3 – Predation potential of the earwig *Euborellia annulipes* on fruit fly larvae and trophic interactions with the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata***

(Manuscript published in the Journal of Applied Entomology on November 2, 2022)

*Earwig* × fruit fly × parasitoid: interactions

Rosamara S. Coelho<sup>1</sup>; Marvin Pec<sup>2</sup>; Ana L. Rodrigues Silva<sup>1</sup>; Maria F. G. V. Peñaflores<sup>1</sup>; Rosângela C. Marucci<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

<sup>2</sup>Department of Entomology and Acarology, Luiz de Queiroz College of Agriculture (ESALQ/USP), University of São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brazil

\*Correspondence

Rosângela C. Marucci, Biological Control Laboratory, Entomology Department, Federal University of Lavras, PO Box 3037, 37200-900, Lavras, MG, Brazil.

Email: rosangelac.marucci@ufla.br

Acknowledgments

We thank all people that work on Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA) in Brazil especially to the Biological Control laboratory. We are also thankful to Biological Scientist Elena Rhodes of Entomology and Nematology Dept. University of Florida for review of English wording of the manuscript. This research is part of a PhD thesis of Rosamara Souza Coelho and was supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grant Number: Process CNPq- 141130/2018-0.

## 1 Abstract

2 The earwig *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae), a generalist predator,  
3 has been observed in fruits infested with fruit fly larvae, which are frequently parasitized by  
4 parasitoid wasps. Neither the capacity of earwigs to predate on fruit flies nor intraguild  
5 interactions between earwigs and fruit fly parasitoids have been investigated. Here, we studied  
6 in laboratory conditions the predation on the fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera:  
7 Tephritidae) by the earwig *E. annulipes*, and whether parasitism of fruit fly larvae by the  
8 parasitoid wasp *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae)  
9 influences predation by the earwig. We evaluated the predation capacity, functional response  
10 and prey preference of *E. annulipes* for parasitized and non- parasitized fruit fly larvae in choice  
11 and no-choice tests. We found that earwigs prey on second- and third- instar larvae and pupae  
12 of *C. capitata* and consumed larger numbers of second- instar larvae, followed by third- instar  
13 larvae and pupae. Females prey on larger numbers of fruit flies than did males, regardless of  
14 the prey developmental stage, but both sexes exhibited a type II functional response.  
15 Interestingly, males killed but did not consume fruit fly larvae more than did females. In no-  
16 choice tests, earwig females consumed equal numbers of parasitized and non- parasitized fruit  
17 fly larvae. However, in choice tests, the females avoided feeding on parasitized larvae.  
18 Subsequent tests with hexane-washed parasitized and non-parasitized larvae showed that  
19 putative chemical markings left on fruit flies by parasitoids did not drive the earwig preference  
20 towards non- parasitized larvae. These findings suggest that *E. annulipes* is a potential  
21 biological control agent for *C. capitata*, and that, because the earwig avoids consuming larvae  
22 parasitized by *D. longicaudata*, a combination of the two natural enemies could have an additive  
23 effect on pest mortality.

24  
25 **Key words:** biological control, functional response, intraguild predation, predatory capacity

## 26 Introduction

27           The increasing restrictions on chemical control of insect pests in fruit cultivation have  
28 stimulated the development and adoption of alternative methods to suppress fruit fly  
29 populations (Paranhos et al., 2019). One species in particular, the Mediterranean fruit fly  
30 *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), is considered one of the most invasive  
31 pests. Inundative releases of the fruit fly parasitoid wasp *Diachasmimorpha longicaudata*  
32 (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) have proven to be effective for the management of *C.*  
33 *capitata* populations (Cancino et al., 2019; Sánchez et al., 2016). This larval-pupal parasitoid  
34 was introduced into fruit-producing areas of Brazil and the United States in the last century to  
35 control fruit flies, including *C. capitata* (Walder et al., 1995). Today, this parasitoid wasp is  
36 one of the main biocontrol agents of fruit flies worldwide, because it is feasible to mass-rear,  
37 adaptable to a wide range of conditions, and can forage for fruit fly-infested fruits at both the  
38 canopy and ground level (Garcia & Ricalde, 2013; García-Medel et al., 2007; Harbi et al.,  
39 2018). Furthermore, hosts parasitized by *D. longicaudata* are avoided by conspecific (Montoya  
40 et al., 2003) and non-conspecific parasitoids (Cancino et al., 2012), preferring to deposit eggs  
41 in non-parasitized hosts. Both these studies suggested that internal conditions of *D.*  
42 *longicaudata*-parasitized hosts detected during insertion of the ovipositor mediate this  
43 preference by parasitoids. However, we are aware of no report on the ability of generalist  
44 predators that lack an ovipositor as a sensory organ to detect *D. longicaudata*-parasitized fruit  
45 flies.

46           The efficiency of parasitoids as biological control agents depends heavily on their ability  
47 to locate suitable hosts, the fruit plant and/or the fruit fly species (Ayelo et al., 2017; Cai et al.,  
48 2020). In larger fruits, for example, tephritid larvae can escape from parasitism by moving  
49 deeper into the fruit where they cannot be reached by the parasitoid's ovipositor (Montoya et  
50 al., 2016). The limitations of a parasitoid in regulating fruit fly populations are also related to  
51 its lower intrinsic growth rate ( $r$ ) compared to that of the host (Vargas et al., 2002). Furthermore,  
52 larvae that eventually escape parasitism can still induce significant economic losses, which  
53 highlights the impracticality of regulating populations of fruit flies with single control strategies  
54 (Paranhos et al., 2019).

55           Fruit fly-infested tree fruits drop from the trees untimely, earlier than ripe uninfested  
56 fruits (Moreira et al., 2022). The last-instar larvae leave the fruit and pupate in the soil, where  
57 they may encounter soil-dwelling natural enemies (Aluja et al., 2005). In field observations, we  
58 found nymphs and adults of the ring-legged earwig *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera:

59 Anisolabididae) inside fallen fruit fly-infested fruits of guava (*Psidium guajava* L.) in half of  
60 the samples (117 of 222 fruits examined at random), and found the females of *E. annulipes*  
61 caring for their egg mass inside the fruit that hosted the fruit flies, suggesting that the infested  
62 fruits can provide not only food, but also protection and shelter. Furthermore, fruit fly larvae  
63 were noticeably less abundant in guava fruits with earwigs inside than in fruits without them,  
64 suggesting that *E. annulipes* prey on fruit fly larvae. This earwig has been reported to prey on  
65 larvae of other fruit fly species, such as *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae)  
66 (Clancy et al., 1951) and *Anastrepha suspensa* (Loew) (Diptera: Tephritidae) (Hennessey,  
67 1997), under fallen fruits. Earwigs require a dark, moist substrate for shelter (Klostermeyer,  
68 1942), and fruit fly-infested fruits can provide both shelter and food, enabling the maintenance  
69 of earwig populations in the field.

70 *Euborellia annulipes* is the most cosmopolitan species of the order Dermaptera  
71 (Kocarek et al., 2015). It is a highly voracious nocturnal predator that consumes prey of several  
72 insect orders, such as Diptera (Byttebier & Fischer, 2019; Tangkawanit et al., 2021), Hemiptera  
73 (Oliveira, Oliveria, et al., 2019), Lepidoptera (Nunes, Dantas, et al., 2019; Silva et al., 2009)  
74 and Coleoptera (Lemos et al., 2003), which makes it a promising natural enemy for biological  
75 control programs. Although considerable effort has been devoted toward releases of parasitoids  
76 that attack individual species, generalist predators are considered effective due to their diversity  
77 of prey species and their persistence in the system (Symondson et al., 2002). Moreover, earwigs  
78 are long-lived insects with a predatory habit throughout their life cycle and can be reared on an  
79 artificial diet (Lemos et al., 2003), which enables mass rearing for release into the field.

80 Earwigs usually enter fallen fruits through openings, where they may find non-  
81 parasitized and parasitized fruit fly larvae in the same fruit. Previous studies have shown that  
82 the ability of *E. annulipes* to discriminate between non-parasitized and parasitized prey varies  
83 depending on the sex of the earwig and on the particular host-parasitoid system (Moral,  
84 Demetrio, et al., 2017; Nunes, Ramalho et al., 2019). For application in biological control, it is  
85 important to understand trophic interactions between predators and parasitoids where they  
86 coexist and target the same prey/host species (Frago, 2016; Moral, Demetrio, et al., 2017). If  
87 parasitized fruit fly larvae are recognized and avoided by predatory earwigs, the actions of  
88 parasitoids and earwigs may complement each other to suppress fruit fly populations (Dainese  
89 et al., 2017).

