



**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE INSETOS E FRUTAS HOSPEDEIRAS: O  
CASO DAS MOSCAS POLÍFAGAS *ANASTREPHA FRATERCULUS*  
(WIEDEMANN) E *CERATITIS CAPITATA* (WIEDEMANN) (DIPTERA:  
TEPHRITIDAE) EM CITROS**

**LÉO RODRIGO FERREIRA LOUZEIRO**

**SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO  
PAULO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO BIOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANIDADE, SEGURANÇA ALIMENTAR E  
AMBIENTAL NO AGRONEGÓCIO**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE INSETOS E FRUTAS HOSPEDEIRAS: O CASO DAS  
MOSCAS POLÍFAGAS *ANASTREPHA FRATERCULUS* (WIEDEMANN) E *CERATITIS  
CAPITATA* (WIEDEMANN) (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM CITROS**

**LÉO RODRIGO FERREIRA LOUZEIRO**

Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio. Área de concentração: Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema.

SÃO PAULO

2021

**LÉO RODRIGO FERREIRA LOUZEIRO**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE INSETOS E FRUTAS HOSPEDEIRAS: O CASO DAS  
MOSCAS POLÍFAGAS *ANASTREPHA FRATERCULUS* (WIEDEMANN) E *CERATITIS  
CAPITATA* (WIEDEMANN) (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM CITROS**

Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em  
Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio.

Área de concentração: Segurança Alimentar e Sanidade no  
Agroecossistema.

Orientador:  
Professor Dr. Miguel Francisco de Souza Filho

Coorientadora:  
Dra. Carmen Lucia Queiroga

SÃO PAULO

2021

Eu, **Léo Rodrigo Ferreira Louzeiro**, autorizo o Instituto Biológico (IB-APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, a disponibilizar gratuitamente e sem ressarcimento dos direitos autorais, o presente trabalho acadêmico, de minha autoria, no portal, biblioteca digital, catálogo eletrônico, repositório institucional ou qualquer outra plataforma eletrônica do IB para fins de leitura, estudo, pesquisa e/ou impressão pela Internet desde que citada a fonte.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo**  
**Núcleo de Informação e Documentação – IB**

---

Louzeiro, Léo Rodrigo Ferreira.

Estudo da relação entre insetos e frutas hospedeiras: o caso das moscas polífagas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) em citros. / Léo Rodrigo Ferreira Louzeiro. - São Paulo, 2021.

110 p.

doi: 10.31368/PGSSAAA.2021T.LL01

Tese (Doutorado). Instituto Biológico (São Paulo). Programa de Pós-Graduação.

Área de concentração: Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema.

Linha de pesquisa: Biodiversidade: caracterização, interações, interações ecológicas em agroecossistemas.

Orientador: Miguel Francisco de Souza Filho.

Versão do título para o inglês: Study of the relationship between insect and host fruit: the case of polyphagous fruit flies *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) and *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) in citrus.

1. *Citrus sinensis* 2. *Citrus latifolia* 3. Neosilba 4. Óleos essenciais  
 5. Status hospedeiro I. Louzeiro, Léo Rodrigo Ferreira II. Souza Filho, Miguel Francisco de III. Queiroga, Carmen Lucia IV. Instituto Biológico (São Paulo)  
 V. Título.

*IB/Bibl./2021/001*

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Léo Rodrigo Ferreira Louzeiro

Título: Estudo da relação entre insetos e frutas hospedeiras: o caso das moscas polífagas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) em citros.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio do Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

### Banca Examinadora

Dr. Miguel Francisco de Souza Filho      Instituição: Instituto Biológico - APTA

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr. Adilson Sartoratto      Instituição: CPQBA - Unicamp

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr. Christiann Davis Tosta      Instituição: Instituto Federal de São Paulo

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dra. Juliana Sanches      Instituição: Instituto Agronômico de Campinas - APTA

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr. Ricardo Adaime da Silva      Instituição: Embrapa Amapá

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Aos meus pais,  
Aldenir e Maria de Lurdes, a minha  
irmã Alessandra e a todos os meus mestres e professores,  
**OFEREÇO**

A minha mãe, dona Lurdinha,  
que é a minha maior fonte de inspiração,  
**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, avos, tios, tias, madrinha, primos e amigos. Muito obrigado pelo abraço e palavras de apoio. Muito obrigado por compartilhar lágrimas e sorrisos.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Miguel Francisco de Souza-Filho. Foram seis anos de parceria (mestrado e doutorado), de esforço e aprendizado. Muito obrigado por aceitar a parceria! Obrigado pela confiança, incentivo, ensinamentos diários e bons momentos de descontração.

Agradeço a minha coorientadora Dra. Carmen Lucia Queiroga. Muito obrigado por aceitar o desafio. Muito obrigado pelas palavras de apoio e por compartilhar o valioso conhecimento da Química. Sou grato pela dedicação e esforços em meu treinamento.

Agradeço ao Professor Dr. Adalton Raga. Muito obrigado pela coorientação durante o mestrado e doutorado e valiosas discussões científicas. Sou grato pelo incentivo, ensinamentos diários e bons momentos de descontração.

Agradeço a Professora Me. Francieli Nunes da Silva. Muito obrigado por ser a minha primeira orientadora e por me mostrar os primeiros passos da pesquisa científica. Agradeço também, o incentivo, valiosos ensinamentos e pelos bons momentos de descontração.

Agradeço ao Professor Dr. Mário E. Sato pela colaboração e auxílios prestados durante a pesquisa, revisão e análises estatísticas.

Agradeço ao Me. Romildo Cássio Siloto pelos ensinamentos, incentivo e bom convívio.

Agradeço ao Dr. Valmir A. Costa pelos ensinamentos, treinamento, bom convívio e disponibilidade.

Agradeço aos Professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação do Instituto Biológico pela oportunidade, valiosos ensinamentos, dedicação e profissionalismo.

Agradeço a Ester Marques e a Sara Braga pela grande parceria durante a graduação e pós-graduação. Sou grato pelo incentivo, abraço e bons momentos de descontração.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Entomologia Econômica do Instituto Biológico Adrielle Custódio, André Stocco, Beatriz Ferreira, Carla Bulgaralli, Carolina Saldanha, Fernando Baldo, Larissa Ketlin, Leonardo Galdino, Matheus Aguiar, Renata Imperato, Renata Espolador e Stella Vieira pelos momentos de descontração, bom convívio e discussões relacionadas à pesquisa.

Agradeço aos funcionários da administração do CAPSA-IB, Roselaine Bueno, Maria Stella Marcellino, Fernanda Simioni e Alcides Machado pelo apoio logístico e bom convívio.

Agradeço a Dra. Laura J. Gisloti e ao Dr. Pedro C. Strikis pelo auxílio na identificação das espécies de Lonchaeidae.

Agradeço ao Dr. Flávio Schmidt, a Dra. Juliana Hashimoto e ao técnico Bruno Oliva por disponibilizar o espaço do Laboratório de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucaireiros (FEA-

UNICAMP) e pelo auxílio nas análises físico-química das frutas.

Agradeço a Dra. Juliana Sanches e a Bióloga Danúbia Cristina por disponibilizar o espaço do Laboratório de Fisiologia e Pós-colheita (IAC) e pelo auxílio nas análises físico-química das frutas.

Agradeço a Dra. Sandra Maria Carmello-Guerreiro e ao técnico de laboratório Sebastião Henrique por disponibilizar o espaço do Laboratório de Anatomia Vegetal (IB-UNICAMP) e pelo auxílio na caracterização morfológica da casca dos citros.

Agradeço ao Sr. Luiz Kumagai e ao Sr. José Luiz Rosai e seus colaboradores por disponibilizar o espaço dos pomares para coletas de frutas e experimentação de campo.

Agradeço aos colegas Maria Cristina Queiroz, Alex Tomaseto, Alexsandro Casteliani e Luciano Kajihara pelas viagens compartilhadas durante as aulas da pós-graduação.

Agradeço aos membros da banca examinadora de qualificação e defesa pela valiosa contribuição, revisão e discussão científica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001



## RESUMO

LOUZEIRO, Léo Rodrigo Ferreira. **Estudo da relação entre insetos e frutas hospedeiras: o caso das moscas polífagas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) em citros.** 2021. 110 f. Tese (Doutorado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2021.

As moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) são assim conhecidas por utilizarem frutas para completarem seu ciclo de vida. A relação das moscas com as frutas se inicia quando a fêmea realiza a oviposição na casca da fruta, onde posteriormente a larva frugívora se desenvolve. A relação entre inseto e hospedeiro é variável e depende de diversos fatores. A composição físico-química do hospedeiro é provavelmente o principal componente na relação entre a mosca e fruta hospedeira. Neste estudo, os nossos objetivos foram (1) avaliar a relação entre as moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann) e a composição físico-química de laranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] cv. Pera e lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahiti; (2) e avaliar o comportamento de atração e repelência de oviposição dos voláteis de frutas frescas, óleos essenciais (OEs) e dos compostos limoneno e linalol sobre as moscas-das-frutas. Para avaliar a relação entre mosca e fruta hospedeira foi realizada a caracterização físico-química de laranjas e limas ácidas, avaliação da incidência de moscas no campo, condução de experimentos de infestação forçada e avaliação da toxicidade dos OEs dos citros sobre ovos e larvas das moscas. A avaliação do comportamento de atração e repelência das moscas foi realizada em olfatômetro, gaiolão e com armadilhas no campo. Laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle positivo) foram separadas em frutas nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M). O comprimento, diâmetro, massa, acidez titulável, cor da casca, firmeza da casca, pH, sólidos solúveis, ratio (sólidos solúveis/acidez titulável), vitamina C, espessura da casca, número de bolsas de OE e área das bolsas de OE foram estatisticamente diferentes entre os estádios de maturação das frutas. Foram recuperadas moscas em armadilhas e amostras de frutas do campo durante todo o período de estudo. Foram recuperadas moscas das famílias Lonchaeidae e Tephritidae em LaM e LiM. Esse foi o primeiro relato de infestação natural de moscas das famílias Lonchaeidae e Tephritidae em lima ácida cv. Tahiti. Os experimentos de infestação forçada mostraram que A.

*fraterculus* e *C. capitata* conseguem completar seu ciclo de vida em LaI e LaM e em LiM. Os OEs de laranja e lima ácida foram tóxicos para ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. Essa toxicidade foi observada pela mudança de cor e necrose dos ovos e larvas. Os experimentos no olfatômetro demonstraram que frutas maduras são mais atrativas para *A. fraterculus* e *C. capitata* do que frutas no estágio intermediário. No gaiolão, o composto linalol em contato com goiaba demonstrou ativar um comportamento de repelência de oviposição em fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. As armadilhas instaladas em campo com os OEs de laranja e lima ácida e o composto limoneno foram pouco atrativas para adultos de Tephritidae. No entanto, o OE de laranja pode representar um atraente específico para machos de *Anastrepha* spp. e fêmeas de *C. capitata*. No geral, a avaliação do status hospedeiro dos citros mostrou que laranjas e limas ácidas são hospedeiros de *A. fraterculus* e *C. capitata*. No entanto, o status hospedeiro dessas frutas é determinado pelo seu estágio de maturação e composição físico-química. A atração dos OEs (laranja e lima ácida) e do limoneno, e a repelência à oviposição do linalol sobre as moscas-das-frutas não ficou clara. Novos estudos devem ser conduzidos para avaliar o comportamento de atração e/ou repelência dos OEs e seus compostos sobre moscas-das-frutas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Citrus sinensis*; *Citrus latifolia*; *Neosilba*; óleos essenciais; status hospedeiro.

## ABSTRACT

LOUZEIRO, Léo Rodrigo Ferreira. **Study of the relationship between insect and host fruit: the case of polyphagous fruit flies *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) and *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) in citrus.** 2021. 110 f. Tese (Doutorado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) – Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2021.

Fruit flies (Diptera: Tephritidae) are thus known for using fruits to complete their life cycle. The relationship between flies and host fruit begins when the female oviposites on the fruit, where the frugivorous larvae develop later. The relationship between insect and host is variable and depends on several factors. The physicochemical composition of the host is probably the main component in the relationship between the host fly and fruit. In this study, the aims were (1) to evaluate the relationship between the fruit flies *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) and *Ceratitis capitata* (Wiedemann) and the physicochemical composition of orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] cv. Pera and acid lime (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahiti; (2) and to evaluate the attraction and repellency behavior of fruit flies on the volatiles of fresh fruit and essential oils (EO) present in the peel of oranges and acid limes. To evaluate the relationship between fruit fly and host fruit, the physicochemical characterization of oranges and acid limes, evaluation of the incidence of flies in the field, conducting forced infestation experiments and evaluation of the toxicity of EO of citrus on eggs and larvae. The evaluation of the attraction and repellency behavior of the flies were carried out in an olfactometer, cage and field traps. Oranges (O), acid limes (L) and guavas (G) (positive control) were separated into fruits in the unripe (U), green-ripe (G) and ripe (R) stages. Length, diameter, mass, titratable acidity, color of peel, peel firmness, pH, soluble solids, ratio (soluble solids/titratable acidity), vitamin C, peel thickness, number of EO bags and area of EO bags were statistically different between the fruit ripening stages. Flies were recovered in traps and fruit samples throughout the study period. There were recovered flies of the Lonchaeidae and Tephritidae families from OR and LR. This is the first report of natural infestation of flies from the Lonchaeidae and Tephritidae families on acid lime cv. Tahiti. The forced infestation experiments showed that *A. fraterculus* and *C. capitata* are able to complete their life cycle in OG, OR and LR.

Orange and acid lime EO were toxic to eggs and larvae of *A. fraterculus* and *C. capitata*. This toxicity was observed by the changing in color and necrosis of eggs and larvae. The olfactometer experiments demonstrated that ripe fruits are more attractive to *A. fraterculus* and *C. capitata* than fruits in the intermediate stage. In the cage, the compound linalool in contact with guava was shown to activate an oviposition repellency behavior in females of *A. fraterculus* and *C. capitata*. Traps installed in the field with the EO of orange and acid lime and the compound limonene were not very attractive for adults of Tephritidae. However, the orange OE may represent a specific attractant for male of *Anastrepha* spp. and female of *C. capitata*. Overall, we consider that sour oranges and limes are hosts for *A. fraterculus* and *C. capitata*. However, the host status of these fruits is determined by their maturation stage and physicochemical composition. The attraction of EO (orange and acid lime) and limonene, and the oviposition repellency of linalool on fruit flies was not clear. New studies must be conducted to evaluate the attraction and/or repellency behavior of EO and their compounds on fruit flies.

**KEYWORDS:** *Citrus sinensis*; *Citrus latifolia*; *Neosilba*; essential oils; host status.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Fêmea de *A. fraterculus* em campo e seu ciclo de vida holometabólico representado por ovo, larva, pupa e adulto. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 6
- Figura 2** - Fêmea de *C. capitata* sobre goiaba em campo e seu ciclo de vida holometabólico representado por ovo, larva, pupa e adulto. Foto: L. R. F. Louzeiro..... 7
- Figura 3** - Adulto de Lonchaeidae sobre fruta de laranja em pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 9
- Figura 4** - Laranja cv. Pera (*C. sinensis*) e lima ácida cv. Tahiti (*C. latifolia*) em pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro; M. F. Souza-Filho..... 13
- Figura 5** - Gaiolas de criação de *A. fraterculus* (A) e *C. capitata* (B) mantidas na colônia de moscas-das-frutas do Laboratório de Entomologia Econômica, Instituto Biológico, Campinas, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 20
- Figura 6** - Lâmina histológica da casca de laranja cv. Pera exemplificando o método de contagem de bolsas de OE por área, área da bolsa de OE e espessura da casca (flavedo + albedo). Foto: L. R. F. Louzeiro; E. M. Sousa..... 23
- Figura 7 - Armadilha McPhail no campo (A), insetos recuperados em armadilha (B), separação dos insetos com peneira (C), transporte dos insetos em potes de vidro contendo água (D), triagem das moscas-das-frutas (E), armazenamento das moscas em frascos de vidro com etanol 70% (F) e preparação para identificação específica das moscas (G). Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 24
- Figura 8** - Amostra de frutas em caixa plástica (A), avaliação do peso da amostra (B), armazenamento da amostra de fruta em caixa plástica selada com tecido (C), caixas contendo as amostras de frutas em prateleiras (D), larvas e pupas de moscas frugívora em vermiculita (E), separação das pupas utilizando peneira (F) e armazenamento das pupas em potes de vidro sobre condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (G). Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 25
- Figura 9** - Método de infestação individualizada de frutas em laboratório (A) e campo (B), individualização das frutas em potes plásticos (C), armazenamento das frutas (D), separação de pupas (E) e armazenamento de pupas em condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (F). Foto: L. R. F. Louzeiro..... 28
- Figura 10** - Coleta de frutas no campo (A), frutas triadas e lavadas no laboratório (B), método de infestação de frutas agrupadas em gaiola (C), armazenamento das frutas (D), separação de pupas (E) e armazenamento de pupas em condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (F). Foto: L. R. F. Louzeiro..... 29