90 Here, we investigated the predation potential of the earwig *E. annulipes* on the fruit fly  
91 *C. capitata*. Both species have been frequently found inside fallen guava fruits in non-  
92 commercial orchards in Minas Gerais state, Brazil, as mentioned. Given that predation by



93 earwigs is likely influenced by their sex and by the prey's developmental stage and abundance,  
94 we investigated the following questions: (1) Does *E. annulipes* prey on fruit fly larvae and  
95 pupae? (2) Does the rate of consumption of *E. annulipes* vary as a function of its sex and prey  
96 density? In view of the importance of biological control programs for tephritids using parasitoid  
97 wasps, in particular *D. longicaudata*, we also examined the question: (3) Can *E. annulipes*  
98 females recognize parasitized fruit fly larvae? And, because external chemical cues of the prey  
99 seem to determine the preference of *E. annulipes* (Moral, Demetrio, et al., 2017), we addressed:  
100 (4) Do chemical cues of the parasitized larval cuticle guide the choice of *E. annulipes* between  
101 parasitized and non-parasitized larvae? To answer these questions, we evaluated the predation  
102 capacity, functional response, and prey preference of *E. annulipes* for parasitized and non-  
103 parasitized fruit fly larvae in choice and no-choice tests. We hypothesized that *E. annulipes*  
104 prey on fruit fly larvae and pupae and that earwig females are more voracious than males, as  
105 shown for this earwig preying on lepidopteran larvae (Moral, Demetrio, et al., 2017; Souza et  
106 al., 2022). Moreover, we expected that the earwig would avoid consuming parasitized fruit fly  
107 larvae, based on chemical cues of the host cuticle. Our study is an initial step to assess the  
108 potential of *E. annulipes* as a biological control agent of fruit flies.

109

## 110 **Materials and Methods**

### 111 **Insects**

112 The founding population of *E. annulipes* was obtained from a sample of 96 guava fruits  
113 collected at random on the soil during February and March 2019. The population was composed  
114 predominantly of females (about 49 females and 21 males), with an offspring sex ratio of 3:1.  
115 The rearing colony of *E. annulipes* was initiated with  $\approx 70$  individuals collected in fallen fruits  
116 infested with fruit fly larvae from Myrtaceae trees in a non-commercial fruit orchard on the  
117 Experimental Campus of Lavras Federal University in the municipality of Lavras, Minas  
118 Gerais, Brazil (44°58'56" W and 21°13'50" S; elevation 908 m). The rearing procedures were  
119 adapted from Pacheco et al. (2021) and adults were occasionally supplemented with the aphid  
120 *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) from a rearing colony kept in the  
121 laboratory. Rearing of *C. capitata* and the parasitoid *D. longicaudata* followed the methods  
122 described by Fernandes et al. (2019) and Alvarenga et al. (2005), respectively.

123

124

125

126 **Does *E. annulipes* prey on fruit fly larvae and pupae?**

127 To address this question, we performed an experiment in the laboratory to assess the  
128 consumption of the earwig *E. annulipes* for different fruit fly developmental stages. Two-day-  
129 old adult female and male earwigs were starved for 24 h and then each was placed in a separate  
130 container (500-mL capacity) with a moistened piece of cotton. The containers were sealed with  
131 fine-mesh fabric (organza) and kept under controlled conditions ( $25 \pm 2$  °C,  $70 \pm 10\%$  RH, and  
132 12 h light). A single earwig was provided with: (1) 20 second-instar larvae, (2) 15 third-instar  
133 larvae, or (3) 10 *C. capitata* pupae (72 h old), in a paper cup (3-cm diameter) placed inside the  
134 container. The consumption of first-instar larvae was not tested because they are not targeted  
135 in fallen fruit fly-infested fruits, which usually contain older larvae (second and third instars),  
136 and younger larvae are difficult to handle with a brush or tweezer without damaging them. The  
137 number of fruit flies in each treatment was established in preliminary tests, which established  
138 that these numbers were more than enough for daily consumption by an earwig. All treatments  
139 with fruit fly larvae contained a small amount of artificial diet (~0.01 g) (Fernandes et al., 2019)  
140 to keep them alive for 24 h. The earwigs did not feed on the fruit fly artificial diet and consumed  
141 only fruit fly larvae. The number of fruit fly prey consumed by earwigs was recorded every 24  
142 h for 10 days. The paper cups with second-instar larvae, third-instar larvae, or pupae were  
143 replaced daily by new sets containing the same numbers of prey as above. The experiment was  
144 repeated 20 times.

145

146 **Does the rate of consumption of *E. annulipes* vary as a function of its sex and prey**  
147 **density?**

148 In a similar experiment and setup as described above, we assessed the functional  
149 response of earwig females and males by offering different densities of fruit fly larvae, which  
150 was the prey developmental stage most consumed by earwigs. We chose to test the third-instar  
151 larval stage, as *E. annulipes* is more likely to find older larvae in fallen fruits. A single, 1-to-3-  
152 day-old *E. annulipes* female or male, starved for 24 h, was provided with 7, 12, 17, 22, or 27  
153 third-instar larvae of *C. capitata*. Unlike the previous assay, this experiment lasted for 24h,  
154 when the number of larvae partially or fully consumed by the earwigs was estimated. The  
155 earwigs killed some larvae without consuming them; these dead but unconsumed prey  
156 individuals were counted separately. The experiment was repeated 20 times.

157

158

159 **Can *E. annulipes* recognize parasitized fruit fly larvae?**

160 To address this question, no-choice and two-choice tests were performed to assess the  
161 earwig's preference between third-instar fruit fly larvae parasitized or not by *D. longicaudata*.  
162 The setup was similar to the consumption test described above. In the no-choice assay, a single  
163 2-day-old *E. annulipes* female, starved for 24 h, was offered 16 *C. capitata* larvae, parasitized  
164 or not by *D. longicaudata*, for food. In the choice assay, a starved earwig female was offered 8  
165 non-parasitized *C. capitata* larvae and 8 *C. capitata* larvae parasitized by *D. longicaudata*. To  
166 obtain parasitized larvae, 100 third-instar *C. capitata* larvae were exposed to 50-70 mated *D.*  
167 *longicaudata* females for 1h. Those larvae with 1-3 parasitism scars were selected (Montoya et  
168 al., 2003) to be used immediately in the assay. The number of fruit fly prey consumed 24h after  
169 being offered to the predator was recorded. The experiment was replicated 25 times.

170

171 **Do chemical cues of the parasitized larva cuticle guide the choice of *E. annulipes* between**  
172 **parasitized and non-parasitized larvae?**

173 In a similar experiment to the consumption test described above, the preference of *E.*  
174 *annulipes* females for solvent-washed parasitized and non-parasitized larvae was assessed in  
175 two-choice assays. Two-day-old earwig females, starved for 24 h, were given the choice to feed  
176 on: (1) non-parasitized *C. capitata* larvae vs. solvent-washed parasitized *C. capitata* larvae; and  
177 (2) solvent-washed non-parasitized *C. capitata* larvae vs. solvent-washed parasitized *C.*  
178 *capitata* larvae. *C. capitata* larvae parasitized by *D. longicaudata* were obtained as above. To  
179 remove putative parasitoid chemical cues from the host larvae, parasitized *C. capitata* larvae  
180 were first washed with distilled water, then immersed in HPLC-grade n-hexane (Sigma  
181 Aldrich), which extracts non-polar compounds of low and medium molecular weight from the  
182 insect epicuticle (Belenioti et al., 2022; Carlson & Yocom, 1986), and gently shaken for 30s.  
183 The time period for the extraction was determined based on larval survival and the earwigs'  
184 acceptance of hexane-washed larvae in preliminary tests. After 30s, the larvae were washed  
185 again in distilled water and used in the tests. For both combinations, only *C. capitata* third-  
186 instar larvae were used. The experiment lasted 24 h, when the number of fruit fly larvae  
187 consumed by the earwigs was recorded. Each assay was repeated 31 times.

188

189 **Analyses**

190 Statistical analyses were performed using R software (R Core Team, 2019) and the  
191 packages "lme4" (Bates et al., 2015), "emmeans" (Searle et al., 1980), "frair" (Pritchard et al.,

192 2017), “DHARMA” (Hartig, 2020), and “hnp” (Moral, Hinde, et al., 2017). The graphs were  
 193 created using the “ggplot2” package (Wickham, 2016).

194 A two-factorial experimental design was used to evaluate the influence of predator sex  
 195 and prey development stage in the predation ability tests. The number of fruit fly larvae or  
 196 pupae consumed by *E. annulipes* was analyzed using a mixed generalized linear model (GLM)  
 197 with a negative binomial distribution, using the 'glmer.nb' function, with predator sex and prey  
 198 development stage as fixed factors and time as a random variable. Comparisons were made  
 199 using the “emmeans” function, and Bonferroni corrected P-values. To determine the quality of  
 200 the estimated model, residual quantiles were generated from 1000 simulations of the models  
 201 with the “simulateResiduals” function.

202 The functional response was obtained from the sum of fully and partially consumed  
 203 prey, as well as dead and unconsumed prey. The type of functional response was determined  
 204 using the `frair_fit` function, which uses the maximum-likelihood estimate to obtain estimates of  
 205 non-linear models. For the type II response model, the Rogers random predator equation was  
 206 used (Rogers, 1972), given by:

$$207 \quad N_e = N_o \times (1 - \exp[-a(h \times N_e - T)])$$

208 Where  $N_e$  is the number of prey consumed;  $N_o$  is the number of prey offered;  $a$  is the  
 209 attack rate;  $h$  is the search and handling time; and  $T$  is the exposure time of the predator to the  
 210 prey (24 h). For the estimation of attack rate ( $a$ ) and search and handling time ( $h$ ) nonlinear  
 211 models were used. Estimates were obtained and optimized using maximum likelihood  
 212 estimation (MLE) using the `frair_fit` function. Confidence intervals (95% CIs), determined for  
 213 the differences between attack rate ( $a$ ) and search and handling time ( $h$ ) for males and females  
 214 of *E. annulipes*, were provided by nonparametric bootstrapping using “`frair_boot`”. Parameters  
 215 with non-overlapping CIs were considered significantly different. The maximum number of  
 216 attacked/predated *C. capitata* larvae was determined by the ratio of the total search time  
 217 available to the handling time ( $T/h$ ). The predation behavior (prey fully or partially consumed,  
 218 and dead and unconsumed) was analyzed by GLM with quasi-binomial distribution.

219 To determine the preference of *E. annulipes*, the numbers of parasitized and non-  
 220 parasitized larvae were analyzed by a GLM with a Poisson distribution. The quality of the fit  
 221 was determined by a semi-normal plot with a simulation envelope in the “hnp” function.

222  
 223

224 **Results**

225 **Does *E. annulipes* prey on fruit fly larvae and pupae?**

226 Predation varied according to the predator sex and prey development stage (GLM;  $\chi^2 =$   
 227 14.243, *d. f.* = 2,  $P < 0.001$ ). Earwig females preyed on more fruit flies than did earwig males,  
 228 regardless of the prey developmental stage. Earwigs, regardless of sex, consumed larger  
 229 numbers of second-instar fruit fly larvae, followed by third-instar larvae and pupae (Figure 1).

230

231 **Does the rate of consumption of *E. annulipes* vary as a function of its sex and prey**  
 232 **density?**

233 The number of *C. capitata* larvae consumed by *E. annulipes* was higher for females and  
 234 increased with prey density (Table 1) until reaching a plateau at densities of 17 and 22 larvae  
 235 for earwig females and males, respectively (Figure 2). The negative value of the linear  
 236 coefficient of the logistic regression suggests a type II functional response for both sexes of the  
 237 predator (Rogers, 1972) (Figure 2; Table 2). This result means that as the prey density increased,  
 238 the proportion of time spent handling them also increased. Therefore, handling time, and not  
 239 prey availability, determines the number of *C. capitata* larvae that earwigs can consume.  
 240 Females and males exhibited similar handling times, attack rates, and maximum attack rates  
 241 (Figure 3). While *E. annulipes* females attacked up to approximately 14 fruit fly larvae, males  
 242 attacked a maximum of only 9 larvae within 24 h (Figure 3c). Interestingly, a mean of 17.36%  
 243 of fruit fly larvae were killed and not consumed by earwig males, while this proportion was  
 244 lower (9.41%) for females (GLM;  $\chi^2 = 15.739$ , *d. f.* = 1,  $P < 0.001$ ). The number of killed  
 245 but not consumed by *E. annulipes* males increased by 7% for each increased prey (GLM;  $t =$   
 246 5.25,  $P < 0.001$ ). The proportions of partially consumed prey were similar for male and  
 247 female earwigs (GLM;  $\chi^2 = 1.2074$ , *d. f.* = 1,  $P = 0.271839$ ).

248

249 **Can *E. annulipes* recognize parasitized fruit fly larvae?**

250 In the no-choice tests, the earwig females consumed similar numbers of parasitized and  
 251 non-parasitized fruit fly larvae (GLM;  $\chi^2 = 0.21696$ , *d. f.* = 1,  $P = 0.6414$ ; Figure 4a).  
 252 However, when given the choice between parasitized and non-parasitized fruit fly larvae, *E.*  
 253 *annulipes* females preferred to consume non-parasitized *C. capitata* larvae over larvae  
 254 parasitized by *D. longicaudata* (GLM;  $\chi^2 = 6.925$ , *d. f.* = 1,  $P = 0.0085$ ; Figure 4B).

255

256

## 257 **Chemical recognition of *D. longicaudata* by *E. annulipes***

258 In two-choice tests, earwig females did not discriminate between solvent-washed  
259 parasitized and non-parasitized fruit fly larvae and consumed similar numbers of larvae from  
260 the two treatments (solvent-washed parasitized larvae:  $5.4 \pm 0.42$ ; non-parasitized larvae:  $6.1 \pm$   
261  $0.44$ ) (GLM;  $\chi^2 = 1.9162$ , *d. f.* = 1, *P* = 0.1663). When both parasitized and non-parasitized  
262 larvae were washed with solvent, the earwigs also consumed similar numbers of larvae from  
263 the two treatments (solvent-washed parasitized larvae:  $4.8 \pm 0.39$ ; solvent-washed non-  
264 parasitized larvae:  $5.6 \pm 0.43$ ) (GLM;  $\chi^2 = 2.6458$ , *d. f.* = 1, *P* = 0.1038).

## 265 **Discussion**

266 Control of *C. capitata* populations is difficult, particularly because the species is  
267 polyphagous and has a multivoltine life cycle, which requires the use of multiple tactics,  
268 including biocontrol agents. Although earwigs are voracious predators that interact with  
269 immature fruit flies in fallen fruits, little attention has been given to the predatory role of  
270 Dermaptera in controlling fruit flies (Clancy et al., 1951; Hennessey, 1997; Oliveira, Alves, et  
271 al., 2019). Our study based on numerical and functional response, and intraguild predation  
272 suggests that *E. annulipes* has potential as a biological control agent for fruit fly regulation.

273 Similarly to other species of earwigs (Oliveira, Alves, et al., 2019; Tangkawanit et al.,  
274 2021), our study showed that *E. annulipes* preyed more on larvae than on pupae. Other studies  
275 have reported that *E. annulipes* prefers to consume larvae over pupae of a lepidopteran prey  
276 (Nunes et al., 2018; Nunes, Dantas, et al., 2019; Nunes, Paulo, et al., 2020). The higher  
277 predation capacity of earwigs for insect larvae is likely related to the hardness of the tegument,  
278 which is harder in the pupal than in the larval stage, acting as protection against natural enemies  
279 (Kalinowski & DeLong, 2015). The *C. capitata* puparium has a rigid sclerotized cuticle that  
280 hinders the predator and requires more energy to rupture it. Even so, *E. annulipes* adults were  
281 able to rupture the protective envelope and access the softer parts. In addition to the sclerotized  
282 cuticle, the immobility of the fruit fly pupae may make them less detectable and even reduce  
283 encounter rates with earwigs, as occurs for other generalist predators that are less prone to attack  
284 immobile prey (Eubanks & Denno, 2000; Mundy et al., 2000).

285 Among the different prey immature stages tested in our study, second-instar larvae were  
286 the stage most consumed by males and females of *E. annulipes*. The earwigs consumed about  
287 1.5-2 times as many second-instar as third-instar larvae. However, since a second-instar larva  
288 is about one-fifth the size of a third-instar larva (data not shown), earwigs did not fully

289 compensate for prey mass by consuming more second-instar larvae. This might be due to the  
290 greater time and energy needed to capture more second-instar larvae, or to the superior  
291 nutritional quality, in terms of available amino acids and carbohydrates, of second- over third-  
292 instar fruit fly larvae (Nestel et al., 2005; Rabossi et al., 1991).

293 As predicted, *E. annulipes* females were more voracious than males, as they consumed  
294 larger numbers of fruit fly larvae or pupae, in agreement with the aggressive behavior of females  
295 previously reported for earwigs (Moral, Demetrio, et al., 2017; Nunes et al., 2018; Oliveira,  
296 Alves, et al., 2019). Earwig females likely require more food because they are larger than males  
297 and require more energy to produce eggs and provide maternal care (Rankin et al., 1995).  
298 Interestingly, we observed that both earwig females and males killed some fruit fly larvae  
299 without consuming them, as also reported for the earwig *Anisolabella marginalis* (Dohrn)  
300 (Dermaptera: Anisolabididae) (Jiang & Kajimura, 2020). We found a higher proportion of dead  
301 prey uneaten by *E. annulipes* males than by females, but no difference between the sexes in the  
302 proportion of partially consumed prey. These observations indicate that *E. annulipes* males can  
303 reduce the number of fruit fly larvae without entirely consuming them.

304 We studied the functional predatory response of *E. annulipes* females and males to  
305 increasing densities of *C. capitata* larvae, which provided a general representation of the trophic  
306 interaction. The earwigs slowed their consumption rate with increasing prey density, and  
307 considering the functional response as the rate of ingestion as a function of prey abundance, our  
308 data fit the type II response (Rogers, 1972). According to van Lenteren (2012), predators that  
309 exhibit this type of functional response are good candidates to employ in inundative biological  
310 control programs to directly reduce the target pests. The type II response has been reported for  
311 *E. annulipes* that prey on lepidopteran pests. However, some authors have found that the  
312 functional response can change to type III depending on the temperature or whether the prey is  
313 infected by entomopathogenic fungi (Nunes, Dantas, et al., 2019; Nunes, Ramalho, et al., 2019;  
314 Nunes, Truzzi, et al., 2019). Attack rate ( $a$ ) and handling time ( $h$ ), which determine the slope  
315 and height of a functional response curve, respectively (Holling, 1959), did not differ  
316 significantly between earwig males and females. However, the sexes can still be combined and  
317 produce differences in consumption as a function of prey density (Pritchard et al., 2017), as  
318 observed for *E. annulipes* in the present study.