- Figura 11** - Método de recuperação de ovos de *A. fraterculus* (A) e *C. capitata* (B), contagem e separação dos ovos (C), toxicidade por contato (D) e por exposição aos voláteis dos OEs (E), placas de Petri seladas com plástico filme PVC (F) e armazenamento das placas com os tratamentos sobre condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (G). Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 32
- Figura 12** - Olfatômetro de quatro vias usado para avaliar o comportamento de atração de *A. fraterculus* e *C. capitata* para os voláteis de laranjas e limas ácidas frescas nos estádios intermediário e maduro. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 33
- Figura 13** - Gaiolão usado para avaliar o comportamento de repelência à oviposição em goiabas tratadas com linalol sobre fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 35
- Figura 14** - Distribuição das armadilhas entre as seis ruas (R) e três pontos (p) por rua no pomar de laranja cv. Pera em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro / Google Earth. .... 36
- Figura 15** - Distribuição das armadilhas entre as seis ruas (R) e três pontos (p) por rua no pomar de lima ácida cv. Tahiti em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro / Google Earth. .... 36
- Figura 16** - Relação entre o índice de infestação pupas/kg de Lonchaeidae, Tephritidae (A), *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. (B) em relação aos seus respectivos índices MAD (C) e os fatores meteorológicos (D) no pomar de laranja em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. 43
- Figura 17** - Relação entre o índice de infestação pupas/kg de Lonchaeidae, Tephritidae (A), *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. (B) em relação aos seus respectivos índices MAD (C) e os fatores meteorológicos (D) no pomar de lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. .... 44
- Figura 18** - Caracterização das camadas de laranjas cv. Pera (A), alteração da cor da casca no local da punctura de moscas-das-frutas (B), massa de ovos de *C. capitata* (C), ovo de *A. fraterculus* entre o flavedo e albedo (D) e ovos de *C. capitata* no albedo de laranja infestada em laboratório. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 49
- Figura 19** - Médias ( $\pm$  erro padrão) de ovos/postura (N = 30 posturas) de *A. fraterculus* e *C. capitata* em laranjas cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti infestadas em laboratório. Letras minúsculas em cada espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). .... 50
- Figura 20** - Ovos e larvas de *A. fraterculus* após a exposição aos voláteis de OEs de citros durante 24h dentro de uma placa de Petri de vidro. Foto: L. R. F. Louzeiro. .... 53
- Figura 21** - Relação entre pupas/kg de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La), lima ácida cv. Tahiti (Li) e goiaba cv. Tailandesa (Go) (controle) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). .... 56

- Figura 22** - Relação entre viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La), lima ácida cv. Tahiti (Li) e goiaba cv. Tailandesa (Go) (controle) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 57
- Figura 23** - Relação entre ovos/postura de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 58
- Figura 24** - Relação entre pupas/kg de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 59
- Figura 25** - Relação entre viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 59
- Figura 26** - Relação entre ovos/postura de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 60
- Figura 27** - Relação entre componentes principais 1 e 2 para os parâmetros biológicos pupas/fruta (PPF), pupas/kg (PPK) e viabilidade pupal (PV) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas acidez titulável (TA), firmeza da casca (FIR), pH (PH), ratio (RAT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIC), luminosidade (L), a\* (A), b\* (B) e ângulo Hue (HUE) de laranja verde (LaV), laranja intermediária (LaI), laranja madura (LaM), lima ácida verde (LiV), lima ácida intermediária (LiI), lima ácida madura (LiM), goiaba (controle) verde (GoV), goiaba intermediária (GoI) e goiaba madura (GoM). (●) representa os tratamentos (scores) de PC1/PC2 e (●) representa as variáveis (loadings) biológicas das moscas e as características físico-químicas das frutas. .... 60
- Figura 28** - Relação entre componentes principais 1 e 2 para os parâmetros biológicos pupas/fruta (PPF), pupas/kg (PPK), ovos/postura (EPP) e viabilidade pupal (PV) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas acidez titulável (TA), firmeza da casca (FIR), pH (PH), ratio (RAT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIC), luminosidade (L), a\* (A), b\* (B), ângulo Hue (HUE), espessura da casca (TPE), número de bolsas de OEs (NEOG) e área das bolsas de OEs (AEOG) de laranja verde (LaV), laranja intermediária (LaI), laranja madura (LaM), lima ácida verde (LiV), lima ácida intermediária (LiI) e lima ácida madura (LiM). (●) representa os tratamentos (scores) de PC1/PC2 e (●) representa as variáveis (loadings) biológicas das moscas e as características das frutas. .... 61
- Figura 29** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata* atraídas

pelos voláteis de laranjas e limas ácidas frescas expostas em olfatômetro de quatro vias. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ )..... 62

**Figura 30** - Fitotoxicidade em goiabas tratadas com linalol usadas no experimento de repelência à oviposição no gaiolão. Foto: L. R. F. Louzeiro..... 63

**Figura 31** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de adultos (fêmeas + machos) de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* recuperados em armadilhas com OE de laranja cv. Pera (OELa) e lima ácida cv. Tahiti (OELi), limoneno (LIMO) e atraente proteico Ceratrap (controle) nos pomares de laranja e lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas em cada tratamento, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). ..... 64

**Figura 32** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de fêmeas e machos de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* recuperadas em armadilhas com OE de laranja cv. Pera (OELa), lima ácida cv. Tahiti (OELi), limoneno (LIMO) e atraente proteico Ceratrap (controle) nos pomares de laranja e lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas em cada tratamento, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). ..... 65



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características de laranja (La), lima ácida (Li) e goiaba (Go) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M)..... 39
- Tabela 2-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características físico-químicas de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). Letras minúsculas diferentes na coluna representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ )..... 40
- Tabela 3-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características morfológicas da casca de laranjas (La) e limas ácidas (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). Letras minúsculas diferentes dentro da coluna representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). ..... 40
- Tabela 4-** Total de amostras de frutas, médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação de laranjas cv. Pera (La) e limas ácidas cv. Tahiti (Li) nos estádios intermediário (I) e maduro (M) coletadas no pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. .... 42
- Tabela 5-** Espécies de moscas frugívoras recuperadas de laranjas cv. Pera (La) e limas ácidas cv. Tahiti (Li) nos estádios intermediário (I) e maduro (M) coletadas no pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. .... 42
- Tabela 6-** Correlação de Pearson entre mosca por armadilha por dia (MAD), índices de infestação (pupas/kg) e fatores meteorológicos em pomares de laranja e lima ácida durante maio a julho de 2019 e fevereiro e abril de 2021, Mogi Mirim, SP, Brasil. .... 45
- Tabela 7-** Médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação e viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* e *C. capitata* no experimento de infestação individualizada de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle) nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M). ..... 47
- Tabela 8-** Médias (mínimo - máximo) dos índices de infestação, viabilidade pupal (VP) e período ovo-adulto de *A. fraterculus* e *C. capitata* no experimento de infestação por amostra de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle) nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M)..... 48
- Tabela 9-** Composição química dos óleos essenciais comerciais de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti. O Índice de Retenção foi calculado com base numa série de n-alcanos (C8-C24)..... 51
- Tabela 10-** Médias ( $\pm$  erro padrão) da mortalidade de ovos e larvas (N = 20) de *A. fraterculus* e *C. capitata* após o contato com as concentrações dos OEs de laranja (La) e lima ácida (Li). Letras

minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada estágio imaturo, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ )..... 52

**Tabela 11-** Concentração letal determinada pela análise de regressão Probit para a toxicidade por contato dos OEs de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) sobre ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. ..... 52

**Tabela 12-** Médias ( $\pm$  erro padrão) da mortalidade de ovos e larvas ( $N = 20$ ) de *A. fraterculus* e *C. capitata* após o após a exposição aos voláteis dos OEs não diluídos de laranja (La) e lima ácida (Li). Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada estágio imaturo, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). ..... 53

**Tabela 13-** Concentração letal determinada pela análise de regressão Probit para a toxicidade por exposição aos voláteis dos OEs de laranja (La) e lima ácida (Li) sobre ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. ..... 53

**Tabela 14-** Médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação e viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) em goiabas tratadas com linalol em infestação forçada no gaiolão, seguida pela fitotoxicidade do linalol em goiabas. Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada parâmetro, representam diferença estatística pelo teste t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ). ..... 62

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Af	– <i>Anastrepha fraterculus</i>
APTA	– Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Cc	– <i>Ceratitis capitata</i>
CL <sub>50</sub>	– Concentração capaz de provocar letalidade de 50% da população
cm	– Centímetro
CG-EM	– Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas
cv.	– Cultivar
CVC	– Clorose variegada dos citros
FAO	– Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEA	– Faculdade de Engenharia de Alimentos
g	– Gramas
G.L.	– Graus de liberdade
IAC	– Instituto Agrônomo de Campinas
IB	– Instituto Biológico
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	– Quilograma
LEE	– Laboratório de Entomologia Econômica
LaV	– Laranja verde
LaI	– Laranja intermediária
LaM	– Laranja madura
LiV	– Lima ácida verde
LiI	– Lima ácida intermediária
LiM	– Lima ácida madura
m	– Metro
mL	– Mililitro
µl	– Microlitro
mm	– Milímetro
NIST	– National Institute of Standards and Technology
OEs	– Óleos essenciais
UR	– Umidade relativa do ar
UNICAMP	– Universidade Estadual de Campinas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Família Tephritidae .....</b>	<b>4</b>
3.1.1 <i>Anastrepha fraterculus</i> .....	5
3.1.2 <i>Ceratitis capitata</i> .....	6
<b>3.2 Família Lonchaeidae.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Citros.....</b>	<b>9</b>
3.3.1 Laranja cv. Pera.....	11
3.3.2 Lima ácida cv. Tahiti.....	12
3.3.3 Óleos essenciais de citros.....	14
<b>3.4 Relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira .....</b>	<b>15</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Locais de estudo .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Criação de moscas-das-frutas .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta .....</b>	<b>20</b>
4.3.1 Caracterização física e físico-química das frutas .....	20
4.3.2 Incidência de moscas-das-frutas em pomar de citros.....	23
4.3.3 Infestação forçada de frutas em laboratório e campo.....	26
4.3.4 Toxicidade de óleos essenciais de laranja e lima ácida sobre os estádios imaturos de moscas-das-frutas .....	29
4.3.5 Estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira.....	32
<b>4.4 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos.....</b>	<b>32</b>
4.4.1 Comportamento de moscas-das-frutas em olfatômetro.....	33
4.4.2 Comportamento de moscas-das-frutas em gaiolão.....	34
4.4.3 Comportamento de moscas-das-frutas em campo.....	35
<b>4.5 Análises estatísticas.....</b>	<b>37</b>

<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta .....</b>	<b>38</b>
5.1.1 Caracterização física e físico-química das frutas .....	38
5.1.2 Incidência de moscas frugívoras em pomar de citros .....	40
5.1.3 Infestação forçada de frutas em laboratório e campo.....	45
5.1.4 Toxicidade de óleos essenciais de laranja e lima ácida sobre os estádios imaturos de moscas-das-frutas .....	50
5.1.5 Estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira.....	54
<b>5.2 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos.....</b>	<b>61</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta .....</b>	<b>66</b>
<b>6.2 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos.....</b>	<b>69</b>
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As moscas-das-frutas são importantes pragas de frutas ao redor do mundo. A importância destes insetos está associada ao dano econômico representado pelas perdas de produção e aumento dos custos de produção devido aos custos de monitoramento e controle. Além disso, as moscas-das-frutas de importância econômica representam uma barreira quarentenária para países importadores de frutas frescas (ALUJA; MANGAN, 2008; DIAS; LUCKY, 2017).

No Brasil as moscas-das-frutas de importância econômica são representadas por algumas espécies dos gêneros *Anastrepha* Schiner e *Rhagoletis* Loew, além de *Bactrocera carambolae* (Drew & Hancock) e *Ceratitis capitata* (Wiedemann), pertencentes à família Tephritidae (ZUCCHI, 2000). Algumas espécies do gênero *Neosilba* McAlpine, família Lonchaeidae, também são consideradas importantes devido ao seu potencial de dano, principalmente para a produção e comercialização de citros (Rutaceae) (UCHÔA-FERNANDES et al., 2003; LOUZEIRO et al., 2021).

*Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *C. capitata* são consideradas as principais pragas de citros (RAGA, 2005). Essas espécies de moscas são importantes para a produção de citros por causarem danos relacionados, principalmente, à queda prematura das frutas após a punctura e oviposição das fêmeas (RAGA et al., 1997; LOPES et al., 2007). A queda prematura das frutas pode ser causada pelo estresse sofrido pela fruta após a oviposição e por alterações do fitormônio etileno, que está envolvido diretamente ao amadurecimento das frutas (YANG; HOFFMAN, 1984). No entanto, várias espécies de citros são consideradas hospedeiros pobres ou inadequados para moscas-das-frutas (MUTHUTHANTRI; CLARKE, 2012). Geralmente, os citros são considerados hospedeiros secundários ou alternativos por conta dos baixos índices de infestação (pupas/fruta e pupas/kg) e viabilidade pupal encontrados nessas frutas (BRESSAN; TELES, 1991).

A relação das moscas com seus hospedeiros é variável e pode ser influenciada pelas condições climáticas (VAYSSIÈRES et al., 2009), estágio de maturação e mecanismos de defesa da fruta; e principalmente pela composição física e físico-química do hospedeiro (GREANY et al., 1983; BISOGNIN et al., 2015; DIAS et al., 2017; GUILLÉN et al., 2017). Nos citros os mecanismos de defesa da fruta são uma grande barreira para o desenvolvimento de ovos e larvas das moscas-das-frutas. A primeira barreira enfrentada pelos ovos e larvas jovens (primeiro instar) são as bolsas de óleo essencial (OE) presentes na casca da fruta. Muitas vezes os ovos e larvas

morrem ao entrar em contato com o OE presente na casca das frutas cítricas (GREANY et al., 1983; RUIZ et al., 2014). Outra barreira enfrentada pelas larvas jovens é a espessura da casca da fruta. Em alguns casos, as larvas não conseguem atravessar a espessa camada da casca (região do albedo) em busca da polpa (zona comestível) e acabam morrendo (MARICONI; IBA, 1955).

Neste estudo foram conduzidos diversos experimentos de campo e laboratório para tentar entender a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira. Esses experimentos incluíram caracterização físico-química da fruta hospedeira em três estádios de maturação; avaliação da incidência de moscas no pomar de citros (laranja e lima ácida); infestação forçada de frutas; avaliação da toxicidade dos OEs de citros; e avaliação do comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas frescas, OEs e seus compostos. Os dados dos experimentos de campo e laboratório foram compilados e serviram como base teórica para entender a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira, o status hospedeiro dos citros em relação ao estágio de maturação da fruta e o comportamento de atração e repelência à oviposição sobre adultos de moscas-das-frutas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- Avaliar a relação entre moscas-das-frutas e fruta hospedeira e o comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas frescas, óleos essenciais e seus compostos.

### 2.2 Específicos

- Caracterizar a estrutura física e físico-química de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro;
- Avaliar a incidência de moscas-das-frutas em armadilhas e amostras de frutas em pomares de laranja e lima ácida;
- Avaliar o desenvolvimento de *A. fraterculus* e *C. capitata* em laranjas e limas ácidas infestadas no laboratório e campo;
- Avaliar a toxicidade dos óleos essenciais de laranja e lima ácida para ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*;
- Avaliar por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) a composição química dos óleos essenciais de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti;
- Avaliar o status hospedeiro de três estádios de maturação de laranja e lima ácida por meio da relação entre mosca e hospedeiro.
- Avaliar o comportamento de atração ou repelência de óleos essenciais de citros e dos compostos limoneno e linalol sobre moscas-das-frutas.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Família Tephritidae

As moscas da família Tephritidae (Diptera: Tephritoidea) são insetos holometábolos, têm o corpo variavelmente colorido, mas não metálico e medem geralmente de 1 a 20 mm (CHRISTENSON; FOOTE, 1960; NORRBOM, 2010). As asas das moscas são uma característica marcante. A maioria das espécies têm asas retratadas com listas amarelas, castanhas, pretas, ou ambas, ou com manchas hialinas em um campo mais escuro. Em cerca de 35% das espécies o ciclo de vida ou o desenvolvimento imaturo está associado a frutas e as demais espécies se desenvolvem em flores, ramos e raízes ou são minadoras de folhas (CHRISTENSON; FOOTE, 1960; WHITE; ELSON-HARRIS, 1994). Devido aos hábitos alimentares fitófagos e frugívoros de grande parte das espécies de Tephritidae, essas moscas são comumente conhecidas como verdadeiras moscas-das-frutas (ZUCCHI, 2000; HERNÁNDEZ-ORTIZ et al., 2010).

A família Tephritidae é a maior dentro da superfamília Tephritoidea (DIAZ-FLEISCHER et al., 2000) e a mais importante economicamente dentro dos dípteros (WHITE; ELSON-HARRIS, 1994). São conhecidas cerca de 4.400 espécies e 500 gêneros de Tephritidae ao redor do mundo (NORRBOM, 2004). No entanto, apenas cerca de 200 espécies de Tephritidae são consideradas pragas (NORRBOM et al., 2012). As moscas-das-frutas causam bilhões de dólares em perdas diretas na produção de frutas, além de limitarem o comércio internacional de frutas devido às restrições quarentenárias (ALUJA; MANGAN, 2008).

Algumas espécies dos gêneros *Anastrepha* Schiner, *Bactrocera* Macquart, *Ceratitidis* MacLeay, *Dacus* Fabricius, *Rhagoletis* Loew, *Toxotrypana* Gerstaecker (atualmente *Anastrepha*) (NORRBOM et al., 2018) e *Zeugodacus* Hendel são consideradas de importância econômica ao redor do mundo (CHRISTENSON; FOOTE, 1960; NUÑEZ-BUENO, 1981; WHITE; ELSON-HARRIS, 1994; PLANT HEALTH AUSTRALIA, 2018). No Brasil, os gêneros da família Tephritidae de importância econômica são *Anastrepha*, representado por 121 espécies (ZUCCHI; MORAES, 2008); *Bactrocera* representado por *B. carambolae* Drew & Hancock; *Ceratitidis* representado por *C. capitata* (Wiedemann) e *Rhagoletis*, representado por *R. adusta* Foote, *R. blanchardi* Aczél, *R. ferruginea* Hendel e *R. macquarti* (Loew) (ZUCCHI, 2000).