319 Given the notoriety of biological control programs for tephritid fruit flies using  
320 parasitoids, we evaluated the possibility of competition for nutritional resources between  
321 earwigs and parasitoids (intraguild predation). Earwig females discriminated between  
322 parasitized and non-parasitized fruit fly larvae in choice assays, preferring those that were not

323 parasitized by *D. longicaudata*. However, when *E. annulipes* did not have a choice, the females  
324 did not avoid parasitized fruit fly larvae. The preference of *E. annulipes* for non-parasitized  
325 over parasitized fruit fly larvae may reflect the apparently lower prey quality of parasitized  
326 larvae, given that they have been mechanically damaged by parasitoids (Montoya et al., 2011).  
327 Contrary to our results, other studies that evaluated the preferences of *E. annulipes* in similar  
328 experimental setups found that females were less selective than males and did not avoid eating  
329 lepidopteran prey parasitized by another hymenopteran parasitoid (Moral, Demetrio, et al.,  
330 2017; Nunes, Ramalho, et al., 2019). Therefore, the intraguild interaction between *E. annulipes*  
331 and parasitoids appears to vary depending on the prey and/or parasitoid species.

332 We hypothesized that the predator might be able to recognize external chemical cues on  
333 the parasitized host cuticle. Previous studies demonstrated that parasitoids do not reject a *D.*  
334 *longicaudata*-parasitized host before examining it internally with the ovipositor, suggesting that  
335 internal conditions or marker pheromones deposited inside the host are responsible for not  
336 parasitizing it (Cancino et al., 2012; Devescovi et al., 2020; Montoya et al., 2003). Contrary to  
337 the pattern reported in the literature that oviposition by larval parasitoids changes only internal  
338 host conditions (Nufio & Papaj, 2001), there is growing evidence that larval parasitism can also  
339 induce chemical changes in the host epicuticle (Kryukov et al., 2022; Lebreton et al., 2010). In  
340 addition, generalist predators seem to be capable of recognizing parasitized prey on the basis  
341 of external cues (Labbe et al., 2006; Moral, Demetrio, et al., 2017; Naranjo, 2007). In our study,  
342 we found that washing the fruit fly larval cuticle with hexane removed important signals for  
343 earwigs in discriminating *D. longicaudata*-parasitized from non-parasitized larvae. Hexane  
344 washing is a well-known method for extracting apolar compounds of low and medium  
345 molecular weight from the insect cuticle, such as cuticular hydrocarbons (CHCs). The cuticle  
346 of *C. capitata* larvae contains n-alkanes and 2-monomethyl alkanes as major compounds  
347 (Sutton & Steck, 1994); however, their extraction requires a longer time in hexane than that  
348 used in our study (Belenioti et al., 2022). We standardized the time interval for hexane washing  
349 (30 s) based on preliminary assays, in which hexane washing did not cause larval mortality or  
350 affect prey acceptance by the earwigs, as significant removal of CHCs can affect prey  
351 recognition (Joel et al., 2022; Xu et al., 2018). Therefore, our method likely removed chemical  
352 cues from the epicuticle of parasitized prey, such as those associated with mechanical damage  
353 by parasitoids or cues left during host handling by the parasitoid. Future studies analyzing the  
354 chemical profiles of extracts from parasitized and non-parasitized larval cuticles may elucidate  
355 the nature of the cues that play a role in earwig preference.



356           From the applied perspective, our results indicated that the earwig *E. annulipes* is a  
357 potential biological control agent for the Mediterranean fruit fly, and demonstrated the  
358 compatibility of this predator with the fruit fly parasitoid *D. longicaudata*. Although our study  
359 was performed under controlled conditions, it is an important initial step in understanding the  
360 interactions between the earwig and the insect community associated with fruit fly hosts. Given  
361 the importance of *C. capitata* as a pest, we expect that our study will support future research on  
362 the use of *E. annulipes* as a biological control agent in orchards; and investigations of the  
363 stability of predator-prey dynamics under more complex scenarios, where multiple important  
364 factors play a role in the predator's capacity, such as temperature (Daugaard et al., 2019; Nunes,  
365 Truzi, et al., 2020), prey availability, and previous predator experience (Schmidt et al., 2012).  
366

367 **Conflict of Interest**

368 All authors have no conflict of interest to declare.

369

370 **Author Contribution**

371 RSC, RCM and MFGVP conceived research. RSC and ALRS conducted the experiments. RSC,  
372 RCM and MFGVP contributed material. MMPH analyzed data and conducted statistical  
373 analyses. RSC, RCM and MFGVP wrote the manuscript. RSC and RCM secured funding. All  
374 co-authors critically reviewed the manuscript and approved the final version.

375

376 **Data Availability Statement**

377 The data that support the findings of this study are openly available at

378 <https://data.mendeley.com/datasets/2j69fzgcf2/1>

379

380 **References**

- 381 Aluja, M., Sivinski, J., Rull, J. & Hodgson, P. J. (2005). Behavior and Predation of Fruit Fly  
382 Larvae (*Anastrepha* spp.) (Diptera: Tephritidae) After Exiting Fruit in Four Types of  
383 Habitats in Tropical Veracruz, Mexico. *Environmental Entomology*, *34*, 1507–1516.  
384 DOI:10.1603/0046-225x-34.6.1507
- 385 Alvarenga, C. D., Brito, E. S., Lopes, E. N., Silva, M. A., Alves, D. A., Matrangolo, C. A. R.  
386 & Zucchi, R. A. (2005). Introdução e recuperação do parasitóide exótico  
387 *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) em pomares  
388 comerciais de goiaba no norte de Minas Gerais. *Neotropical Entomology*, *34*, 133-136.  
389 DOI: 10.1590/S1519-566X2005000100020
- 390 Ayelo, P. M., Sinzogan, A. A., Bokonon-Ganta, A. H. & Karlsson, M. F. (2017). Host species  
391 and vegetable fruit suitability and preference by the parasitoid wasp *Fopius arisanus*.  
392 *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *163*, 70-81. DOI: 10.1111/eea.12561
- 393 Belenioti, M., Roiditakis, E., Sofiadis, M., Fouskaki, M., Apostolaki, M. & Chaniotakis, N.  
394 (2022). Effect of solvent extraction time on the hydrocarbon profile of *Drosophila suzukii*  
395 (Diptera: Drosophilidae) and behavioural effects of 9-pentacosene and dodecane.  
396 *European Journal of Entomology*, *119*, 232-241. DOI: 10.14411/eje.2022.025
- 397 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M. & Walker, S. C. (2015). Fitting linear mixed-effects  
398 models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*, 1-48. DOI:  
399 10.48550/arXiv.1406.5823
- 400 Byttebier, B. & Fischer, S. (2019). Predation on Eggs of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae):  
401 Temporal dynamics and identification of potential predators during the winter season in a  
402 temperate region. *Journal of Medical Entomology*, *56*, 737-743. DOI: 10.1093/jme/tjy242
- 403 Cai, P., Song, Y., Huo, D., Lin, J., Zhang, H., Zhang, Z., Xiao, C., Huang, F. & Ji, Q. (2020).  
404 Chemical cues induced from fly-oviposition mediate the host-seeking behaviour of *Fopius*  
405 *arisanus* (Hymenoptera: Braconidae), an effective egg parasitoid of *Bactrocera dorsalis*  
406 (Diptera: Tephritidae), within a tritrophic context. *Insects*, *11*, 231. DOI:  
407 10.3390/insects11040231
- 408 Cancino, J., Liedo, P., Ruiz, L., López, G., Montoya, P., Barrera, J. F., Sivinsk, J. & Aluja, M.  
409 (2012). Discrimination by *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diapriidae) of hosts  
410 previously attacked by conspecifics or by the larval parasitoid *Diachasmimorpha*  
411 *longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *Biocontrol Science and Technology*, *22*, 899-  
412 914. DOI: 10.1080/09583157.2012.696088
- 413 Cancino, J., Ruiz, L., López, E., Aguilar, E., Galvez, C., Montoya, P. & Liedo, P. (2019).  
414 Suppression of *Ceratitidis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) populations in coffee in  
415 the Mexico–Guatemala border region through the augmentative releases of  
416 *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). *Biocontrol*  
417 *Science and Technology*, *29*, 822-826. DOI: 10.1080/09583157.2019.1608507
- 418 Carlson, D., A. & Yocom, S., R. (1986). Cuticular hydrocarbons from six species of tephritid  
419 fruit flies. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, *3*, 397-412. DOI:  
420 10.1002/arch.940030407
- 421 Clancy, D., Marucci, P. & Van Den Bosch, R. (1951). Notes on Natural Enemies of Tephritid

- 422 Flies. *Hawaiian Entomological Society*, 14, 229-235.
- 423 Dainese, M., Schneider, G., Krauss, J. & Steffan-Dewenter, I. (2017). Complementarity among  
424 natural enemies enhances pest suppression. *Scientific reports*, 7, 1-8. DOI:  
425 10.1038/s41598-017-08316-z
- 426 Daugaard, U., Petchey, O. L. & Pennekamp, F. (2019). Warming can destabilize predator–prey  
427 interactions by shifting the functional response from Type III to Type II. *Journal of Animal*  
428 *Ecology*, 88, 1575-1586. DOI: 10.1111/1365-2656.13053
- 429 Devescovi, F., Bachmann, G. E., Nussenbaum, A. L., Viscarret, M. M., Cladera, J. L. & Segura,  
430 D. F. (2020). Host discrimination in the fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha*  
431 *longicaudata*: Evidence from virgin female behaviour and egg distribution patterns.  
432 *Bulletin of Entomological Research*, 111, 229-237. DOI: 10.1017/S0007485320000589
- 433 Eubanks, M. D. & Denno, R. F. (2000). Health food versus fast food: the effects of prey quality  
434 and mobility on prey selection by a generalist predator and indirect interactions among  
435 prey species. *Ecological Entomology*, 25, 140-146. DOI: 10.1046/j.1365-  
436 2311.2000.00243.x
- 437 Fernandes, E., Araujo, E., Souza, I., Souza, M. & Nunes, G. (2019). Development and  
438 morphological characterization of the immature stages of *Tetrastichus giffardianus*  
439 Silvestri (Hymenoptera: Eulophidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 63, 262-267.  
440 DOI: 10.1016/j.rbe.2019.05.005
- 441 Frago, E. (2016). Interactions between parasitoids and higher order natural enemies: Intraguild  
442 predation and hyperparasitoids. *Current Opinion in Insect Science*, 14, 81-86. DOI:  
443 10.1016/j.cois.2016.02.005
- 444 Garcia, F. R. M. & Ricalde, M. P. (2013). Augmentative biological control using parasitoids  
445 for fruit fly management in Brazil. *Insects*, 4, 55-70. DOI: 10.3390/insects4010055
- 446 García-Medel, D., Sivinski, J., Díaz-Fleischer, F., Ramirez-Romero, R. & Aluja, M. (2007).  
447 Foraging behavior by six fruit fly parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) released as  
448 single-or multiple-species cohorts in field cages: Influence of fruit location and host  
449 density. *Biological Control*, 43, 12-22. DOI: 10.1016/J.BIOCONTROL.2007.06.008
- 450 Harbi, A., Beitia, F., Ferrara, F., Chermiti, B. & Sabater-Muñoz, B. (2018). Functional response  
451 of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) over *Ceratitidis capitata* (Wiedemann):  
452 Influence of temperature, fruit location and host density. *Crop Protection*, 109, 115-122.  
453 DOI: 10.1016/J.CROPRO.2018.03.010
- 454 Hartig, F. (2020). Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression  
455 Models [R package DHARMA version 0.3.3.0].
- 456 Hennessey, M. K. (1997). Predation on wandering larvae and pupae of caribbean fruit fly  
457 (Diptera: Tephritidae) in guava and carambola grove soils. *Journal of Agricultural and*  
458 *Urban Entomology*, 14, 129-138.
- 459 Holling, C.S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The*  
460 *Canadian Entomologist*, 91, 385-398. DOI: 10.4039/Ent91385-7
- 461 Jiang, Z. R. & Kajimura, H. (2020). Earwig preying on ambrosia beetle: Evaluating predatory  
462 process and prey preference. *Journal of Applied Entomology*, 144, 743-750. DOI:

- 463 10.1111/jen.12800
- 464 Joel, A. C., Schmitt, D., Baumgart, L. & Menzel, F. (2022). Insect cuticular hydrocarbon  
465 composition influences their interaction with spider capture threads. *Journal of*  
466 *Experimental Biology*, 225, jeb242514. DOI: 10.1242/jeb.242514
- 467 Kalinoski, R. M. & DeLong, J. P. (2015). Beyond body mass: how prey traits improve  
468 predictions of functional response parameters. *Oecologia*, 180, 543-550. DOI:  
469 10.1007/s00442-015-3487-z
- 470 Klostermeyer, E. C. (1942). The life history and habits of the ringlegged earwig, *Euborellia*  
471 *Annulipes* (Lucas) (Order Dermaptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 15,  
472 13-18.
- 473 Kocarek, P., Dvorak, L. & Kirstova, M. (2015). *Euborellia annulipes* (Dermaptera:  
474 Anisolabididae), a new alien earwig in Central European greenhouses: potential pest or  
475 beneficial inhabitant? *Applied Entomology and Zoology*, 50, 201-206. DOI:  
476 10.1007/s13355-015-0322-2
- 477 Kryukov, V. Y., Chernyak, E. I., Kryukova, N., Tyurin, M., Krivopalov, A., Yaroslavtseva, O.,  
478 Senderskiy, I., Polenogova, O., Zhirakovskaia, E., Glupov, V. V. & Morozov, S. V.  
479 (2022). Parasitoid venom alters the lipid composition and development of microorganisms  
480 on the wax moth cuticle. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 170, 852-868. DOI:  
481 10.1111/eea.13219
- 482 Labbe, R. M., Cloutier, C. & Brodeur, J. (2006). Prey selection by *Dicyphus hesperus* of  
483 infected or parasitized greenhouse whitefly. *Biocontrol Science and Technology*, 16, 485-  
484 494. DOI: 10.1080/09583150500532535
- 485 Lebreton, S., Christidès, J. P., Bagnères, A. G., Chevrier, C. & Darrouzet, E. (2010).  
486 Modifications of the chemical profile of hosts after parasitism allow parasitoid females to  
487 assess the time elapsed since the first attack. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 513-521.  
488 DOI: 10.1007/s10886-010-9781-7
- 489 Lemos, W. P., Ramalho, F. S. & Zanuncio, J. C. (2003). Age-dependent fecundity and life-  
490 fertility tables for *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) a cotton  
491 boll weevil predator in laboratory studies with an artificial diet. *Environmental*  
492 *Entomology*, 32, 592-601. DOI: 10.1603/0046-225X-32.3.592
- 493 Montoya, P., Ayala, A., López, P., Cancino, J., Cabrera, H., Cruz, J., Martinez, A. M., Figueroa,  
494 I. & Liedo, P. (2016). Natural parasitism in fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations in  
495 disturbed areas adjacent to commercial mango orchards in Chiapas and Veracruz, Mexico.  
496 *Environmental Entomology*, 45, 328-337. DOI: 10.1093/ee/nvw001
- 497 Montoya, P., Benrey, B., Barrera, J. F., Zenil, M., Ruiz, L. & Liedo, P. (2003). Oviposition  
498 behavior and conspecific host discrimination in *Diachasmimorpha longicaudata*  
499 (Hymenoptera: Braconidae), a fruit fly parasitoid. *Biocontrol Science and Technology*, 13,  
500 683-690. DOI: 10.1080/09583150310001606273
- 501 Montoya, P., Cancino, J., Pérez-Lachaud, G. & Liedo, P. (2011). Host size, superparasitism and  
502 sex ratio in mass-reared *Diachasmimorpha longicaudata*, a fruit fly parasitoid.  
503 *BioControl*, 56, 11-17. DOI: 10.1007/s10526-010-9307-9
- 504 Moral, R. A., Demétrio, C. G. B., Hinde, J., Godoy, W. A. C. & Fernandes, F. S. (2017a).

- 505 Parasitism-mediated prey selectivity in laboratory conditions and implications for  
506 biological control. *Basic and Applied Ecology*, 19, 67-75. DOI:  
507 10.1016/j.baae.2016.11.002
- 508 Moral, R. A., Hinde, J. & Demétrio, C. G. B. (2017b). Half-normal plots and overdispersed  
509 models in R: The hnp package. *Journal of Statistical Software*, 81, 1-23. DOI:  
510 10.18637/jss.v081.i10
- 511 Moreira, R. R., Machado, F. J., Lanza, F. E., Trombin, V. G., Bassanezi, R. B., Miranda, M. P.,  
512 Barbosa, J. C., Junior, G. J. S. & Behlau, F. (2022). Impact of diseases and pests on  
513 premature fruit drop in sweet orange orchards in São Paulo state citrus belt, Brazil. *Pest*  
514 *Management Science*, 78, 2643-2656. DOI: 10.1002/ps.6894
- 515 Mundy, C. A., Allen-Williams, L. J., Underwood, N. & Warrington, S. (2000). Prey selection  
516 and foraging behaviour by *Pterostichus cupreus* L. (Col., Carabidae) under laboratory  
517 conditions. *Journal of Applied Entomology*, 124, 349-358. DOI: 10.1046/j.1439-  
518 0418.2000.00491.x
- 519 Naranjo, S. E. (2007). Intraguild predation on *Eretmocerus* sp. nr. *emiratus*, a parasitoid of  
520 *Bemisia tabaci*, by three generalist predators with implications for estimating the level and  
521 impact of parasitism. *Biocontrol Science and Technology*, 17, 605-622. DOI:  
522 10.1080/09583150701408816
- 523 Nestel, D., Papadopoulos, N. T., Liedo, P., Gonzales-Ceron, L. & Carey, J. R. (2005). Trends  
524 in lipid and protein contents during medfly aging: an harmonic path to death. *Archives of*  
525 *Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological*  
526 *Society of America*, 60, 130-139. DOI: 10.1002/arch.20091
- 527 Nufio, C. R. & Papaj, D. R. (2001). Host marking behavior in phytophagous insects and  
528 parasitoids. *Entomologia experimentalis et applicata*, 99, 273-293. DOI: 10.1046/j.1570-  
529 7458.2001.00827.x
- 530 Nunes, G. S., Dantas, T. A. V., Figueiredo, W. R. S., Souza, M. S., Nascimento, I. N. & Batista,  
531 J. L. (2018). Predation of diamondback moth larvae and pupae by *Euborellia annulipes*.  
532 *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13, 1-8. DOI: 10.5039/agraria.v13i3a5557
- 533 Nunes, G. S., Dantas, T. A. V., Souza, M. S., Nascimento, I. N., Batista, J. L. & Malaquias, J.  
534 B. (2019). Life stage and population density of *Plutella xylostella* affect the predation  
535 behavior of *Euborellia annulipes*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167, 544-  
536 552. DOI: 10.1111/eea.12802
- 537 Nunes, G. S., Paulo, H. H., Dias, W. S. R. & De Bortoli, S. A. (2020). Feeding preference of  
538 *Euborellia annulipes* to *Plutella xylostella*: Effects of temperature and prey development  
539 stage. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50, 1-7. DOI: 10.1590/1983-40632020v5057778
- 540 Nunes, G. S., Ramalho, D. G., Santos, N. A., Truzi, C. C., Vieira, N. F., Cardoso, C. P. & De  
541 Bortoli, S. A. (2019). Parasitism-mediated interactions between the ring-legged earwig  
542 and sugarcane borer larvae. *Neotropical Entomology*, 48, 919-926. DOI: 10.1007/s13744-  
543 019-00731-3
- 544 Nunes, G. S., Truzi, C. C., Cardoso, C. P., Vieira, N. F., Ramalho, D. G., Souza, J. M. & De  
545 Bortoli, S. A. (2020). Temperature-dependent functional response of *Euborellia annulipes*  
546 (Dermaptera: Anisolabididae) preying on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