Das 121 espécies de *Anastrepha* registradas no Brasil, apenas *A. fraterculus* (Wiedemann),

*A. grandis* (Macquart), *A. obliqua* (Macquart), *A. pseudoparallela* (Loew), *A. sororcula* Zucchi, *A. striata* (Schiner) e *A. zenildae* Zucchi são de importância econômica. Além destas, *A. bistrigata* Bezzi, *A. distincta* Greene e *A. serpentina* (Wiedemann) têm potencial de dano econômico para a produção de goiaba (*Psidium guajava* L.), fabáceas (Mimosoideae) e sapotáceas (Sapotaceae), respectivamente (ZUCCHI, 2000). *Anastrepha fraterculus* e *C. capitata* são as mais prejudiciais para a fruticultura brasileira, pois elas estão amplamente distribuídas pelo território nacional e causam danos significativos a diversas espécies de frutas cultivadas durante os processos de produção e comercialização (LOUZEIRO et al., 2021).

### 3.1.1 *Anastrepha fraterculus*

*Anastrepha fraterculus* comumente conhecida como mosca-das-frutas sul-americana está distribuída do sul do Texas nos Estados Unidos até o norte da Argentina (DIAS; LUCKY, 2017). Os adultos de *A. fraterculus* medem cerca de 7 mm de comprimento e 16 mm de envergadura, possuem corpo de cor amarela com manchas marrons e asas hialinas com manchas escuras em forma de “S” na parte central e em forma de “V” invertido no ápice (Figura 1) (SALLES, 1995; NAVA; BOTTON, 2010).

Cada fêmea de *A. fraterculus* pode depositar até 900 ovos dependendo do hospedeiro (ZART et al., 2010; BISOGNIN et al., 2015). O ciclo de vida de *A. fraterculus* é de 26 a 29 dias em condições controladas ( $25 \pm 2$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR) (BISOGNIN et al., 2015) e se desenvolve em ovo e larva, ambos dentro da fruta; pupa geralmente no solo e adultos alados (Figura 1).

No Brasil, *A. fraterculus* foi registrada em 24 estados e está associada a 116 espécies frutíferas distribuídas em 29 famílias botânicas. As famílias botânicas com mais espécies hospedeiras são Myrtaceae (39), Rosaceae (14), Rutaceae (10) e Annonaceae (8) (ZUCCHI; MORAES, 2008). *Anastrepha fraterculus* é uma das mais importantes pragas na América do Sul. Alguns dados apontam que ela pode provocar perdas econômicas de US\$ 110 milhões para a produção de maçã e cerca de 40% da produção de pêssego somente na região Sul do Brasil (DIAS; LUCKY, 2017).



**Figura 1** - Fêmea de *A. fraterculus* em campo e seu ciclo de vida holometabólico representado por ovo, larva, pupa e adulto. Foto: L. R. F. Louzeiro.

### 3.1.2 *Ceratitis capitata*

*Ceratitis capitata*, mosca-do-Mediterrâneo ou medfly, é nativa do continente africano provavelmente próximo ao Mediterrâneo e atualmente distribuída por todos os continentes com exceção dos polos (MALAVASI et al., 2000; THOMAS et al., 2019). Os adultos de *C. capitata* medem de 4 a 5 mm de comprimento e 10 a 12 mm de envergadura. O corpo é predominantemente amarelo com manchas marrons e pretas, os olhos castanho-violáceos e as asas são largas e hialinas com manchas pretas, marrons e com uma faixa amarela no meio da asa (Figura 2) (BROUGHTON; LIMA, 2002; THOMAS et al., 2019).

Os adultos de *C. capitata* geralmente vivem dois meses em condições de campo e até dez meses em condições de laboratório. Uma fêmea deposita durante sua vida geralmente de 300 a 400 ovos podendo chegar a 800 ovos (NUÑEZ-BUENO, 1987; THOMAS et al., 2019). O ciclo de vida de *C. capitata* varia de 21 a 30 dias sob condições de verão e se desenvolve em ovo e larva, ambos dentro da fruta; pupa geralmente no solo e adultos alados (Figura 2).

*Ceratitis capitata* é considerada a mais importante mosca-das-frutas devido a sua ampla distribuição mundial, por ser generalista ou polífaga, por apresentar capacidade adaptativa a climas diversos e alta capacidade reprodutiva (RAGA et al., 1996; THOMAS et al., 2019). *Ceratitis capitata* está associada a mais de 300 espécies de plantas hospedeiras e muitas dessas de

importância comercial (PEÑARRUBIA-MARÍA et al., 2014).

No Brasil, *C. capitata* foi registrada pela primeira vez em 1901 recuperada de laranjas [*Citrus sinensis* (L.) Osbek] (IHERING, 1901). Essa mosca foi registrada em 97 espécies frutíferas distribuídas em 29 famílias botânicas, com maior número de espécies infestadas em Myrtaceae (21), Rutaceae (14), Rosaceae (10), Anacardiaceae (7) e Sapotaceae (6) (ZUCCHI; MORAES, 2012).



**Figura 2** - Fêmea de *C. capitata* sobre goiaba em campo e seu ciclo de vida holometabólico representado por ovo, larva, pupa e adulto. Foto: L. R. F. Louzeiro.

### 3.2 Família Lonchaeidae

A família Lonchaeidae (Diptera: Tephritoidea) é formada por moscas de tamanho entre 3 e 6 mm, coloração do corpo quase sempre preta com brilho metálico azul ou esverdeado, ou uma mistura de ambos e asas hialinas (Figura 3) (KORYTKOWSKI; OJEDA, 1971; ARAUJO, 2004). Os lonqueídeos têm hábitos alimentares diversos. A grande maioria dos lonqueídeos são necrófagos, outros são fitófagos e outros são predadores. Algumas espécies são saprófagas e se desenvolvem em esterco, frutas e vegetais em decomposição, fungos e insetos mortos (DIAZ-FLEISCHER et al., 2000). As espécies fitófagas se desenvolvem especialmente em frutas, flores, brotos terminais e cactos (STRIKIS et al., 2011).

São conhecidas entre 550 e 600 espécies da família Lonchaeidae que estão distribuídas

geograficamente por todas as regiões do mundo e vivem em ampla diversidade de habitats (MacGOWAN et al., 2016; MacGOWAN, 2020). Os membros da família Lonchaeidae estão distribuídos nas subfamílias Dasiopinae e Lonchaeinae. A subfamília Dasiopinae é representada apenas pelo gênero *Dasiops* Rondani, enquanto a subfamília Lonchaeinae abrange os gêneros *Chaetolonchaea* Czerny, *Earomyia* Zetterstedt, *Fulgenta* MacGowan, *Lonchaea* Fallén, *Lamprolonchaea* Bezzi, *Neosilba* McAlpine, *Protearomyia* McAlpine e *Silba* Macquart (KORYTKOWSKI; OJEDA, 1971; MacGOWAN, 2020). Os gêneros *Lonchaea* com 228 espécies, *Dasiops* com 132 espécies, *Silba* com 117 espécies e *Neosilba* com 40 espécies, são os mais ricos em espécies (MacGOWAN, 2020).

Muitos estudos sobre levantamento de hospedeiros de moscas frugívoras, mencionavam que as espécies de Lonchaeidae eram invasoras secundárias (ou oportunistas) de frutas, pois muitas vezes, elas eram recuperadas de frutas previamente infestadas por espécies de Tephritidae. No final dos anos 1990 e início dos anos 2000, alguns estudos preliminares relataram significativa recuperação de lonqueídeos em amostras de frutas (RAGA et al., 1997; UCHÔA-FERNANDES et al., 2002). Os estudos mais recentes apontam os lonqueídeos como invasores primários e com potencial de dano econômico em várias espécies frutíferas cultivadas (RAGA et al., 2015; ADAIME et al., 2017; GISLOTI et al., 2017), principalmente em citros (LOUZEIRO et al., 2021). Estudos com maracujá (*Passiflora edulis* Sims) indicam que o ataque de *Dasiops inedulis* Steyskal em botões florais e *D. frieseni* Norrbom & McAlpine em frutas podem causar até 100% de queda precoce dos botões e perda total da produção de maracujá (STRIKIS, 2005).

No Brasil, os lonqueídeos estão representados principalmente por algumas espécies de *Dasiops*, *Lonchaea* e *Neosilba* que estão distribuídos geograficamente por todo o território (UCHÔA-FERNANDES et al., 2002; RAGA et al., 2015; ADAIME et al., 2017; VIEIRA et al., 2019). As espécies mais comumente recuperadas em amostras de frutas e armadilhas são *Neosilba glaberrima* (Wiedemann), *N. pendula* (Bezzi) e *N. zadolicha* McAlpine & Steyskal (UCHÔA-FERNANDES et al., 2002; RAGA et al., 2006; SOUZA-FILHO et al., 2009; RAGA et al., 2015; GISLOTI et al., 2017; LOUZEIRO et al., 2021). Essas espécies de *Neosilba* são nativas da região Neotropical, são frugívoras, polífagas e podem explorar mais espécies frutíferas do que as espécies da família Tephritidae (UCHÔA-FERNANDES et al., 2002).



**Figura 3** - Adulto de Lonchaeidae sobre fruta de laranja em pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro.

### 3.3 Citros

Os citros são plantas da família Rutaceae distribuídas entre os gêneros *Citrus*, *Fortunella* e *Poncirus* ou são híbridos. Os citros são originários principalmente das regiões subtropicais e tropicais do Sul e Sudeste da Ásia, incluindo áreas da Austrália e da África (MATTOS JUNIOR et al., 2005; AGUIAR et al., 2014). No geral, as plantas cítricas são perenes, de porte mediano (em média 4 m de altura), com ou sem espinhos, e copa densa de formato arredondado. As folhas aparecem unifolioladas ou geralmente trifolioladas, são verdes, lustrosas e aromáticas; e o pecíolo pode ser alado. As flores e botões florais são aromáticas, não têm escamas protetoras, e surgem normalmente no final do inverno, início da primavera ou no verão; as pétalas geralmente são brancas, exceto em algumas espécies de limão e lima ácida Taiti, que têm alguma coloração rosa ou roxa. Todos os componentes florais estão normalmente presentes, incluindo sépalas, pétalas, estames e carpelos (flores completas). Os frutos são geralmente ovalados ou alongados; de tamanho variável; cor esverdeado a amarelo ou laranja até um vermelho alaranjado profundo quando maduro. A polpa varia de incipientemente doce a muito ácida, com gotículas de óleo nas vesículas do suco; normalmente, existem de 8 a 18 segmentos, com 0 a 12 sementes em cada segmento (JACKSON; DAVIES, 1999; AGUIAR et al., 2014; LORENZI et al., 2015).

Muitas espécies de *Citrus* apresentam reprodução assexuada por sementes e a propagação das plantas pode ser por semente ou enxertia (MOURÃO FILHO et al., 2002; LORENZI et al., 2015). As plantas cítricas podem viver por mais de 200 anos em condições comerciais em algumas



regiões citrícolas (JACKSON; DAVIES, 1999).

Várias espécies de *Citrus* possuem importância econômica, sendo classificadas em cinco grupos principais, que incluem laranjas doces, tangerinas, toranjas, limões e limas (JACKSON; DAVIES, 1999; MORTON, 2009). Os principais produtores de citros ao redor do mundo são China, Índia, Brasil e Estados Unidos. A área plantada e quantidade produzida de citros em 2019 foram 2.879.238 ha e 44.063.061 t na China, 1.073.000 ha e 14.013.000 t na Índia, 703.337 ha e 19.652.788 t no Brasil, e 278.802 ha e 7.230.854 t nos Estados Unidos (FAOSTAT, 2020).

Além da importância econômica, os citros são importantes para alimentação e saúde humana. Consumir a polpa e o suco de frutas cítricas fornece ao ser humano vitamina C, vitamina A e complexo B, além de sais minerais, principalmente cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro (MATTOS JUNIOR et al., 2005). O consumo de uma unidade de laranja, por exemplo, fornece ao ser humano a quantidade recomendada de dose diária de vitamina C (60 mg). A vitamina C aumenta a proteção contra infecções, tem propriedade cicatrizante e alto poder de proteção antioxidante. Consumir frutas cítricas também ajuda ou facilita a função intestinal por causa do alto teor de fibras solúveis encontradas na polpa e no bagaço. A pectina presente no bagaço da fruta ajuda a prevenir o câncer e a baixar o colesterol; e o cálcio ajuda a manter uma boa estrutura óssea, muscular e sanguínea. Consumir o suco de laranja diariamente pode aumentar o colesterol bom (HDL) e diminuir o colesterol ruim (LDL), além de ajudar a prevenir algumas doenças do coração devido as ações dos seus antioxidantes (NEVES et al., 2009).

Os citros chegaram ao Brasil no século XVI, trazidos pelos portugueses durante a colonização. No Brasil, os citros são representados principalmente por laranjas (*C. sinensis*), tangerinas (*C. reticulata* Blanco), mexericas (*C. deliciosa* Ten.), limões [*C. limon* (L.) Osbeck], limas ácidas como a Tahiti (*C. latifolia* Tanaka) e doces como a lima da Pérsia [*C. aurantifolia* (Christm.) Swingle], pomelo (*C. paradisi* Macfad.), cidra (*C. medica* L.), laranja-azeda (*Citrus x aurantium* L.) e toranjas [*C. grandis* (L.) Osbeck] (AGUIAR et al., 2014).

A importância socioeconômica dos citros é notável. Mas mesmo com todo o potencial, no Brasil, ocorrem perdas significativas de frutas cítricas, podendo chegar em alguns casos à totalidade. Essas perdas estão associadas principalmente aos problemas fitossanitários como doenças, ácaros e insetos. Algumas das principais doenças dos citros no Brasil são o cancro cítrico (*Xanthomonas citri*), a CVC ou amarelinho (*Xylella fastidiosa*), o greening (*Candidatus Liberibacter asiaticus* e *Candidatus Liberibacter americanus*), a pinta preta (*Guignardia*

*citricarpa*) e o vírus-da-tristeza-dos-citros (*Citrus tristeza vírus*). Entre os ácaros, se destacam o ácaro-da-falsa-ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora* Ashmead) e o ácaro da leprose [*Brevipalpus phoenicis* (Geijskes)]. Entre os insetos, se destacam o bicho-furão (*Ecdytolopha aurantiana* Lima), as brocas (exemplo *Cratosomus flavofasciatus* Guérin), as cochonilhas (exemplo *Orthezia praelonga* Douglas), os pulgões [exemplo (*Toxoptera*) *citricidus* (Kirkaldy)], a mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) (MALAVOLTA et al., 1994; LEMOS et al., 2004; SANTOS FILHO et al., 2005; NEVES et al., 2009) e as moscas-das-frutas *A. fraterculus* e *C. capitata* que são consideradas as principais pragas dos citros (RAGA, 2005).

### 3.3.1 Laranja cv. Pera

A laranja cv. Pera (*C. sinensis*) (Figura 4) é uma árvore perenifólia, espinescente, de 5 a 10 m de altura, nativa possivelmente do Sul da China e Nordeste da Índia (LORENZI et al., 2015). A planta apresenta folhas subcoriáceas, glabras e lustrosas, aromáticas, com 9,93 cm de comprimento médio (variando de 7 a 15 cm) e 5,43 cm de largura média. O pecíolo foliar é largo com 0,56 cm de largura e variavelmente alado. As flores são formadas geralmente entre agosto e setembro; são perfumadas; podem surgir individualmente ou em grupo de 2 a 6; apresentam cálice persistente, com sépalas de coloração verde clara e pétalas de coloração branca de textura fina. Geralmente, as pétalas são maiores que as sépalas e apresentam ápice agudo e a base truncada (DONADIO et al., 1995; LORENZI et al., 2015). Os frutos têm formato alongado, são globosos ou subglobosos, apresentaram em média 7,29 cm de comprimento, 7,04 cm de diâmetro, 191,9 g de massa e 50,9% de rendimento de suco, e sua maturação ocorre geralmente do inverno ao verão no hemisfério Sul. A casca da fruta é lisa, fina, com espessura média de 0,44 mm (variando de 0,43 a 0,45 mm), é aromática e de coloração amarela quando maduro. A polpa é suculenta, subácida a doce, com 10 a 14 gomos, geralmente com sementes, além de 3,68 de pH, 0,69% de acidez titulável, 11,33 °Brix (sólidos solúveis), 16,35 de ratio (sólidos solúveis/acidez titulável) e 53,73 mg 100 g<sup>-1</sup> de vitamina C sob sistema de cultivo convencional (SIMÕES JUNIOR et al., 1999; AGUIAR et al., 2014; LORENZI et al., 2015; COELHO et al., 2019).