- 547 larvae. *Journal of Thermal Biology*, 93, 102686. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2020.102686
- 548 Nunes, G. S., Truzzi, C. C., Nascimento, J., De Paula, F. F., Matos, S. T., Polanczyk, R. A. &  
549 De Bortoli, S. A. (2019). *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales)-treated  
550 diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae mediate the preference and functional  
551 response of *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) nymphs. *Journal of*  
552 *Economic Entomology*, 112, 2614-2619. DOI: 10.1093/jee/toz207
- 553 Oliveira, L. V. Q., Oliveria, R., Nascimento Júnior, J. L., Silva, I. T. F. A., Barbosa, V. O. &  
554 Batista, J. L. (2019). Capacidade de busca da tesourinha *Euborellia annulipes* sobre o  
555 pulgão *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *PesquisAgro*, 2, 3-10. DOI:  
556 10.33912/AGRO.2596-0644.2019.v2.n1.p3-10.id209
- 557 Oliveira, R., Alves, P. R. R., Dantas, T. A. V., Oliveira, G. M., Borba, M. A., Souza, M. S. &  
558 Batista, J. L. (2019). Biological aspects and predation of *Pygidicrana v-nigrum* against the  
559 Mediterranean fly *Ceratitis capitata*. *Journal of Experimental Agriculture International*,  
560 31, 1-8. DOI: 10.9734/JEAI/2019/46542
- 561 Pacheco, R. C., Silva, D. D., Mendes, S. M., Lima, K. P., Figueiredo, J. E. F. & Marucci, R. C.  
562 (2021). How omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder)  
563 (Dermaptera: Forficulidae)? *Brazilian journal of biology* 83, e243890. DOI:  
564 10.1590/1519-6984.243890
- 565 Paranhos, B. J., Nava, D. E. & Malavasi, A. (2019). Biological control of fruit flies in Brazil.  
566 *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 54, e26037. DOI: 10.1590/S1678-  
567 3921.pab2019.v54.26037
- 568 Pritchard, D. W., Paterson, R. A., Bovy, H. C. & Barrios-O'Neill, D. (2017). FRAIR: an R  
569 package for fitting and comparing consumer functional responses. *Methods in Ecology*  
570 *and Evolution*, 8, 1528-1534. DOI: 10.1111/2041-210X.12784
- 571 R Core Team (2019). R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria:  
572 R Foundation for Statistical Computing.
- 573 Rabossi, A., Boccaccio, G. L., Wappner, P. & Quesada-Allué, L. A. (1991). Morphogenesis  
574 and cuticular markers during the larval-pupal transformation of the medfly *Ceratitis*  
575 *capitata*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 60, 135-141. DOI: 10.1111/j.1570-  
576 7458.1991.tb01532.x
- 577 Rankin, S. M., Palmer, J. O., Larocque, L. & Risser, A. L. (1995). Life history characteristics  
578 of ringlegged earwig (Dermaptera: Labiduridae): Emphasis on ovarian development.  
579 *Annals of the Entomological Society of America*, 88, 887-893. DOI: 10.1093/aesa/88.6.887
- 580 Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *The Journal of Animal*  
581 *Ecology*, 41, 359-383. DOI: 10.2307/3474
- 582 Sánchez, G., Murúa, F., Suárez, L., Van Nieuwenhove, G., Taret, G., Pantano, V., Bilbao, M.,  
583 Schliserman, P. & Ovruski, S. M. (2016). Augmentative releases of *Diachasmimorpha*  
584 *longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)  
585 control in a fruit-growing region of Argentina. *Biological Control*, 103, 101-107. DOI:  
586 10.1016/j.biocontrol.2016.08.002
- 587 Schmidt, J. M., Sebastian, P., Wilder, S. M. & Rypstra, A. L. (2012). The nutritional content of  
588 prey affects the foraging of a generalist arthropod predator. *Plos One*, 7, e49223. DOI:

- 589 10.1371/journal.pone.0049223
- 590 Searle, S. R., Speed, F. M. & Milliken, G. A. (1980). Population marginal means in the linear  
591 model: An alternative to least squares means. *The American Statistician*, *34*, 216-221.  
592 DOI: 10.1080/00031305.1980.10483031
- 593 Silva, A. B., Batista, J. L. & Brito, C. H. de. (2009). Capacidade predatória de *Euborellia*  
594 *annulipes* (Lucas, 1847) sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). *Acta Scientiarum -*  
595 *Agronomy*, *31*, 7-11. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i1.6602
- 596 Souza, J. M., Selegim, A. R., Silva Nunes, G., Truzzi, C. C., Vieira, N. F. & De Bortoli, S. A.  
597 (2022). Predation of *Diatraea saccharalis* eggs and neonates by the earwig *Euborellia*  
598 *annulipes*. *Biological Control*, *172*, 104953. DOI: 10.1016/n.biocontrol.2022.104953
- 599 Sutton, B. D. & Steck, G. J. (1994). Discrimination of Caribbean and Mediterranean fruit fly  
600 larvae (Diptera: Tephritidae) by cuticular hydrocarbon analysis. *Florida entomologist*, *77*,  
601 231-231. DOI: 10.2307/3495508
- 602 Symondson, W. O., Sunderland, K. D. & Greenstone, M. H. (2002). Can generalist predators  
603 be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology*, *47*, 561-594. DOI:  
604 10.1146/annurev.ento.47.091201.145240
- 605 Tangkawanit, U., Seehavet, S. & Siri, N. (2021). The potential of *Labidura riparia* and  
606 *Euborellia annulipes* (Dermaptera) as predators of house fly in livestock. *Songklanakarinn*  
607 *Journal of Science and Technology*, *43*, 603-607.
- 608 Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of  
609 natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, *57*, 1-20. DOI:  
610 10.1007/s10526-011-9395-1
- 611 Vargas, R. I., Ramadan, M., Hussain, T., Mochizuki, N., Bautista, R. C. & Stark, J. D. (2002).  
612 Comparative demography of six fruit fly (Diptera: Tephritidae) parasitoids (Hymenoptera:  
613 Braconidae). *Biological Control*, *25*, 30-40. DOI: 10.1016/S1049-9644(02)00046-4
- 614 Walder, J. M. M., Lopes, L. A., Costa, M. L. Z., Sesso, J. N., Tonin, G., Carvalho, M. L. &  
615 Lara, P. (1995). Criação e liberação do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata*  
616 (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) para controle de moscas-das-frutas no estado de  
617 São Paulo. *Laranja*, *26*, 149-153.
- 618 Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag, New York.  
619 DOI: 10.1007/978-3-319-24277-4
- 620 Xue, H. J., Wei, J., Huang, Z. Z., Li, W. Z. & Yang, X. K. (2018). Your chemical coat tells me  
621 you are my delicacy: a predatory stink bug uses cuticular hydrocarbons to identify prey.  
622 *Chemoecology*, *28*, 69-73. DOI: 10.1007/s00049-018-0255-7
- 623



## Figures

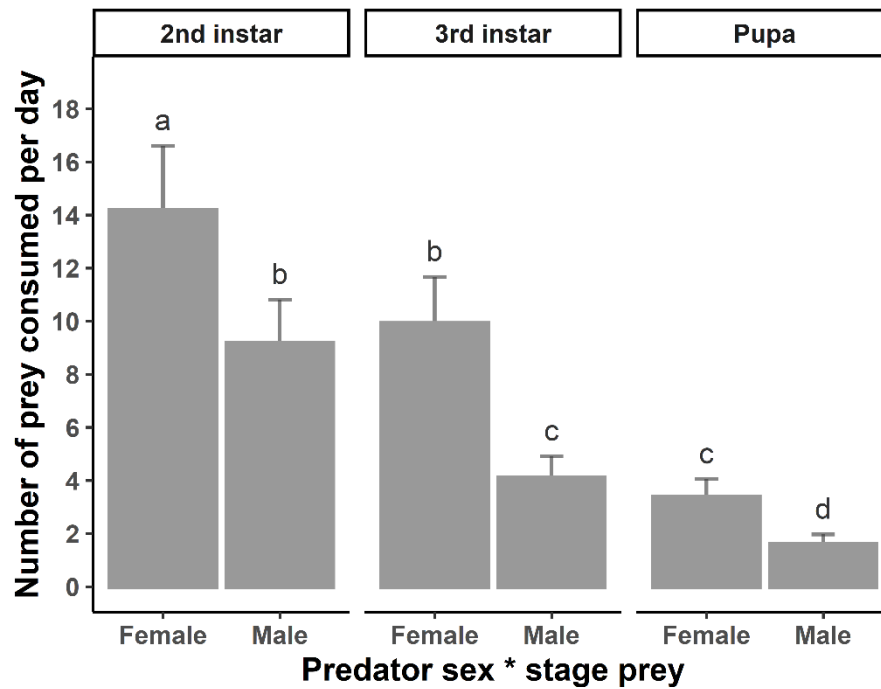


Fig. 1. Estimated marginal means of *Ceratitidis capitata* larvae consumed by *Euborellia annulipes* for 10 days. The error bars represent the upper and lower asymptotic confidence intervals calculated by a mixed generalized linear model with a negative binomial distribution. Different letters indicate significant differences, Tukey's test with Bonferroni correction ( $P = 0.05$ ).

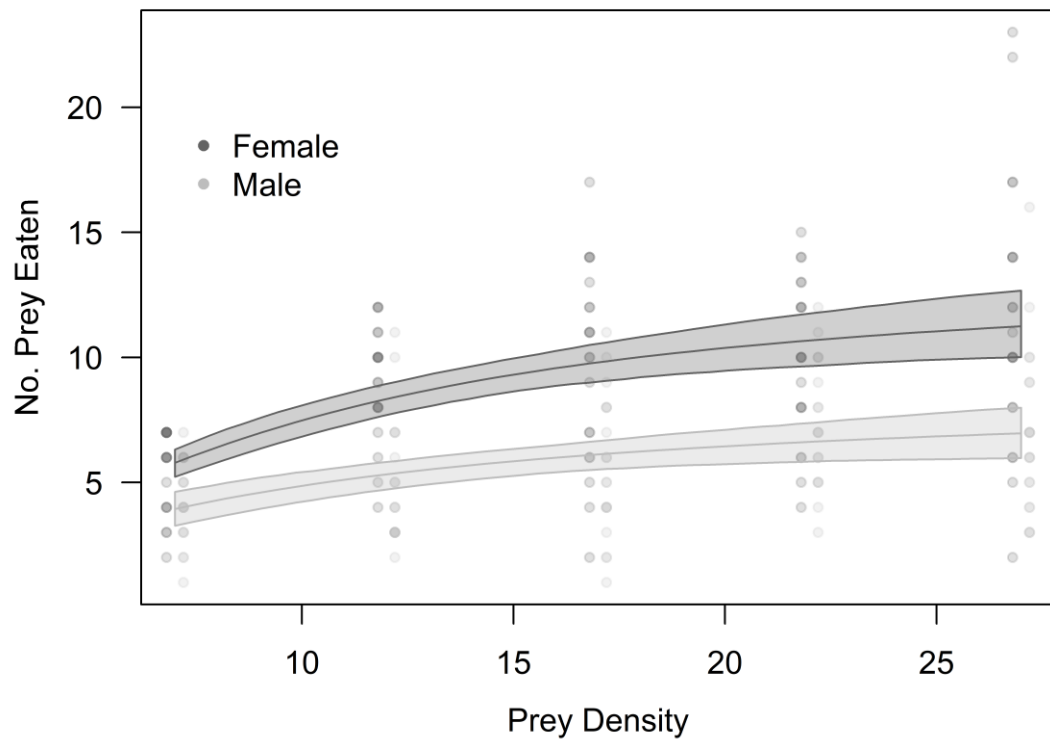


Fig. 2. Functional response curves for *Euborellia annulipes* males and females preying on third-instar larvae of *Ceratitidis capitata* at different densities. The dots show the number of dead larvae at each prey density, the centerline represents the estimated mean values, and the lighter colors represent the limits of the confidence interval with a 95% bootstrap.

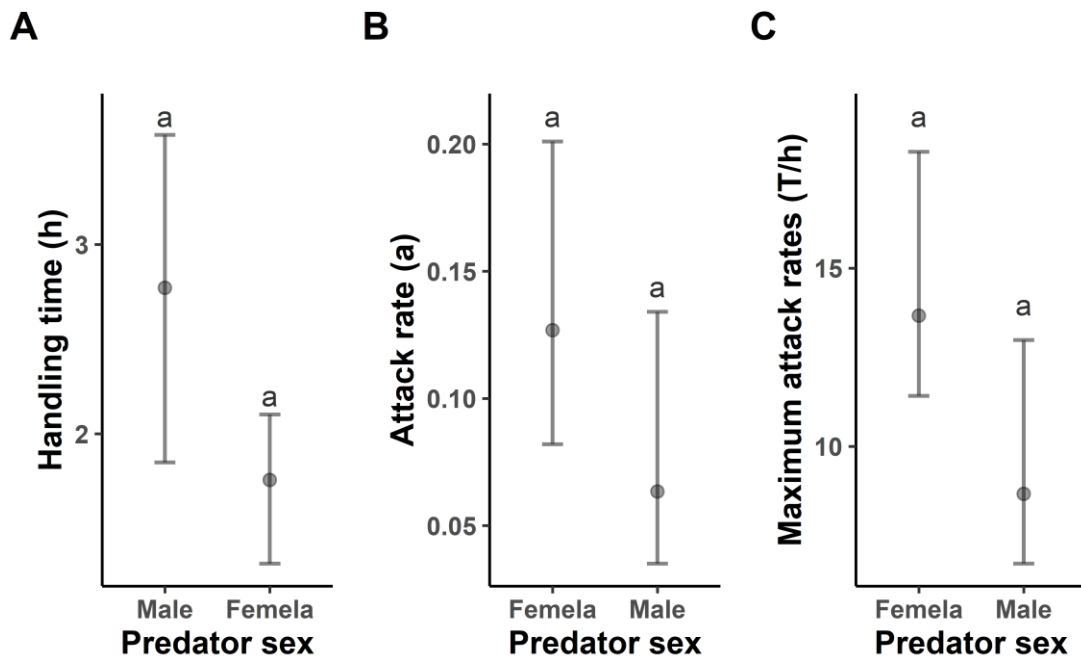


Fig. 3. Functional response parameters of *Euborellia annulipes* males and females fed for 24 h at different densities of third-instar larvae of *Ceratitis capitata*. (a): Handling time (h); (b) attack rate (a); and (c) maximum attack rate in 24 h (T/h). The error bars represent bootstrapped 95% confidence intervals (CIs). The same letters indicate no significant difference (95% of overlapping CIs are not considered different).

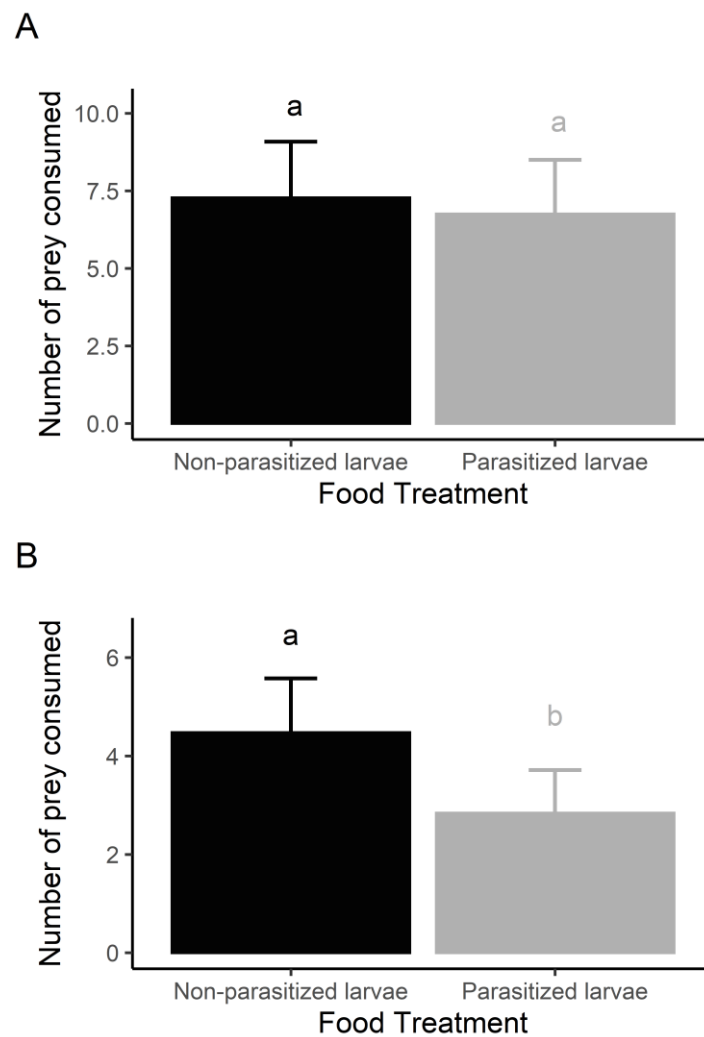


Fig. 4. Estimated marginal means of *Ceratitidis capitata* larvae consumed by *Euborellia annulipes* under different choice conditions in 24h. (a) No-choice; (b) choice. The error bars represent the upper and lower asymptotic confidence intervals calculated by a generalized linear model with a negative binomial distribution. Different letters indicate significant differences, Tukey's test with Bonferroni correction ( $P = 0.05$ ).