A laranja cv. Pera tem destaque entre as cultivares de laranjas, sendo considerada a mais produzida e de maior importância econômica no Brasil (DONADIO et al., 1995; COELHO et al., 2019). Em 2019 a laranja representou 41,7% da produção de frutas (40.914.808 t) e 24,5% do valor



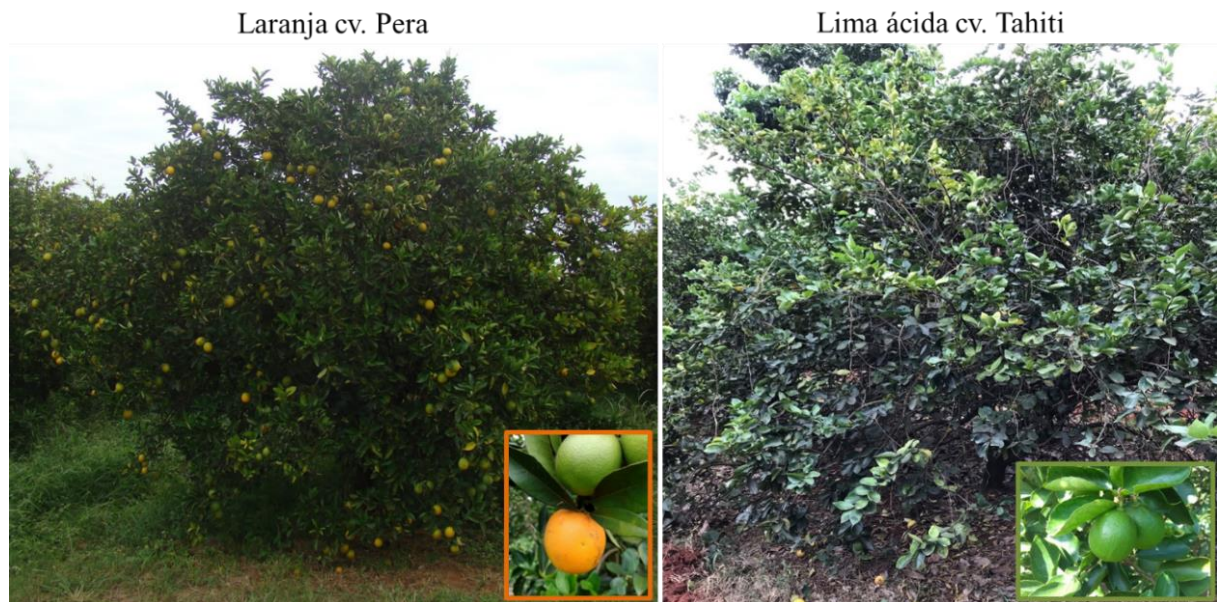
total da produção de frutas (R\$ 38,734 bilhões) no Brasil. Foram produzidas 17.073.593 t de laranja em 592.814 ha de área plantada, com rendimento médio de 28.957 kg/ha e valor de produção de R\$ 9,510 bilhões. O Estado de São Paulo também foi destaque na produção de laranja em 2019. Foram 13.256.246 t em 377.966 ha de área plantada, com rendimento médio de 35.145 kg/ha e valor de produção de R\$ 6,950 bilhões (IBGE, 2019). A laranja é uma fruta importante exportada pelo Brasil. Em 2020 foram exportados 6.959.368 kg com valor de US\$ 4.295.105. Esses dados representaram 0,67% da exportação em peso e 0,49% do valor da exportação de frutas frescas, secas e processadas (ABRAFRUTAS, 2020).

### 3.3.2 Lima ácida cv. Tahiti

A lima ácida cv. Tahiti (*C. latifolia*) (Figura 4) é uma árvore perenifólia, de poucos espinhos, com 4 a 6 m de altura e ramos geralmente pêndulos. Sua origem é desconhecida, mas muitos pesquisadores teorizam que a lima ácida cv. Tahiti seja um híbrido de *C. aurantifolia* e *C. medica*. Sua origem híbrida fica mais clara por conta das suas características, como constituição triploide, mono-embriônico, de pólen estéril e fruto geralmente sem semente (DONADIO et al., 1995; LUCHETTI et al., 2003; LORENZI et al., 2015). O nome Tahiti provavelmente veio por conta dessa planta ter sido introduzida na Califórnia, Estados Unidos, através do Tahiti entre os anos de 1850 e 1880 (DONADIO et al., 1995). A planta apresenta folhas simples, coriáceas, glabras e lustrosas, 9,47 cm de comprimento médio, 5,57 cm de largura média, área foliar de cor verde escuro, e o pecíolo alado com média de 1,01 cm de comprimento e 0,24 cm de largura. As flores e botões são levemente tingidos de púrpura, dispostos em racemos terminais curtos. O florescimento pode ocorrer várias vezes ao ano, mas ocorre principalmente entre julho e setembro (DONADIO et al., 1995; LORENZI et al., 2015). Os órgãos masculinos e femininos da flor são praticamente estéreis e dão origem a frutos partenocárpicos. As frutas são ligeiramente ovaladas, desprovidas de sementes, com curto mamilo no ápice, apresentaram em média 5,77 cm de comprimento, 5,02 cm de diâmetro, 72,9 g de massa e 39,4% de rendimento de suco. Da florada a colheita são necessários cerca de 100 a 120 dias e a maturação dos frutos geralmente ocorre de dezembro a abril. A casca do fruto tem espessura média de 3,02 mm, é aromática e de cor verde a amarelada quando maduro, e apresenta vesículas de óleo deprimidas. A polpa da fruta é succulenta, tem textura firme, cor amarelo-esverdeada, e muito ácida quase sem açúcar. A polpa possui em média 1,90 de pH, 5,77%

de acidez titulável, 8,92 °Brix, 1,56 de Ratio e 27,97 mg 100 g<sup>-1</sup> de vitamina C (DONADIO et al., 1995; SOUZA et al., 2003; MIRANDA; CAMPELO JUNIOR, 2010; AGUIAR et al., 2014; LORENZI et al., 2015).

A lima ácida cv. Tahiti é uma fruta de importância econômica e uma das principais frutas exportadas pelo Brasil. Em 2019 os limões e limas representaram 3,7% da produção de frutas (40.914.808 t) e 4,0% de valor total da produção de frutas (R\$ 38,734 bilhões) no Brasil. Foram produzidas 1.511.185 t de limões e limas em 56.664 ha de área plantada, com rendimento médio de 26.751 kg/ha e valor de produção de R\$ 1,570 bilhão. Somente no Estado de São Paulo foram produzidos em 2019 cerca de 1.117.348 t em 30.580 ha de área plantada, com rendimento médio de 36.559 kg/ha e valor de produção de R\$ 1,105 bilhão (IBGE, 2019). Os limões e limas, representados principalmente pela lima ácida cv. Tahiti, aparecem entre as quatro primeiras frutas mais exportados pelo Brasil. Em 2020 foram exportados 119.427.465 kg com valor de US\$ 101.948.059. Esses dados representaram 11,62% da exportação em peso e 11,63% do valor da exportação de frutas frescas, secas e processadas (ABRAFRUTAS, 2020).



**Figura 4** - Laranja cv. Pera (*C. sinensis*) e lima ácida cv. Tahiti (*C. latifolia*) em pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro; M. F. Souza-Filho.

### 3.3.3 Óleos essenciais de citros

Os óleos essenciais (OEs) são líquidos oleosos geralmente aromáticos, límpidos, raramente coloridos, de alta volatilidade que estão presentes nas plantas como metabólitos secundários (TEIXEIRA et al., 2014; RÍOS, 2016). RÍOS (2016) elaborou um compilado de informações buscando definir os OEs. O autor completa, que os OEs são misturas complexas formadas por vários componentes (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos e fenóis) e são geralmente líquidos e incolores, mas podem ser sólidos e levemente amarelados, além de serem facilmente absorvidos pela pele, e apresentarem densidade baixa, geralmente menor que a densidade da água.

Os OEs podem ser extraídos da planta inteira ou de partes da planta, como folhas, flores, sementes, casca, frutas, raízes, galhos e madeira (HYLDGAARD et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2014; RÍOS, 2016). Geralmente, os OEs são extraídos das plantas por meio da técnica de arraste a vapor d'água, pois essa técnica minimiza as perdas dos componentes dos OEs por serem muito voláteis (BIZZO et al., 2009; RÍOS, 2016). A prensagem do pericarpo de frutas (prensagem a frio) é a técnica mais usada para extração de OE de frutas cítricas. A técnica de prensagem é muito usada em países produtores de frutas cítricas, como é o caso do Brasil, pois essa técnica está associada principalmente à indústria de suco (BIZZO et al., 2009). A avaliação e identificação dos componentes do OE é geralmente realizada com o auxílio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, uma coluna capilar e um separador (RÍOS, 2016). Os OEs podem conter entre 20 e 60 componentes em diferentes concentrações. Mas na maior parte, existem dois ou três componentes que são majoritários por apresentarem concentrações elevadas em relação aos demais componentes (TEIXEIRA et al., 2014). O volume, a composição e as concentrações em cada OE podem variar em relação às condições climáticas, a espécie de planta, genótipo e estágio de maturação da fruta (MORAIS, 2009; BOURGOU et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013; 2014). Entretanto, o limoneno é geralmente o componente majoritário nos OEs de citros (AMORIM et al., 2016; SIMAS et al., 2017).

Os OEs cítricos são conhecidos por apresentarem aromas peculiares. No caso específico do OE da casca de laranja doce (*C. sinensis*) e de lima ácida Tahiti (*C. latifolia*), o aroma tem sido relacionado ao limoneno, que é o componente químico majoritário nesses OEs. Este monoterpeneo ( $C_{10}$ ) possui um carbono assimétrico (com quatro substituintes diferentes) que confere à molécula a propriedade de desviar o plano da luz polarizada, produzindo dois isômeros óticos: o isômero R-(+)-limoneno e o isômero S-(-)-limoneno. Em relação às características organolépticas, associa-se

o isômero R-(+)-limoneno ao aroma de laranja e o isômero S-(-)-limoneno ao aroma de terebentina (LASKA; TEUBNER, 1999). É comum o aroma de limão ser associado ao isômero S-(-)-limoneno, no entanto, BONACCORSI et al. (2011), estudaram a distribuição enantiomérica de componentes voláteis de OEs de várias espécies de citros (*C. deliciosa*, *C. limon*, *Citrus × bergamia* Risso & Poit., *C. aurantifolia*, *C. latifolia*, *C. sinensis* e *C. aurantium*) e observaram que em todas as espécies estudadas o isômero majoritário foi o R-(+)-limoneno (97,0 a 99,5%). O isômero S-(-)-limoneno é encontrado principalmente em espécies de *Mentha* (MARÓSTICA JÚNIOR; PASTORE, 2007) e o isômero R-(+)-limoneno é o mais abundante na natureza com teor acima de 90% no OE da casca de laranja. O isômero R-(+)-limoneno é um subproduto da indústria de suco, é produzido a baixo custo em larga escala e é empregado em indústrias de aromas e fragrâncias (BICAS et al., 2008).

São conhecidos cerca de 3.000 OEs no mundo, 300 deles são de importância econômica, sendo OE de laranja o mais importante por apresentar ampla produção, comercialização e diversidade em aplicações (BIZZO et al., 2009). As aplicações dos OEs incluem, principalmente, o uso na culinária, sanidade alimentar, na medicina, aromaterapia e na fabricação de perfumes e cosméticos (RÍOS, 2016). Na agricultura, o uso dos OEs vem se destacando por serem considerados “pesticidas verdes” ou inseticidas botânicos (ISMAN, 2006; KOUL et al., 2008) e apresentarem considerável efeito tóxico em mamíferos, insetos (KOUL et al., 2008), ácaros (TAK; ISMAN, 2017) e fitopatógenos (KOUL et al., 2008; SIMAS et al., 2017) considerados pragas. Além disso, os OEs podem ser usados como repelentes de insetos (KOUL et al., 2008; CONTI et al., 2012) e ácaros (CAMARA et al., 2015), como deterrentes de oviposição (KOUL et al., 2008; SINTHUSIRI; SOONWERA, 2014) e alimentação (antifeedant) (ISMAN, 2006), no comportamento sexual e como atraente de moscas-das-frutas (LEVINSON et al., 1990; NIOGRET et al., 2017; SEGURA et al., 2018).

### **3.4 Relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira**

Para entender sobre a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira, primeiramente vamos entender a definição de hospedeiro de mosca-das-frutas. A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) por meio da Convenção Internacional de Proteção de Plantas publicou a Norma Internacional de Medida Fitossanitária 37 intitulada “Determinação do status de

hospedeiro da fruta para mosca-das-frutas”, no qual as plantas potenciais hospedeiras de moscas-das-frutas são classificadas em hospedeiro natural, hospedeiro condicional e não hospedeiro. Um hospedeiro natural é definido como uma espécie de planta ou cultivar (fruta ou vegetal) que foi infestada por uma espécie de mosca-da-fruta em condições naturais (sem interferência do homem) e essa planta foi capaz de sustentar o desenvolvimento dos imaturos até o surgimento de moscas adultas viáveis. Um hospedeiro condicional é uma espécie de planta ou cultivar que não é um hospedeiro natural, mas que foi descoberto por testes científicos em condições seminaturais de campo (com interferência do homem), como por exemplo, infestação forçada em gaiolas de campo, estufas, ou em galhos ensacados ou com frutos ensacados; mas mesmo em condições seminaturais, essa planta deve permitir o desenvolvimento dos imaturos até o estágio adulto (viável). Um não hospedeiro é uma espécie de planta ou cultivar que nunca foi observada infestação tanto em condições naturais (sem interferência do homem) quanto seminaturais (com interferência do homem) ou que não permita o desenvolvimento dos imaturos até o surgimento de adultos viáveis (COWLEY et al., 1992; FAO, 2016; FOLLETT et al., 2021).

A relação entre mosca e hospedeiro se inicia quando a fêmea realiza a punctura e oviposição na fruta, onde posteriormente, as larvas frugívoras eclodem e se desenvolvem nos tecidos da fruta, para em seguida formarem pupas que darão origem a adultos (ALUJA; MANGAN, 2008). Portanto cabe a fêmea de mosca-das-frutas a responsabilidade de encontrar um fruto que permita ou maximize a sobrevivência e o desenvolvimento da prole até o estágio adulto (COSTA et al., 2011). Isso com base na hipótese de associação entre a preferência de oviposição da fêmea e o valor nutricional do fruto para alimentação das larvas (THOMPSON, 1988; BALAGAWI et al., 2005; 2013), pois em geral, os frutos com maior taxa de infestação (número de ovos/fruto) são os melhores em fornecer nutrientes para o desenvolvimento dos estádios imaturos (COSTA et al., 2011). Portanto, a relação entre mosca frugívora e fruto hospedeiro é necessária para que as moscas completem o seu ciclo de vida, e em seguida possam iniciar um novo ciclo. No entanto, os mecanismos e associações envolvidas na escolha de um hospedeiro por uma espécie de mosca-das-frutas ainda são desconhecidos, pouco estudados ou pouco compreendidos (ALUJA; PROKOPY, 1992; ALUJA; MANGAN, 2008).

Geralmente uma mosca-das-frutas encontra e se orienta em direção à planta hospedeira em resposta aos compostos químicos e estímulos visuais emitidos pelas plantas (PROKOPY; ROITBERG, 1984; LEVINSON et al., 1990; ALUJA; PROKOPY, 1992; DÍAZ-FLEISCHER et

al., 2000; LIMA-MENDONÇA et al., 2014). Esses compostos químicos ou semioquímicos são substâncias químicas, como feromônios, alomônios, kairomônios sinomônios e apneumônios, que atuam como sinais que influenciam o comportamento e/ou processos fisiológicos sem nenhum efeito fisiológico direto além da interação com sistemas sensoriais (HICK et al., 1999). Os semioquímicos voláteis, que normalmente sinalizam a uma certa distância por interação com as sensilas presentes nas antenas, são usados por moscas-das-frutas e outros insetos para encontrar parceiros de cópula, para agregação e interações sociais e para localização de hospedeiros (HICK et al., 1999; LIMA-MENDONÇA et al., 2014; GALDINO; RAGA, 2016; ONO et al., 2021). Por exemplo, a amônia e o dióxido de carbono, que são liberados principalmente quando as frutas estão no estágio maduro ou em decomposição, são altamente atrativos para moscas-das-frutas (KENDRA et al., 2005a; 2005b). Outro exemplo de atrativo é a proteína, que é necessária para a reprodução e maturação dos ovos de moscas-das-frutas (FONTELLAS-BRANDALHA; ZUCOLOTO, 2004). Além disso, os semioquímicos voláteis podem ajudar as moscas-das-frutas a evitar predadores e não hospedeiros, e podem atuar como deterrentes (similar a repelente) à oviposição (HICK et al., 1999).

Os semioquímicos voláteis e estímulos visuais emitidos pelas plantas são as fontes iniciais recebidas por uma mosca-das-frutas que a ajudam a encontrar um hospedeiro a certa distância. Após a mosca encontrar a planta ela inicia uma série de processos mais conhecidos por comportamento de oviposição. Alguns dos processos conhecidos dentro do comportamento de oviposição envolvem, principalmente, percorrer toda a superfície da fruta e realizar uma série variada de puncturas de prova ou picadas de prova antes da escolha de oviposição. Esse comportamento de oviposição inicial faz com que a mosca fêmea avalie a cor, textura, forma, tamanho e compostos voláteis liberados pela fruta, e ainda se existe ou não uma experiência prévia com aquele tipo de fruta (LEVINSON et al., 1990; ALUJA; PROKOPY, 1992; DÍAZ-FLEISCHER et al., 2000; PROKOPY; ROITBERG, 1984). Geralmente é esse comportamento de oviposição que determina a escolha ou rejeição da planta (fruta ou vegetal) para oviposição.

O comportamento de oviposição pode ser diferente para cada espécie de mosca frugívora. Portanto, a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira pode variar para cada espécie de mosca em relação a cada espécie de fruta (SOUSA et al., 2020). Em espécies de moscas polífagas a variação no comportamento de oviposição pode ser ainda maior por conta da falta ou carência na discriminação entre hospedeiros e não hospedeiros (KRAINACKER et al., 1987). Assim as moscas

polífagas podem ovipositar em substratos de desenvolvimento larval que forneçam o mínimo ou nenhum nutriente necessário para o desenvolvimento dos imaturos (FONTELLAS-BRANDALHA; ZUCOLOTO, 2004), dificultando ou inviabilizando que eles cheguem até o estágio adulto. No entanto, a falta ou carência na discriminação entre hospedeiros e não hospedeiros pode fazer com que as larvas possam se adaptar a novos hospedeiros (KRAINACKER et al., 1987) e completem o seu ciclo de vida.

Além do comportamento de oviposição, a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira pode ser influenciada por condições climáticas (VAYSSIÈRES et al., 2009), presença de inimigos naturais (PRICE et al., 1980), competição inter e intraespecíficas das moscas (VARGAS; CAREY, 1990; VARGAS et al., 1995), disponibilidade de frutas hospedeiras (PUZZI; ORLANDO, 1965; RONCHI-TELES; SILVA, 2005), estágio de maturação e fenologia da fruta (BISOGNIN et al., 2015; CUGALA et al., 2017) e características físico-químicas da fruta (BALAGAWI et al., 2005; BISOGNIN et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014). Além dessas, características peculiares de algumas frutas são consideradas mecanismos de defesa ou resistência à infestação e desenvolvimento da moscas-das-frutas. Os exemplos mais conhecidos desses mecanismos de defesa são a presença de dutos de resina em manga (*Mangifera indica* L.) (GUILLÉN et al., 2017), camadas de látex em mamão (*Carica papaya* L.) (CUGALA et al., 2017) e a presença de bolsas ou glândulas de OE na casca dos citros (GREANY et al., 1983; DIAS et al., 2017).

Diversos fatores podem influenciar a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira. Por esse e outros motivos geralmente se usa o termo status hospedeiro de uma fruta. O status hospedeiro caracteriza a variação de uma espécie de planta como um hospedeiro ou não hospedeiro para determinada espécie de mosca frugívora. O status hospedeiro também mostra a condição e o grau de importância relativa de uma espécie de planta para cada mosca frugívora, que pode variar no tempo e espaço (SOUSA; RAGA, 2018). Por exemplo, uma espécie de fruta pode não ser um hospedeiro quando ele está no estágio de maturação verde, mas esse pode se tornar um hospedeiro nos estágios fenológicos seguintes (algum tempo depois) (BISOGNIN et al., 2015). O status hospedeiro depende também da sincronia temporal entre disponibilidade de frutas e a incidência de moscas-das-frutas em campo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Locais de estudo

Os experimentos de campo foram realizados na zona rural dos municípios de Campinas e Mogi Mirim, São Paulo, Brasil. Em Campinas, Sítio Maracujá, os experimentos foram conduzidos em pomar de goiaba (controle positivo) [22°59'40,81"S (Lat.) e 47°5'39,64"O (Long.)] cv. Tailandesa de aproximadamente 5 ha, com plantas de 7 anos e espaçamentos entre plantas e entre linhas de 3 x 5,5 m. O produtor tratava as plantas com poda com intervalo de três a quatro meses e irrigação a cada dois dias. O produtor ensacava as frutas individualmente com saquinhos de papel, retirava frutas extemporâneas, e utilizava agentes de controle biológico e produtos químicos para manejo/controle de moscas-das-frutas.

Em Mogi Mirim, Fazenda Guadalupe, os experimentos foram conduzidos em pomares de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti. No pomar de laranja [22°30'51,99"S (Lat.) e 47°1'2,88"O (Long.)] havia dois talhões com plantas de 25 anos e outros dois talhões com plantas de 5 anos, ambos com espaçamentos entre plantas e entre linhas de 3 x 6 m. No pomar de lima ácida [22°31'28,75"S (Lat.) e 47°0'52,36"O (Long.)] os espaçamentos entre plantas e entre linhas foram de 4 x 7 m. O produtor de citros utilizava rotação de produtos químicos como principal método para manejo/controle de moscas-das-frutas no pomar de laranja.

### 4.2 Criação de moscas-das-frutas

Foram usadas *A. fraterculus* e *C. capitata* mantidas na colônia de moscas-das-frutas do Laboratório de Entomologia Econômica do Instituto Biológico (LEE-IB), Campinas, São Paulo, Brasil. Os adultos de ambas as espécies foram alimentados com água e dieta artificial (RAGA; VIEIRA, 2015; RAGA et al., 2018) e mantidos em gaiolas de acrílico e tela (2 mm) (Figura 5) sob condições controladas de temperatura ( $25 \pm 1$  °C), umidade relativa ( $70 \pm 10\%$ ) e fotoperíodo (12h dia/noite). Nos experimentos foram usadas fêmeas de *A. fraterculus* com 11 a 16 dias e fêmeas de *C. capitata* com 8 a 14 dias ambas sexualmente maduras.





**Figura 5** - Gaiolas de criação de *A. fraterculus* (A) e *C. capitata* (B) mantidas na colônia de moscas-das-frutas do Laboratório de Entomologia Econômica, Instituto Biológico, Campinas, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro.

### 4.3 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta

Foram conduzidos diversos experimentos de campo e laboratório para determinar o status hospedeiro de laranjas e limas ácidas em relação ao estágio de maturação das frutas. Goiabas foram usadas como controle positivo. Os dados das características físicas e físico-químicas das frutas, incidência de moscas no campo, infestação forçada de frutas e a toxicidade de óleos essenciais (OEs) presentes na casca dos citros foram compilados. A compilação desses dados permitiu avaliar a relação entre mosca e fruta hospedeira e o status hospedeiro dos citros.

#### 4.3.1 Caracterização física e físico-química das frutas

Nos experimentos de laboratório e campo foram usadas laranjas, limas ácidas e goiabas em três estádios de maturação. As laranjas (La) e limas ácidas (Li) foram coletadas na Fazenda Guadalupe em Mogi Mirim e as goiabas (Go) no Sítio Maracujá em Campinas, São Paulo, Brasil. No laboratório as frutas foram medidas (comprimento e diâmetro), pesadas e lavadas antes dos experimentos. Todas as frutas foram separadas nos seguintes estádios de maturação: fruta verde (V), fruta intermediária (I) e fruta madura (M) de acordo com suas medidas e cor da casca.

As avaliações física e físico-química das frutas foram realizadas no Laboratório de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucareiros da FEA-UNICAMP, Campinas, SP, Brasil; e no Laboratório de Fisiologia e Pós-colheita do IAC, Campinas, SP, Brasil. A caracterização morfológica da casca dos

citros foi realizada no Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.

#### ***4.3.1.1 Determinação do pH e acidez titulável***

O pH e acidez titulável de laranjas, limas ácidas e goiabas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro foram determinados. Foram usadas seis frutas de cada estágio de maturação sendo cada fruta uma repetição. Foi utilizado um pHmetro (TEC-2, Tecnal) calibrado com solução tampão com sensibilidade  $\geq$  a 95%. Foram separados 10 g de suco dos citros ou 10 g de goiaba (casca + polpa) em um béquer de 200 mL onde foram adicionados 90 mL de água destilada. O béquer ficou sobre um agitador e em seguida o eletrodo foi adicionado na solução contida no béquer para medir o pH. A acidez foi determinada pela titulação com solução de NaOH de 0,5 (M) para laranja, 0,2 (M) para lima ácida e 0,1 (M) para goiaba até atingir pH 8,1 a 8,2.

#### ***4.3.1.2 Determinação dos sólidos solúveis e ratio***

Os sólidos solúveis foram determinados por refratômetro e expressos em °Brix. Foi utilizado um refratômetro digital (PR-101 $\alpha$ , Atago). Para a análise foi utilizada uma pequena quantidade de suco (laranja e lima ácida) ou substrato de goiaba (casca + polpa) que foi envolvido em algodão. O algodão com o material foi pressionado até que uma ou duas gotas caíssem no prisma do refratômetro e posteriormente foi feita a leitura. Foram usadas seis frutas de cada estágio de maturação sendo cada fruta uma repetição. O ratio foi determinado dividindo o valor dos sólidos solúveis pelo valor da acidez titulável para cada repetição.

#### ***4.3.1.3 Determinação da firmeza***

Foi utilizado um penetrômetro digital PCE-PTR Instrument com ponteira de 6 mm e penetração de 6 mm para medir a firmeza de laranjas, limas ácidas e goiabas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro. Foram usadas 10 frutas de cada estágio de maturação, totalizando 30 frutas de cada espécie. Cada fruta foi perfurada, sem a retirada prévia da casca, em dois pontos opostos na região equatorial da fruta. Os resultados foram representados em força (N) necessária para perfurar a casca e polpa das frutas. A média dos dois pontos de perfuração

representou uma fruta e cada fruta foi considerada uma repetição.

#### ***4.3.1.4 Determinação da cor da casca***

Para determinar a cor da casca das frutas foi usado colorímetro MiniScan Hunterlab (D65/10°) sistema CIE L\* a\* b\*. Os valores de a\* [verde (-) ao vermelho (+)], b\* [azul (-) ao amarelo (+)], luminosidade [L (preto = 0 ao branco = 100)] e ângulo Hue, que indica a tonalidade da cor e é calculado pela fórmula  $Hue = \text{tg}^{-1} (b / a)$ ; foram medidos em laranjas, limas ácidas e goiabas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro. Foram usadas 4 frutas de cada estágio de maturação, cada fruta foi avaliada em dois pontos opostos na região equatorial da fruta. A média dos dois pontos representou uma fruta e cada fruta foi considerada uma repetição.

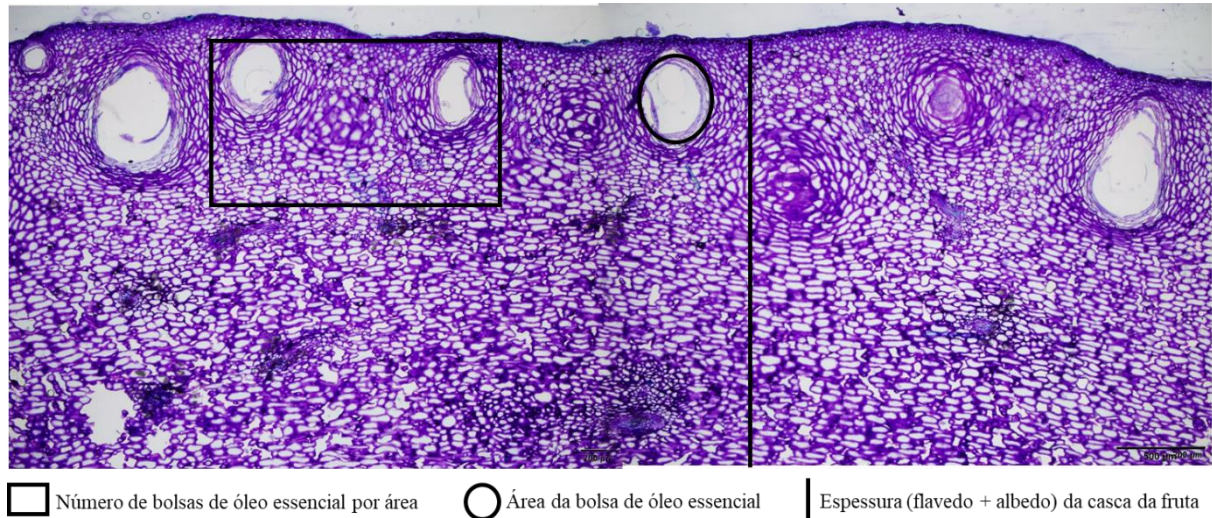
#### ***4.3.1.5 Determinação da vitamina C***

A vitamina C foi determinada segundo a metodologia de CARVALHO et al. (1990), que se baseia na redução do indicador 2,6-diclorobenzenoindofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. Foram avaliadas 6 frutas de laranjas, limas ácidas e goiabas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro, sendo cada fruta uma repetição. O resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca.

#### ***4.3.1.6 Caracterização morfológica da casca de laranja e lima ácida***

Foram coletadas em Mogi Mirim laranjas e limas ácidas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro para montagem de lâminas histológicas. Foi retirado da região equatorial das frutas, um pedaço de aproximadamente 4 cm da casca (flavedo + albedo + polpa). Os pedaços das frutas foram fixados em FAA (formaldeído, ácido acético e álcool etílico) por 24h; desidratados em etanol 70, 96 e 100%; pré-infiltrados em etanol 100% + solução de infiltração; infiltrados em solução de infiltração (resina líquida + pó ativador); polimerizados em solução de infiltração + Hardener (endurecedor); montados em blocos; seccionados usando micrótomo rotativo; e por fim o material foi colorido com azul de toluidina a 0,05%. Foram montadas 10 lâminas com três cortes de 10 µm para cada estágio de maturação de laranja e lima ácida. Cada lâmina representou uma fruta e cada fruta foi considerada uma repetição.

Foi usada uma câmera Quick Start (Software Capture versão 2.0) acoplada ao microscópio estereoscópio (Zeiss – Stemi 2000-C) para avaliar as medidas de espessura da casca (flavedo + albedo), o número de bolsas de OE por área (3 mm<sup>2</sup>) e a área das bolsas de OE (Figura 6) de laranja verde (LaV), laranja intermediária (LaI), laranja madura (LaM), lima ácida verde (LiV), lima ácida intermediária (LiI) e lima ácida madura (LiM).



**Figura 6** - Lâmina histológica da casca de laranja cv. Pera exemplificando o método de contagem de bolsas de OE por área, área da bolsa de OE e espessura da casca (flavedo + albedo). Foto: L. R. F. Louzeiro; E. M. Sousa.

#### 4.3.2 Incidência de moscas-das-frutas em pomar de citros

A incidência de moscas-das-frutas foi avaliada com armadilhas e amostragem de frutas. A identificação das espécies de moscas e a avaliação dos índices de infestação foram outros requisitos importantes do monitoramento que estão presentes neste estudo.

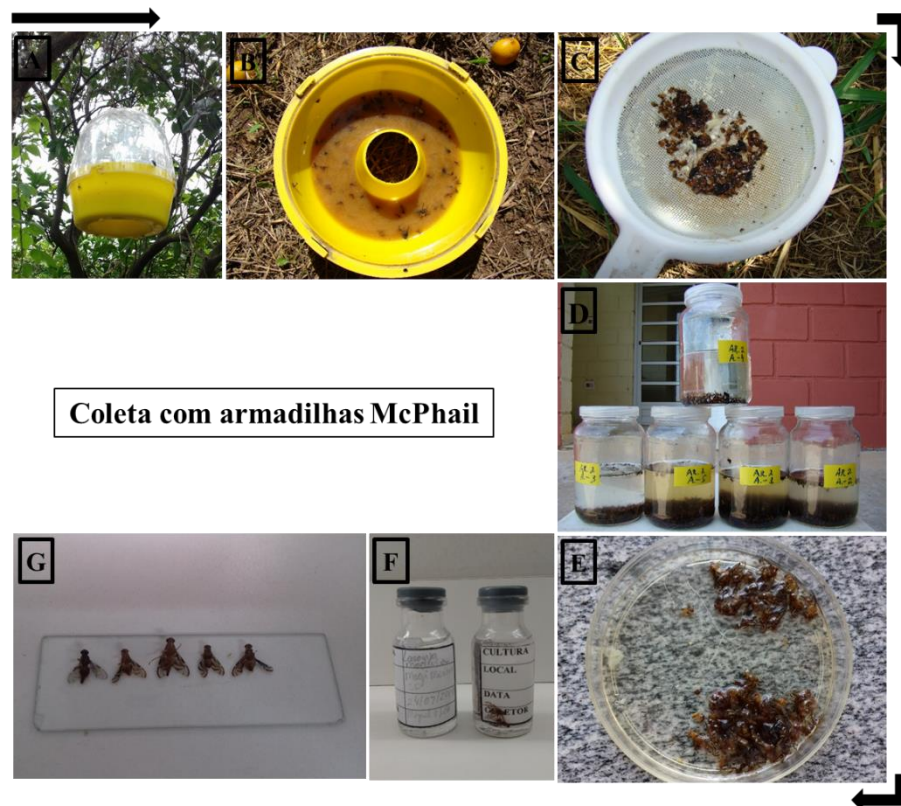
##### 4.3.2.1 Armadilhas

Foram instaladas seis armadilhas McPhail de base amarela nos pomares de laranja e lima ácida com 300 ml de atrativo alimentar Ceratrap® durante os meses de maio a julho de 2019. Todas as armadilhas foram identificadas para registro de suas informações. Os insetos recuperados foram separados com pincel e peneira, depositados em potes de vidro etiquetados contendo água e levados ao Laboratório de Entomologia Econômica do Instituto Biológico para triagem (Figura 7). No

laboratório, as moscas foram contadas, separadas por sexo e colocadas em frascos de vidro etiquetados contendo etanol 70% para posterior identificação específica. Neste estudo, foram selecionadas apenas as moscas frugívoras das famílias Tephritidae e Lonchaeidae.