## Tables

Table 1. Average number of third-instar larvae of *Ceratitis capitata* consumed at different densities by *Euborellia annulipes* males and females in 24 h.

Density of preys	Mean preys consumed (Mean $\pm$ SE)	
	Female	Male
7	5.6 $\pm$ 0.39a	4.2 $\pm$ 0.34b
12	9.0 $\pm$ 0.64a	4.9 $\pm$ 0.47b
17	9.8 $\pm$ 0.84a	5.7 $\pm$ 0.64b
22	10.0 $\pm$ 0.67a	7.3 $\pm$ 0.58b
27	11.6 $\pm$ 1.09a	7.0 $\pm$ 0.84b

Note: Means followed by different letters in the row differ by Tukey's test at 5% probability.

Table 2. Parameters estimated from the nonlinear regression analysis: estimates of the coefficients of the type II functional response model for the proportion of *Ceratitis capitata* larvae consumed by *Euborellia annulipes* males and females.

	Sex of predator	
	Female	Male
<b>Estimate</b>	-0.0851826	-0.0576133
<b>Standard Error</b>	0.0082528	0.0080061
<b>z value</b>	-10.322	-7.1962
<b><i>P</i> (z)</b>	< 0.001	< 0.001

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até onde sabemos, esse é o primeiro estudo que se concentrou em estabelecer a composição do complexo moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em um pomar diversificado no Sul de Minas Gerais, Brasil. Inicialmente, confirmamos a hipótese de que as espécies frutíferas influenciam as comunidades de tefritídeos e seus parasitoides e que a infestação e parasitismo respondem à variação dos frutos hospedeiros. Novas relações tróficas foram obtidas e uma lista foi gerada com estas interações (artigo 1, tabelas 2 e 3), considerando-se amostras obtidas da árvore e solo. Ademais, classificamos os frutos de pitanga (*Eugenia uniflora*) e araçá-roxo (*Psidium myrtoides*) como repositório de parasitoides de moscas-das-frutas e *Doryctobracon areolatus* foi a espécie mais obtida a partir dos pupários coletados (artigo 1, Fig. 5). No geral, cinco espécies de moscas-das-frutas e sete espécies parasitoides estiveram associadas a cinco famílias botânicas hospedeiras. Nossos esforços de amostragem através de armadilhas resultaram nos primeiros registros de *Anastrepha amita* e *A. punctata* para o estado de Minas Gerais e foi possível estabelecer a flutuação das espécies mais abundantes, sendo: *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus* e *A. obliqua*.

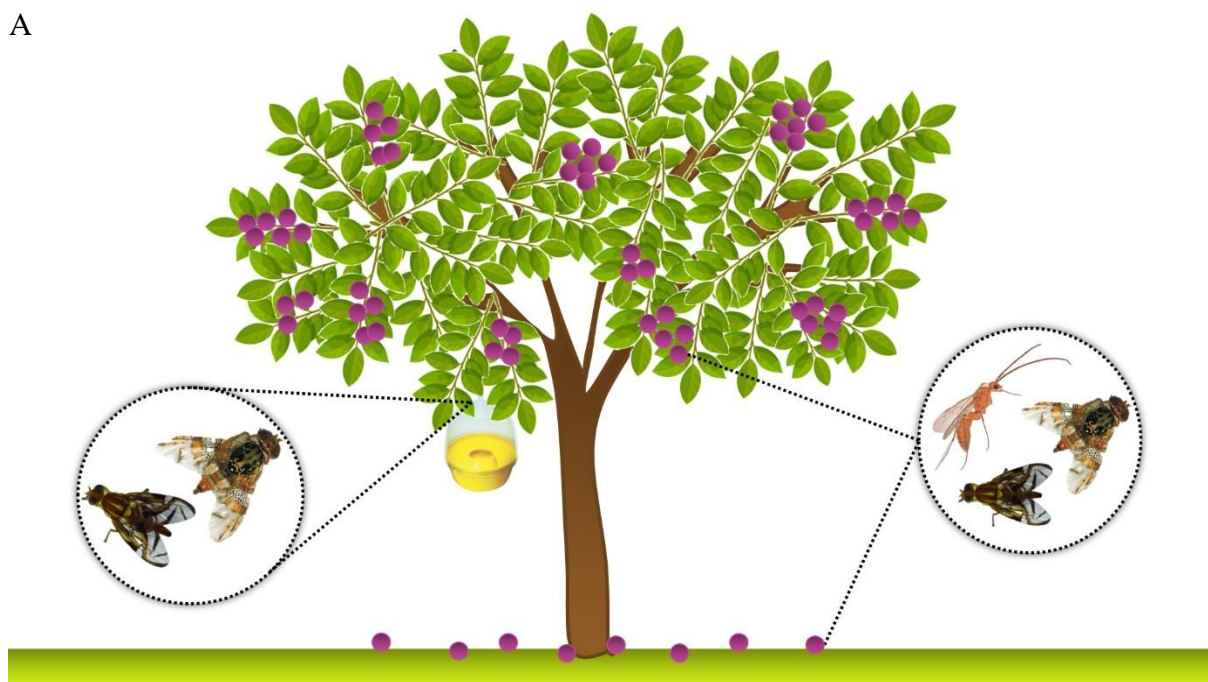
Durante a triagem dos frutos obtidos do solo, especialmente da família Myrtaceae, constatamos a presença da tesourinha *Euborellia annulipes*. Nossos resultados confirmam a hipótese de que frutos de goiaba (*Psidium guajava*) infestados podem prover não só abrigo, mas também alimento para o sustento e reprodução desta tesourinha. *Euborellia annulipes* usam pistas químicas voláteis para localizar frutos de goiaba, que servem como abrigo (artigo 2, Fig. 2), e que apesar de serem inicialmente atraídas por odores de frutos de goiaba infestados com larvas de *C. capitata*, preferem se abrigar em frutos não infestados após a predação (artigo 2, Fig. 3). Essa é a primeira vez que os voláteis de frutos de goiaba são testados na sinalização de abrigo e presença de presas para *E. annulipes*. Testes subsequentes foram realizados para conhecer o seu potencial predatório. Comprovamos que as tesourinhas predam larvas de segundo e terceiro ínstar e pupas de *C. capitata*, mas consumiram maior número de larvas que pupas (artigo 3, Fig. 1). As fêmeas predam um número maior de moscas-das-frutas do que os machos (artigo 3, Tabela 1), independentemente do estágio de desenvolvimento da presa, mas ambos os sexos exibiram uma resposta funcional do tipo II (artigo 3, Fig. 2). Confirmamos também que, como o parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* presumivelmente marca seu hospedeiro após o parasitismo, *E. annulipes* provavelmente evita predação de larvas de moscas-das-frutas parasitadas.

Em geral, esse trabalho aborda as relações tróficas e a importância dos levantamentos de espécie de moscas-das-frutas e seus inimigos naturais na definição de táticas assertivas de

controle biológico, incluindo a prospecção de novos agentes de biocontrole. Estas descobertas são inéditas para o estado de Minas Gerais e apontam não apenas que *E. annulipes* tem potencial para a regulação de imaturos de *C. capitata*, mas que ao evitar a predação intraguilda, causará um efeito aditivo ao do parasitoide sobre a mortalidade da praga. Sob a perspectiva aplicada, esse estudo fornece informações relevantes sobre a importância do manejo de *C. capitata*, visto que os prejuízos causados por esse inseto têm implicações diretas e indiretas na produção e comercialização de frutas frescas a nível mundial. Além disso, trabalhos futuros podem ser realizados com o intuito de conhecer mais das respostas predatórias de *E. annulipes* e da utilização conjunta com espécies de parasitoides, visto que demonstramos em nosso estudo que há um potencial efeito sinérgico entre diferentes agentes de biocontrole.

Figura 1 – Desenho esquemático dos resultados. (A) Frutos de Araçá-roxo (*Psidium myrtilodes*) como exemplo de repositório de inimigos naturais de moscas-das-frutas. A amostragem de frutos (coletados do solo e árvore) permitiram a obtenção de quatro espécies de *Anastrepha*; *C. capitata* e sete espécies de parasitoides. A amostragem por meio de armadilhas gerou um total de nove espécies de *Anastrepha* e *C. capitata*. (B) Fêmeas de *E. annulipes* usam pistas químicas voláteis para localizar frutos de goiaba, que servem como abrigo para a fêmea e sua prole. As tesourinhas predam larvas e pupas de *C. capitata* e, quando em condição de escolha, preferem larvas não parasitadas por *D. longicaudata*.

A





B