As armadilhas foram usadas para verificar a presença e a diversidade de espécies de moscas frugívoras, avaliar a flutuação populacional e relacionar as moscas recuperadas em armadilhas com as moscas recuperadas das amostras de frutas. A flutuação populacional das moscas foi avaliada pelo índice MAD (Mosca/Armadilha/Dia), de acordo com a fórmula:

- Índice MAD =  $\frac{M}{\frac{A}{D}}$ ; onde, M é o número de moscas-das-frutas capturadas (machos e fêmeas de cada gênero), A é o número de armadilhas instaladas e D é o número de dias de exposição das armadilhas no campo (ARAUJO et al., 2008).

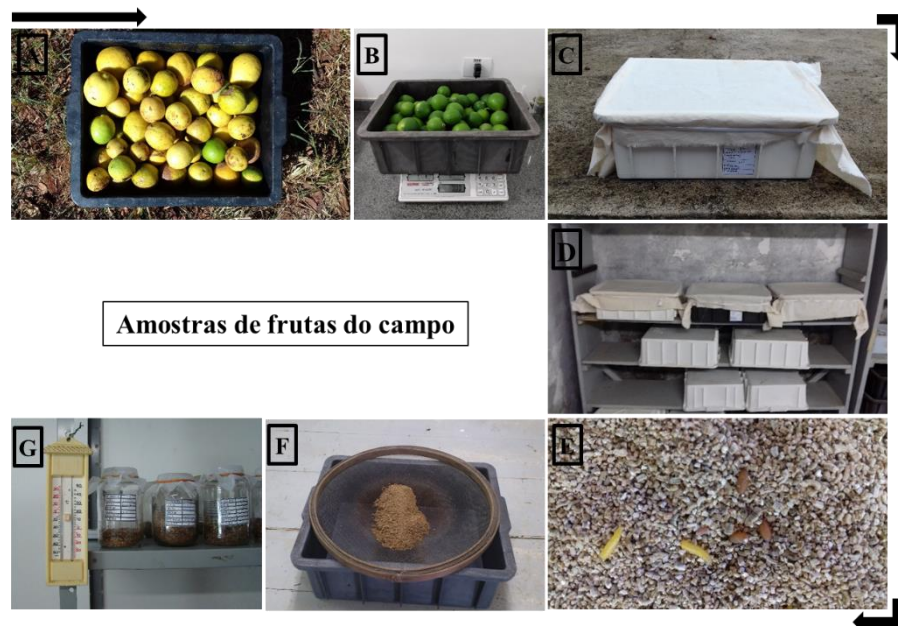


**Figura 7** - Armadilha McPhail no campo (A), insetos recuperados em armadilha (B), separação dos insetos com peneira (C), transporte dos insetos em potes de vidro contendo água (D), triagem das moscas-das-frutas (E), armazenamento das moscas em frascos de vidro com etanol 70% (F) e preparação para identificação específica das moscas (G). Foto: L. R. F. Louzeiro.



#### 4.3.2.2 Amostragem de frutas em campo

Foram coletadas laranjas e limas ácidas nos estádios intermediário e maduro (LaI, LaM, LiI e LiM) durante os meses de maio a julho de 2019 e de fevereiro a abril de 2021. O número de frutas por amostra foi variável e dependeu da sua disponibilidade em campo. Frutas no estágio verde não foram coletadas devido a sua baixa disponibilidade em campo. As amostras foram separadas por espécie frutífera e estágio de maturação em caixas plásticas (60 x 40 x 20 cm) usadas para transportar até ao laboratório. No laboratório, as frutas foram pesadas e armazenadas em caixas plásticas identificadas contendo vermiculita esterilizada na sua base. As caixas foram cobertas com tecido que foi preso por elásticos. Com um intervalo de 15 dias, durante 45 dias de armazenamento das frutas, a vermiculita foi peneirada para separação das pupas de moscas frugívoras. As pupas foram contadas e armazenadas em potes de vidro (500 mL) contendo vermiculita umedecida em uma sala (3,5 x 2,9 x 2,1 m) em condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (Figura 8). Os adultos recuperados foram depositados em frascos de vidro etiquetados contendo etanol 70% para posterior identificação específica.



**Figura 8** - Amostra de frutas em caixa plástica (A), avaliação do peso da amostra (B), armazenamento da amostra de fruta em caixa plástica selada com tecido (C), caixas contendo as amostras de frutas em prateleiras (D), larvas e pupas de moscas frugívora em vermiculita (E), separação das pupas utilizando peneira (F) e armazenamento das pupas em potes de vidro sobre condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (G). Foto: L. R. F. Louzeiro.

#### 4.3.2.3 Índices de infestação e viabilidade pupal

Os índices de infestação e viabilidade pupal são importantes indicadores do nível de infestação e preferência hospedeira das moscas-das-frutas, além de permitir estabelecer o status da planta hospedeira quanto a sua suscetibilidade ao ataque desses insetos. Foi avaliado os índices de infestação pupas/fruta e pupas/kg e a porcentagem de viabilidade pupal (SOUZA FILHO et al., 2000; ARAUJO et al., 2005) de acordo com as fórmulas:

- Índice de infestação pupas/fruta =  $\frac{\text{número de pupários recuperados}}{\text{número de frutas da amostra}}$
- Índice de infestação pupas/Kg =  $\frac{\text{número de pupários recuperados}}{\text{massa de cada amostra}}$
- Porcentagem de viabilidade pupal =  $\frac{\text{número de adultos recuperadas de cada amostra} \times 100}{\text{número de pupários de cada amostra}}$

#### 4.3.2.4 Identificação das espécies de moscas

As moscas da família Tephritidae foram separadas por gênero *Anastrepha* e *Ceratitis*. As espécies de *Anastrepha* foram identificadas observando as faixas alares, padrão torácico e as características morfométricas do ápice do acúleo das moscas fêmeas, seguindo a metodologia de ZUCCHI (1978) e as chaves ilustradas de ZUCCHI (2000) e SOUZA FILHO (1999). Os exemplares de *Ceratitis* foram identificados como *C. capitata* que é a única espécie do gênero registrada no Brasil (ZUCCHI; MORAES, 2012). As moscas da família Lonchaeidae foram separadas por sexo, contadas e os machos identificados a nível de espécie seguindo chaves de identificação (McALPINE; STEYSKAL, 1982; STRIKIS; PRADO, 2009).

### 4.3.3 Infestação forçada de frutas em laboratório e campo

#### 4.3.3.1 Infestação individualizada em laboratório

Laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M) foram expostas à infestação individualizada em laboratório seguindo os critérios de separação: espécie de fruta vs. estágio de maturação vs. espécie de mosca (*A. fraterculus* e *C. capitata*). Para a infestação, cada fruta foi depositada em cuba de vidro (6 L) contendo cinco fêmeas de *A. fraterculus* ou *C. capitata* (Figura 9). As cubas foram seladas com tecido *voil* que foi preso

por elástico. No interior das cubas, cada fruta ficou sobre um pote de vidro (500 mL) para evitar o contato entre a fruta a base da cuba. Após 24h de exposição à infestação, as frutas foram retiradas e depositadas individualmente em potes plásticos transparentes (1 L) contendo vermiculita na sua base. Os potes foram selados com tecido e armazenados em sala climatizada com  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 5\%$  de UR. Após 20, 30 e 40 dias de armazenamento das frutas, a vermiculita foi peneirada e as pupas foram depositados em potes de vidro (500 mL) com vermiculita umedecida para esperar a emergência das moscas. Foram expostas à infestação 30 frutas de cada estágio de maturação, totalizando 90 laranjas, 90 limas ácidas e 90 goiabas (controle) para cada espécie de mosca.

#### **4.3.3.2 Infestação individualizada em campo**

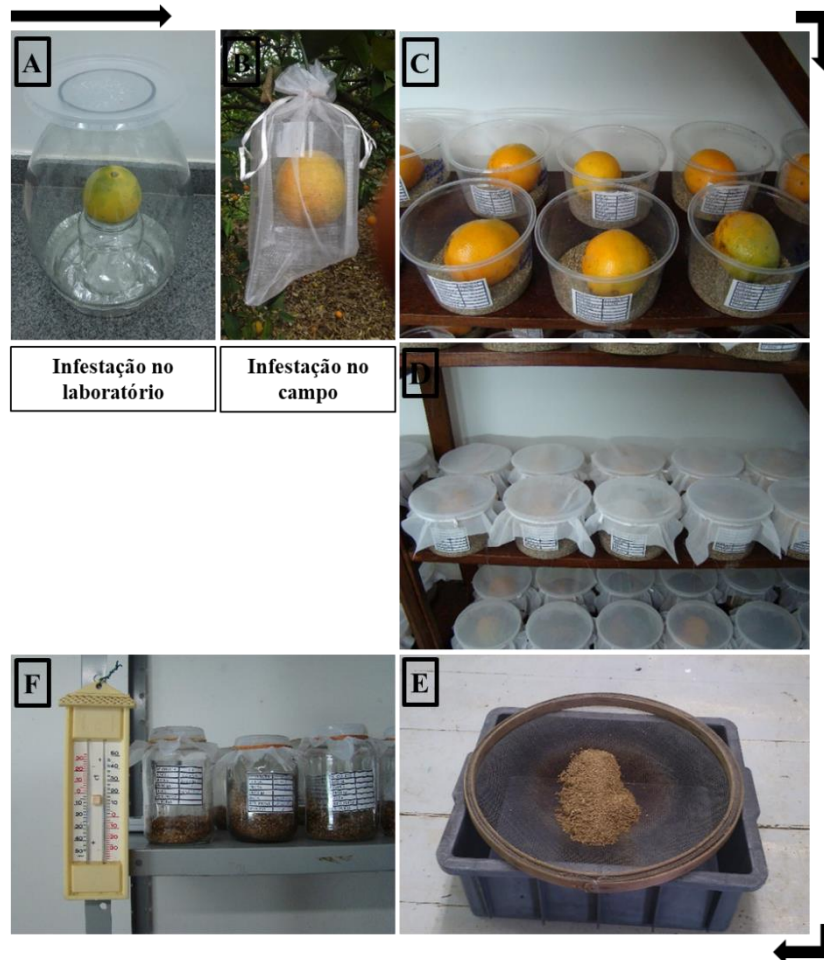
Laranjas, limas ácidas e goiabas nos três estádios de maturação foram expostas à infestação individualizada em campo nos locais de estudos citados no item 4.1. As frutas foram ensacadas individualmente com gaiolas quando ainda estavam ligadas à planta. As gaiolas foram confeccionadas com tecido organza e em cada gaiola foram usadas duas estruturas circulares de plástico (uma no topo e outra na base) para evitar o contato entre a fruta e o tecido (Figura 9). Após 10 dias de ensacamento das frutas em campo foram adicionadas cinco fêmeas de *A. fraterculus* ou *C. capitata*, algodão com água e dieta artificial dentro de cada gaiola. Após 48h de exposição à infestação, as frutas foram colhidas e levadas para o laboratório. Os critérios de separação da infestação e os métodos de armazenamento, avaliação das frutas e processamento de pupas e adultos foram os mesmos descritos no item 4.3.3.1. Em campo, foram expostas à infestação 15 frutas de cada estágio de maturação, totalizando 45 laranjas, 45 limas ácidas e 45 goiabas (controle) para cada espécie de mosca.

#### **4.3.3.3 Infestação agrupada em laboratório**

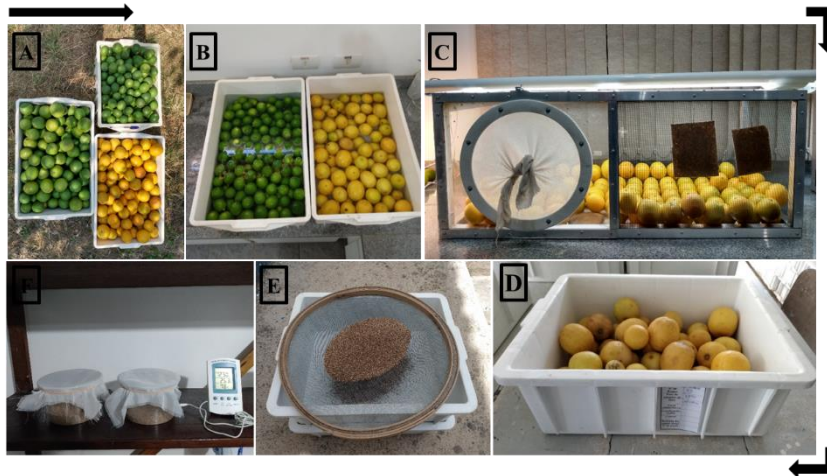
Laranjas, limas ácidas e goiabas nos três estádios de maturação foram expostas à infestação de frutas agrupadas (amostra) em laboratório, separando espécie de fruta vs. estágio de maturação vs. espécie de mosca. As amostras eram compostas por um número variável de frutas de cada estágio de maturação. Essa variação no número de frutas dependeu da disponibilidade de frutas em campo. As amostras de frutas foram lavadas, deixadas para secar sobre jornal e em seguida adicionadas em gaiolas (60 x 40 x 40 cm) de acrílico e tela (2 mm) contendo 300 fêmeas de *A.*



*fraterculus* ou *C. capitata*. No interior das gaiolas havia água e dieta artificial para as moscas. A proporção de moscas para cada fruta foi de 3,3 a 2,3 fêmeas por fruta. Após 24h de exposição à infestação, as frutas foram depositadas em caixas plásticas (60 x 40 x 20 cm) contendo vermiculita esterilizada na sua base. Em seguida as caixas foram cobertas com tecido que foi preso por elásticos. Com 20, 30 e 45 dias de armazenamento, a vermiculita foi peneirada e as pupas depositadas em potes de plástico para esperar a emergência das moscas (Figura 10).



**Figura 9** - Método de infestação individualizada de frutas em laboratório (A) e campo (B), individualização das frutas em potes plásticos (C), armazenamento das frutas (D), separação de pupas (E) e armazenamento de pupas em condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (F). Foto: L. R. F. Louzeiro.



**Figura 10** - Coleta de frutas no campo (A), frutas triadas e lavadas no laboratório (B), método de infestação de frutas agrupadas em gaiola (C), armazenamento das frutas (D), separação de pupas (E) e armazenamento de pupas em condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (F). Foto: L. R. F. Louzeiro.

#### 4.3.3.4 Dissecação das frutas e contagem de ovos por postura

Foi realizada a dissecação de LaV, LaI, LaM, LiV, LiI e LiM para avaliar o comportamento de oviposição e o número de ovos/postura de *A. fraterculus* e *C. capitata*. Foram usadas de seis a dez frutas infestadas pelo método de infestação de frutas agrupadas em laboratório descrito no item 4.3.3.3. Foi avaliado o número de ovos em 30 posturas de *A. fraterculus* e *C. capitata* em cada estágio de maturação de laranjas e limas ácidas. A visualização das posturas e dos ovos foi feita com microscópio estereoscópio (Zeiss – Stemi 2000-C), a abertura da casca das frutas com bisturi e a contagem dos ovos com pincel.

#### 4.3.4 Toxicidade de óleos essenciais de laranja e lima ácida sobre os estádios imaturos de moscas-das-frutas

##### 4.3.4.1 Caracterização dos óleos essenciais

Os OEs de laranja cv. Pera (*C. sinensis*) e lima ácida cv. Tahiti (*C. latifolia*) foram adquiridos na Destilaria Bauru Ltda, Catanduva, SP, Brasil. As amostras dos OEs foram analisadas por Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM) em Cromatógrafo a gás Agilent HP-6890 (Palo Alto, CA, USA) equipado com detector seletivo de massas Agilent HP-

5975, injetor split/splitless, coluna capilar HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m); temperaturas: injetor 220 °C, detetor 250 °C, coluna 60 °C, 3 °C·min<sup>-1</sup>, 240 °C; vazão do gás de arraste (He super seco) = 1,0 ml·min<sup>-1</sup>, com as amostras dissolvidas em acetato de etila na concentração de 20 mg/mL. Os teores dos constituintes foram determinados através das áreas relativas dos picos. A identificação dos compostos dos OEs foi feita por comparação dos espectros de massas com dados da biblioteca NIST-11, co-injeção de padrões de hidrocarbonetos para cálculo do índice de Kovatz e dados descritos por ADAMS (2007).

#### 4.3.4.2 Toxicidade por contato

A toxicidade por contato dos OEs foi avaliada em ovos e larvas de primeiro instar de *A. fraterculus* e *C. capitata*. Foram recuperados ovos e larvas mantidas na colônia de moscas-das-frutas do LEE-IB. Os ovos de *A. fraterculus* foram recuperados usando tubo cilíndrico (14 x 5 cm) de acrílico contendo água e envolvido em parafilm (Figura 11-A). Os ovos de *C. capitata* foram recuperados em gaiolas com laterais de tecido voil sobre bandejas (30 x 18 x 3 cm) contendo água (Figura 11-B). As larvas foram recuperadas de ovos depositados sobre papel filtro umedecido após dois a três dias de armazenamento. Nos experimentos foram usados ovos de até 24h e larvas recém-eclodidas de até 12h.

Os ovos e larvas foram contados e separados (Figura 11-C) com pincel utilizando um microscópio estereoscópio (Zeiss – Stemi 2000-C) e em seguida transferidos para um pedaço circular (3 cm de diâmetro) de papel filtro no interior de uma placa de Petri de vidro (9 x 1 cm). Sob o papel filtro havia algodão encharcado com água usado para manter a umidade do papel. Foi adicionado um segundo pedaço circular (3 cm de diâmetro) de papel filtro sobre os ovos ou larvas. Utilizando uma micropipeta (NextPette) foram aplicados 100  $\mu$ L da emulsão de OE + água + espalhante (Agral) nas concentrações 1, 3, 5 e 7% do OE (v/v) sobre o papel filtro que cobria os ovos ou larvas de forma que a emulsão se distribuisse por todo o pedaço de papel filtro (Figura 11-D). Em seguida, a placa de Petri foi fechada e selada com plástico filme de PVC (Figura 11-F). No controle foi aplicado água destilada sobre o pedaço de papel filtro que cobria os ovos ou larvas. Neste experimento foi usado controle positivo aplicando 50  $\mu$ L de OE puro sobre o pedaço de papel filtro que cobria os ovos ou larvas. Todas as placas foram armazenadas em sala com  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de umidade relativa (Figura 11-G). Após 24h foi avaliado o número de ovos inviáveis,

de onde não eclodiram larvas, no experimento com ovos, e o número de larvas mortas, no experimento com larvas. Foram avaliados 20 ovos ou larvas por repetição em 15 repetições. Os experimentos com ovos e larvas foram conduzidos separadamente para cada espécie de mosca e OE.

#### ***4.3.4.3 Toxicidade por exposição aos voláteis***

A toxicidade por exposição aos voláteis dos OEs foi avaliada pelo efeito fumegante sobre ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. O método de recuperação e separação dos ovos e larvas foi o mesmo descrito no item 4.3.4.2. Para o experimento foram adicionados dois pedaços circulares (3 cm de diâmetro) de papel filtro dentro de uma placa de Petri de vidro (9 x 1 cm). Em um dos pedaços de papel estavam os ovos ou larvas e no outro foram aplicados com micropipeta 10, 25, 50 e 75 µL de OE puro de laranja ou lima ácida. Os pedaços de papel filtro não entraram em contato um com o outro (Figura 11-E). O pedaço de papel filtro que continha os ovos ou larvas estava umedecido para manter a umidade dos insetos imaturos. No controle foi aplicado água destilada sobre o pedaço de papel filtro que não continha ovos ou larvas. Após a aplicação, todas as placas de Petri foram fechadas, seladas com plástico filme de PVC e armazenadas em sala com  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (Figura 11-F, G). O experimento com ovos foi avaliado pela contagem de ovos inviáveis, de onde não eclodiram larvas após três dias de armazenamento. O experimento com larvas foi avaliado pela contagem de larvas mortas após 24h de armazenamento. Foram avaliados 20 ovos ou larvas por repetição em 15 repetições. Os experimentos com ovos e larvas foram conduzidos separadamente para cada espécie de mosca e OE.



**Figura 11** - Método de recuperação de ovos de *A. fraterculus* (A) e *C. capitata* (B), contagem e separação dos ovos (C), toxicidade por contato (D) e por exposição aos voláteis dos OEs (E), placas de Petri seladas com plástico filme PVC (F) e armazenamento das placas com os tratamentos sobre condições de  $25 \pm 1$  °C e  $70 \pm 10\%$  de UR (G). Foto: L. R. F. Louzeiro.

#### 4.3.5 Estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira

O número de pupas e adultos foram usados para avaliar os índices de infestação (pupas/frutas e pupas/kg) e porcentagem de viabilidade pupal de *A. fraterculus* e *C. capitata* em cada estágio de maturação de laranjas, limas ácidas e goiabas (controle). As datas de infestação e recuperação de adultos foram usadas para estimar o período ovo-adulto das moscas em cada espécie de fruta. Os dados dos índices de infestação, porcentagem de viabilidade pupal, número de ovos por postura e período ovo-adulto foram os parâmetros biológicos das moscas usados para o estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira. Os parâmetros biológicos das moscas em cada estágio de maturação de laranjas, limas e goiabas foram relacionados com as características físico-químicas das frutas para determinar o status hospedeiro de laranjas e limas ácidas nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro.

#### 4.4 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos

#### 4.4.1 Comportamento de moscas-das-frutas em olfatômetro

Foi utilizado olfatômetro de acrílico com quatro vias para avaliar o comportamento de atração de *A. fraterculus* e *C. capitata* em relação aos voláteis emitidos por LaI, LaM, LiI e LiM frescas. As frutas com pedúnculo foram colhidas em Mogi Mirim e levadas para o laboratório. Os experimentos se iniciaram até 4h após as frutas serem colhidas. No olfatômetro, as frutas foram distribuídas no interior das cubas em amostras separadas por espécie de fruta e estágio de maturação. A posição das amostras de laranjas e limas foi rotacionada entre as quatro vias do olfatômetro entre as repetições (Figura 12). O tamanho das amostras de frutas em cada cuba foi estimado por peso. Cada amostra continha número distinto de frutas, mas com peso similar. Foi adicionado um pedaço de papel cartolina branco (14 x 11 cm) com cola entomológica (BioStop-Biocontrole) nas cubas que continham as amostras de frutas. O papel com cola foi usado para capturar os adultos que foram atraídos para cada cuba.

Os adultos de *A. fraterculus* usados tinham entre 11 e 14 dias e os de *C. capitata* entre 8 e 11 dias de vida. Foram adicionadas 40 fêmeas ou machos separadamente na cuba central do olfatômetro. Após 24h foi avaliado o número de adultos presentes em cada cuba com LaI, LaM, LiI e LiM frescas. Foram realizadas oito repetições em quatro blocos sendo cada cuba uma parcela. Os experimentos foram conduzidos separadamente entre machos e fêmeas, e espécies de moscas.



**Figura 12** - Olfatômetro de quatro vias usado para avaliar o comportamento de atração de *A. fraterculus* e *C. capitata* para os voláteis de laranjas e limas ácidas frescas nos estádios intermediário e maduro. Foto: L. R. F. Louzeiro.

#### 4.4.2 Comportamento de moscas-das-frutas em gaiolão

Foi usado gaiolão (1 x 1 x 1 m) de acrílico e tela (2 mm) para avaliar o comportamento de repelência à oviposição do linalol comercial, que é um dos componentes presentes em alguns OEs de citros, sobre fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. As fêmeas de *A. fraterculus* usadas tinham entre 12 e 14 dias e as de *C. capitata* tinham entre 11 e 13 dias de vida.

O comportamento de repelência à oviposição foi avaliado em goiabas no estágio intermediário. As goiabas foram coletadas no pomar de Campinas, levadas para o laboratório, lavadas em água + hipoclorito de sódio a 0,5% (v/v) e deixadas para secar sobre jornal (SANTOS et al., 2008). Em seguida, as frutas foram mergulhadas em emulsão de linalol + água + espalhante (Agral) contida em um Becker (500 mL) nas concentrações 0,01, 0,1 e 0,3% de linalol (v/v). As goiabas do grupo controle foram mergulhadas em solução de água + espalhante. As frutas foram adicionadas em gaiolão com 300 fêmeas de *A. fraterculus* ou *C. capitata*. Cada fruta ficou sobre um pote de vidro de modo que as frutas ficassem suspensas da base do gaiolão (Figura 13). Após 24h, as frutas foram retiradas e adicionadas individualmente em potes plásticos (1 L) contendo vermiculita. Os potes foram selados com tecido *voil* preso por elástico e armazenados em sala com  $23 \pm 2$  °C e  $60 \pm 10\%$  de UR. A avaliação foi feita pela contagem de pupas e adultos recuperados após 30 dias de armazenamento. O número de pupas e adultos foram usados para calcular os índices de infestação (pupas/frutas e pupas/kg) e porcentagem de viabilidade pupal. Os experimentos foram conduzidos separadamente por espécie de mosca. Cada concentração de linalol constituiu um tratamento, cada tratamento continha 8 frutas e cada fruta foi considerada uma repetição.



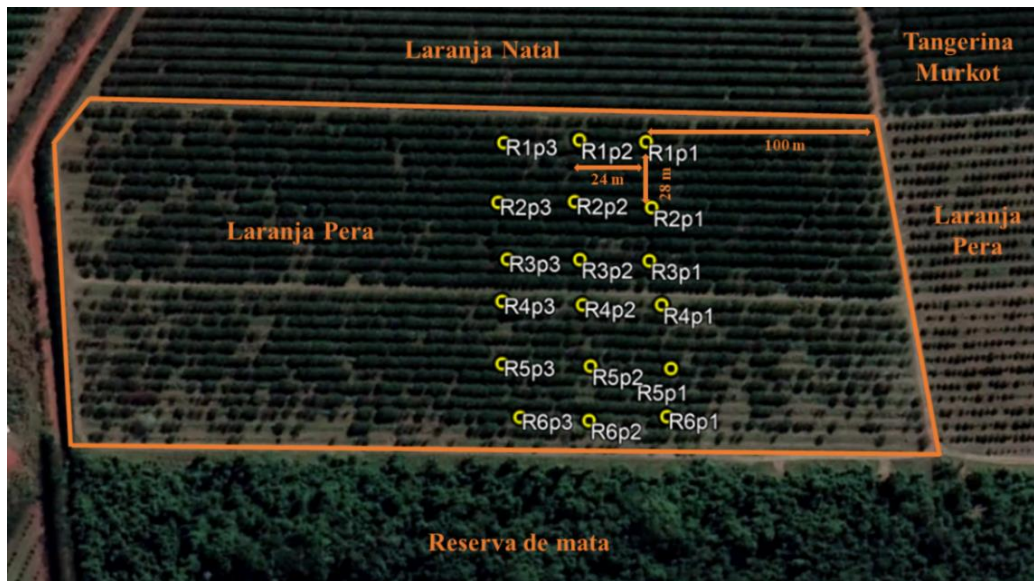


**Figura 13** - Gaiolão usado para avaliar o comportamento de repelência à oviposição em goiabas tratadas com linalol sobre fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. Foto: L. R. F. Louzeiro.

#### 4.4.3 Comportamento de moscas-das-frutas em campo

O comportamento de moscas-das-frutas no campo foi avaliado pela atração das moscas por OEs de laranjas e limas ácidas. Foram instaladas armadilhas McPhail de base amarela nos pomares de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti em Mogi Mirim (Figuras 14 e 15). Nas armadilhas foram usados como atrativo a emulsão dos OEs de laranja e lima ácida e do componente limoneno. A emulsão foi preparada com OE ou limoneno + água + espalhante (Agral) na concentração 30% do OE ou limoneno (v/v) e adicionada em um ependorf contendo algodão. O ependorf aberto foi aderido ao teto na parte interna da armadilha. Na base da armadilha foram adicionados 300 mL de água + detergente neutro para capturar as moscas que entrassem nas armadilhas. Foram usados 300 mL do atrativo alimentar Ceratrap (proteína hidrolisada) como controle. Foram instaladas 6 armadilhas para cada atrativo em cada pomar. Na safra 2019 foram usados como atrativos os OE de laranja e lima ácida e o Ceratrap. Na safra 2021 foram usados os OEs de laranja e lima ácida, o limoneno e o Ceratrap. O experimento foi avaliado pela contagem de *Anastrepha* spp. (fêmeas + machos) e *C. capitata* (fêmeas + machos) a cada sete dias durante dois meses de exposição das armadilhas no campo. Os OEs e o limoneno constituíram os tratamentos, cada data de coleta um bloco e cada armadilha uma repetição.





**Figura 14** - Distribuição das armadilhas entre as seis ruas (R) e três pontos (p) por rua no pomar de laranja cv. Pera em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro / Google Earth.



**Figura 15** - Distribuição das armadilhas entre as seis ruas (R) e três pontos (p) por rua no pomar de lima ácida cv. Tahiti em Mogi Mirim, SP, Brasil. Foto: L. R. F. Louzeiro / Google Earth.

#### 4.5 Análises estatísticas

**Análise de variância (ANOVA):** Os dados das análises física e físico-químicas das frutas, ovos/postura, toxicidade dos OEs, atratividade das frutas no olfatômetro, repelência de oviposição do linalol no gaiolão e atratividade das moscas em armadilha no campo foram submetidas a comparação de médias pelo teste t LSD de Fisher para  $P < 0,05$ . Nesses experimentos foram usados o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Para a ANOVA foi utilizado o software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

**Correlação:** Foram realizadas correlações de Pearson para estabelecer relações positivas ou negativas entre moscas por armadilha por dia (MAD), índice de infestação (pupas/kg) e os fatores climáticos (precipitação, UR e temperatura). Os dados climáticos foram representados pela média de 7 dias de cada amostragem no campo. As análises foram realizadas no Past (versão 4.07) (HAMMER et al., 2001) para  $P < 0,05$ .

**Probit:** Com base nos dados da toxicidade dos OEs sobre ovos e larvas das moscas foi realizada uma análise de regressão Probit para determinar a concentração letal para 50% ( $CL_{50}$ ) da população de *A. fraterculus* e *C. capitata*.

**PCA:** A análise de componentes principais (PCA) foi usada para estabelecer relações positivas ou negativas entre os parâmetros biológicos das moscas (pupas/frutas, pupas/kg, ovos/postura e viabilidade pupal) e as características físico-químicas de laranjas, limas ácidas e goiabas (controle) nos estádios de maturação verde, intermediário e maduro. Para o PCA foi utilizado o software R versão 4.0.1 (R Core Team 2019).

## 5 RESULTADOS

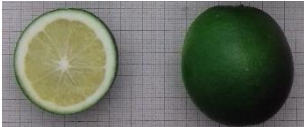
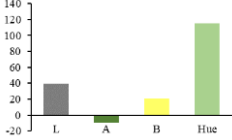

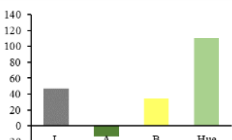

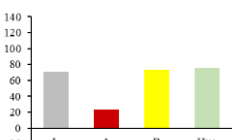

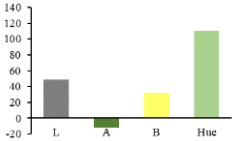

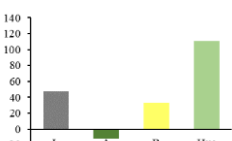

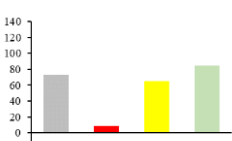

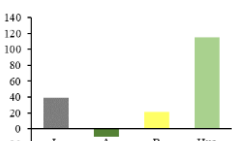

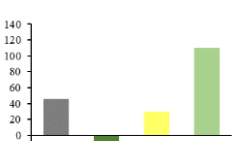


### 5.1 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta

#### 5.1.1 Caracterização física e físico-química das frutas

Laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle) foram caracterizadas como fruta verde (V), intermediária (I) e madura (M) pela avaliação do comprimento, diâmetro, massa e cor da casca (Tabela 1). A cor da casca das frutas foi diferente em cada estágio de maturação, principalmente o parâmetro  $a^*$  que indica a coordenada vermelho/verde. A acidez titulável, firmeza da casca, pH, sólidos solúveis, ratio e vitamina C apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os estágios de maturação de La, Li e Go, na grande maioria (Tabela 2). Em laranjas os sólidos solúveis e pH aumentaram enquanto a acidez e firmeza diminuíram quando a fruta amadurecia. Em limas ácidas os sólidos solúveis, a acidez e a firmeza diminuíram, e o pH se manteve quando a fruta amadurecia. Em goiabas os sólidos solúveis e acidez aumentaram enquanto o pH e a firmeza diminuíram quando a fruta amadurecia. O ratio, que mostra o equilíbrio doce/ácido (sólidos solúveis/acidez titulável), foi maior em laranjas maduras, limas ácidas e goiabas verdes.

A espessura da casca, número de bolsas de OE por área e a área das bolsas de OE foram significativamente diferentes entre laranjas e limas ácidas nos estágios verde, intermediário e maduro (Tabela 3). Em laranjas e limas a espessura da casca foi maior em frutas verdes. A espessura da casca foi diminuindo quando a fruta amadurecia e foi significativamente diferente para cada estágio de maturação. O número de bolsas de OE foi maior em frutas verdes e foi diminuindo quando a fruta amadurecia. A área das bolsas de OE foi maior em laranjas intermediárias e limas maduras. No entanto não houve comportamento de queda ou aumento da área das bolsas de OE enquanto a fruta amadurecia.

**Tabela 1-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características de laranja (La), lima ácida (Li) e goiaba (Go) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

Fruta	Imagem	Comprimento (cm)	Diâmetro (cm)	Massa (g)	Cor da casca/sistema CIE
LaV		$5,5 \pm 0,33$	$5,2 \pm 0,29$	$80,5 \pm 15,3$	
LaI		$7,5 \pm 0,31$	$6,9 \pm 0,29$	$181,0 \pm 22,2$	
LaM		$6,6 \pm 0,27$	$6,3 \pm 0,32$	$147,1 \pm 22,2$	
LiV		$4,2 \pm 0,21$	$4,0 \pm 0,17$	$36,8 \pm 4,9$	
LiI		$5,7 \pm 0,27$	$5,5 \pm 0,23$	$93,6 \pm 11,0$	
LiM		$5,7 \pm 0,53$	$5,4 \pm 0,46$	$96,7 \pm 20,0$	
GoV		$6,2 \pm 0,42$	$4,5 \pm 0,26$	$64,9 \pm 10,2$	
GoI		$7,7 \pm 0,48$	$7,1 \pm 0,32$	$204,0 \pm 23,8$	
GoM		$8,7 \pm 0,38$	$7,9 \pm 0,41$	$330,3 \pm 56,7$	

**Tabela 2-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características físico-químicas de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). Letras minúsculas diferentes na coluna representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Fruta	Sólidos solúveis (°Brix)	pH	Acidez titulável (%)	Ratio	Firmeza (N)	Vitamina C (mg 100 g <sup>-1</sup> )
LaV	9,5 cd ( $\pm 0,92$ )	2,6 e ( $\pm 0,20$ )	3,0 b ( $\pm 0,15$ )	3,1 e ( $\pm 0,27$ )	91,3 b ( $\pm 2,9$ )	60,9 a ( $\pm 6,83$ )
LaI	10,9 ab ( $\pm 0,62$ )	2,7 e ( $\pm 0,18$ )	3,2 b ( $\pm 0,42$ )	3,3 e ( $\pm 0,38$ )	85,2 bc ( $\pm 3,1$ )	57,4 a ( $\pm 12,16$ )
LaM	11,3 a ( $\pm 0,86$ )	3,0 d ( $\pm 0,18$ )	1,0 c ( $\pm 0,20$ )	10,9 d ( $\pm 3,11$ )	73,0 c ( $\pm 6,5$ )	55,1 ab ( $\pm 5,63$ )
LiV	9,6 cd ( $\pm 0,58$ )	2,6 e ( $\pm 0,02$ )	6,6 a ( $\pm 0,48$ )	1,4 e ( $\pm 0,19$ )	79,6 bc ( $\pm 5,6$ )	38,4 cd ( $\pm 7,88$ )
LiI	8,9 d ( $\pm 0,64$ )	2,6 e ( $\pm 0,01$ )	6,2 a ( $\pm 0,66$ )	1,4 e ( $\pm 0,23$ )	92,2 b ( $\pm 4,4$ )	29,3 de ( $\pm 4,58$ )
LiM	7,8 e c ( $\pm 0,60$ )	2,6 e ( $\pm 0,02$ )	6,6 a ( $\pm 0,25$ )	1,2 e ( $\pm 0,11$ )	84,3 bc ( $\pm 4,8$ )	20,4 e ( $\pm 1,3$ )
GoV	4,8 f ( $\pm 0,46$ )	5,0 a ( $\pm 0,28$ )	0,1 e ( $\pm 0,02$ )	39,6 a ( $\pm 6,28$ )	146,3 a ( $\pm 7,3$ )	5,1 f ( $\pm 0,73$ )
GoI	10,0 bc ( $\pm 1,17$ )	3,7 c ( $\pm 1,18$ )	0,6 d ( $\pm 0,05$ )	17,3 c ( $\pm 1,95$ )	48,9 d ( $\pm 2,4$ )	40,4 c ( $\pm 11,10$ )
GoM	10,2 bc ( $\pm 1,11$ )	3,9 b ( $\pm 0,06$ )	0,5 de ( $\pm 0,04$ )	20,6 b ( $\pm 1,57$ )	11,9 e ( $\pm 0,8$ )	46,6 bc ( $\pm 13,01$ )
CV (%)	8,79	4,97	10,61	22,64	18,69	20,84

**Tabela 3-** Médias ( $\pm$  desvio padrão) das características morfológicas da casca de laranjas (La) e limas ácidas (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M). Letras minúsculas diferentes dentro da coluna representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Fruta	Espessura da casca (mm)	Número de bolsas de OE	Área da bolsa de OE (3 mm <sup>2</sup> )
LaV	3,92 a ( $\pm 0,74$ )	4,70 a ( $\pm 1,49$ )	0,19 bc ( $\pm 0,06$ )
LaI	3,26 b ( $\pm 0,27$ )	4,40 a ( $\pm 1,50$ )	0,30 a ( $\pm 0,13$ )
LaM	2,72 c ( $\pm 0,39$ )	2,90 b ( $\pm 0,87$ )	0,23 ab ( $\pm 0,08$ )
LiV	2,65 c ( $\pm 0,48$ )	3,80 ab ( $\pm 1,13$ )	0,14 c ( $\pm 0,03$ )
LiI	2,13 d ( $\pm 0,68$ )	3,10 b ( $\pm 0,56$ )	0,13 c ( $\pm 0,03$ )
LiM	1,62 e ( $\pm 0,34$ )	3,00 b ( $\pm 0,94$ )	0,16 bc ( $\pm 0,08$ )
CV (%)	19,02	31,17	40,83

### 5.1.2 Incidência de moscas frugívoras em pomar de citros

Nas armadilhas com Ceratrap instaladas no pomar de laranja foram recuperados 12 espécimes da família Lonchaeidae, representadas por *Neosilba* spp.; e 228 espécimes da família Tephritidae, representadas por 27 *Anastrepha* spp. (todas *A. fraterculus*) e 201 *C. capitata*. As médias do índice MAD foram 0,02 (variando de 0 a 0,23) para *A. fraterculus*, 0,01 (variando de 0 a 1,92) para *C. capitata* e 0,019 (variando de 0 a 0,14) para *Neosilba* spp. No pomar de lima ácida foram recuperados 4 espécimes de família Lonchaeidae, representadas por *Neosilba* spp.; e 1.484 espécimes da família Tephritidae representadas por 1.143 *Anastrepha* spp. (todas *A. fraterculus*) e 341 *C. capitata*. As médias do índice MAD foram 1,70 (variando de 0,02 a 5,59) para *Anastrepha*

spp., 0,50 (variando de 0 a 2,16) para *C. capitata* e 0,007 (variando de 0 a 0,04) para *Neosilba* spp.

Foram coletadas 1.815 frutas (274,2 kg) de LaI, 1.988 (283,9 kg) de LaM, 2.938 (255,5 kg) de LiI e 2.874 (259,7 kg) de LiM. Nas amostras de frutas foram recuperadas moscas apenas de LaM e LiM (Tabela 4). Foram recuperados 165 pupas e 102 adultos de Lonchaeidae, além de 47 pupas e 32 adultos de Tephritidae em LaM. *Neosilba zadolicha* foi a mosca frugívora mais recuperada de laranjas, seguida por *A. fraterculus*, *C. capitata*, *N. glaberrima* e *N. inesperata* Strikis & Prado (Tabela 5). Nas amostras de LiM foram recuperados 194 pupas e 87 adultos de Lonchaeidae, além de 32 pupas e 6 adultos de Tephritidae (Tabela 4). *Neosilba zadolicha* foi a mosca frugívora mais recuperada de LiM seguida por *N. glaberrima*, *A. fraterculus* e *N. certa* (Walker) (Tabela 5). Esses são os primeiros registros de infestação natural de *A. fraterculus*, *N. certa*, *N. glaberrima* e *N. zadolicha* em lima ácida cv. Tahiti.

Nos pomares de laranja e lima ácida as moscas frugívoras foram recuperadas em armadilhas e amostras de frutas durante todo o período de estudo. No pomar de laranja, *C. capitata* foi mais recuperada em armadilhas do que *Anastrepha* spp. e *Neosilba* spp. *Neosilba* spp. foi mais recuperada em amostras de frutas do que *Anastrepha* spp. e *C. capitata*. Os índices MAD (mosca por armadilha por dia) de *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. apresentaram queda no mês de julho de 2019, após o registro das menores temperaturas (Figura 16). No pomar de lima ácida, *Anastrepha* spp. foi mais recuperada em armadilhas do que *C. capitata* e *Neosilba* spp.; e *Neosilba* spp. foi mais recuperada em amostras de frutas do que *Anastrepha* spp. e *C. capitata*. Os índices MAD de *C. capitata* e *Neosilba* spp. apresentaram queda e o índice MAD de *Anastrepha* spp. se manteve elevado após a queda da temperatura mínima no mês de julho de 2019 (Figura 17). Os índices MAD de *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. foram menores entre fevereiro e abril de 2021, quando a UR foi menor, do que entre maio e julho de 2019.

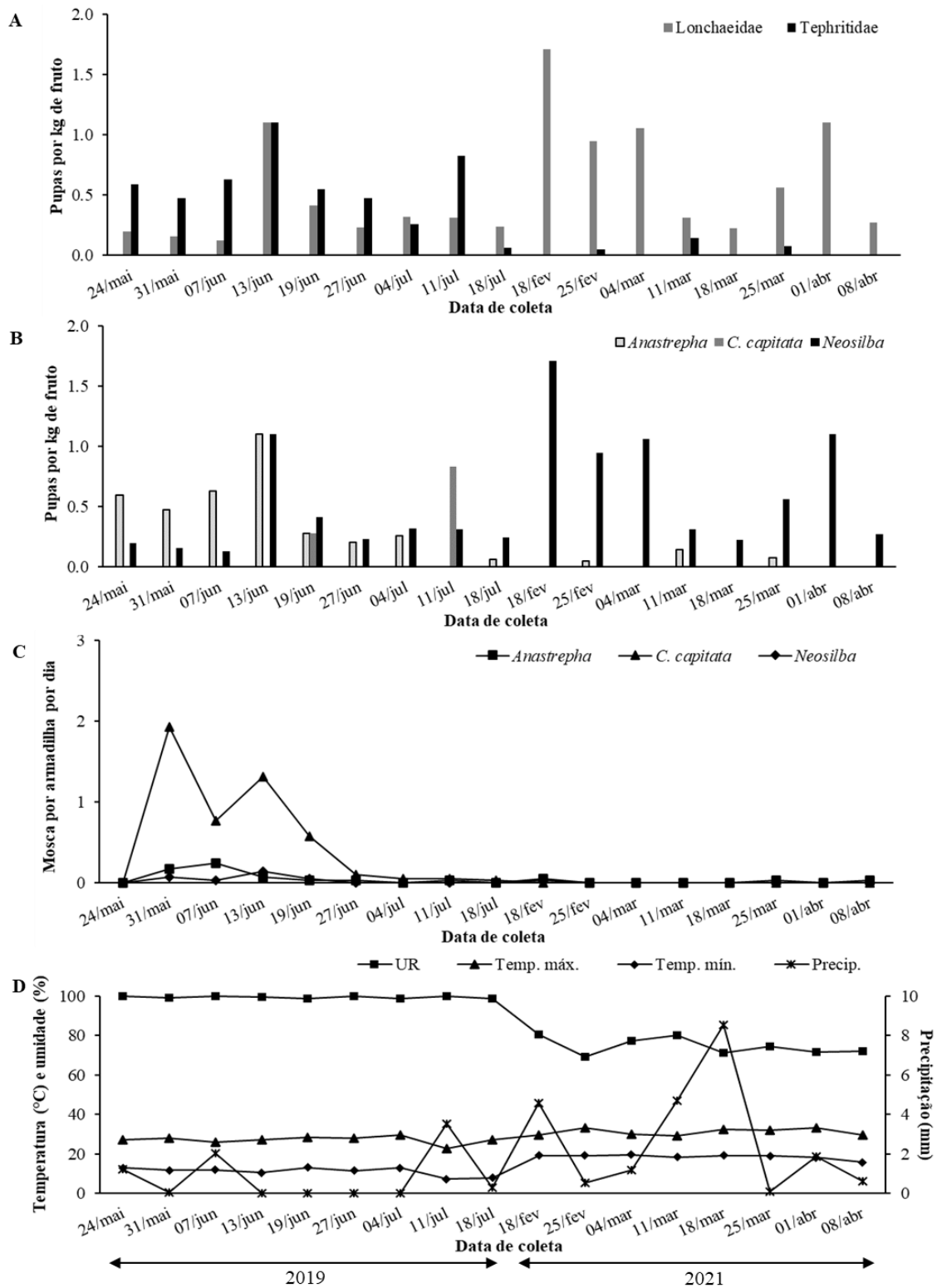
Foram encontradas correlações significativas entre o índice MAD e os fatores climáticos apenas no pomar de lima ácida. O índice MAD de *Anastrepha* spp. apresentou correlação com as temperaturas mínima e média e com a UR; e o índice MAD de *C. capitata* apresentou correlação com a UR (Tabela 6). Foram encontradas correlações significativas entre o índice MAD e o índice de infestação pupas/kg para *Anastrepha* spp. no pomar de laranja e lima ácida. Essa correlação não aconteceu para *C. capitata* nos pomares estudados (Tabela 6).

**Tabela 4-** Total de amostras de frutas, médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação de laranjas cv. Pera (La) e limas ácidas cv. Tahiti (Li) nos estádios intermediário (I) e maduro (M) coletadas no pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021.

Ano/Fruta	Fruta			Pupas		Adultos		Pupas/fruta		Pupas/kg		VP %	
	Amostra	Número	Massa (kg)	Lonch.	Teph.	Lonch.	Teph.	Lonch.	Teph.	Lonch.	Teph.	Lonch.	Teph.
<b>2019</b>													
LaI	9	668	107,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LaM	9	817	105,7	3,2 (1-8)	4,4 (1-8)	2,1 (1-4)	3,2 (1-7)	4,3 (1,4-13,3)	6,2 (0,8-13,3)	34,4 (12,5-110,3)	49,5 (5,9-110,3)	72,7 (33,3-100)	77,1 (25,0-100)
LiI	9	1.120	87,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LiM	9	1.000	99,6	8,8 (1-33)	3,4 (2-5)	8,1 (1-30)	2,0 (2-2)	5,6 (0-32,3)	1,7 (0-4,9)	59,0 (0-338,1)	17,6 (0-51,2)	95,1 (80-100)	21,3 (0-66,6)
<b>2021</b>													
LaI	8	1.147	166,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LaM	8	1.171	178,26	17,0 (5-36)	0,3 (0-1)	10,3 (0-21)	0	0,11 (0,03-0,23)	0,002 (0-0,007)	0,77 (0,22-1,70)	0,03 (0-0,14)	55,8 (0-95,40)	0
LiI	8	1.818	168,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LiM	8	1.874	160,14	17,6 (3-62)	2,5 (1-7)	4,7 (0-12)	0,1 (0-1)	0,07 (0,01-0,25)	0,01 (0-0,02)	0,87 (0,13-2,75)	0,08 (0-0,30)	32,8 (0-100)	0

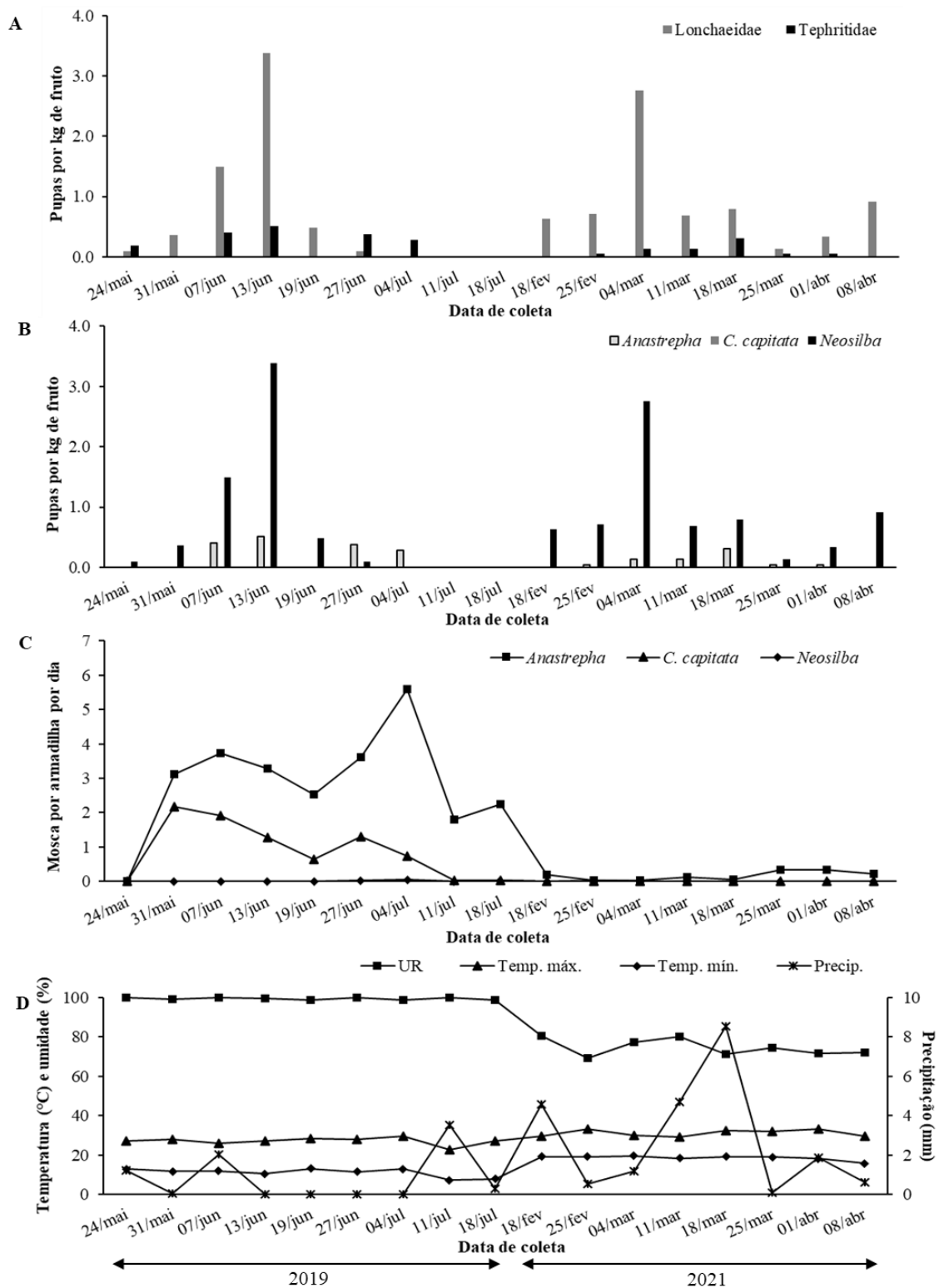
**Tabela 5-** Espécies de moscas frugívoras recuperadas de laranjas cv. Pera (La) e limas ácidas cv. Tahiti (Li) nos estádios intermediário (I) e maduro (M) coletadas no pomar de citros em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021.

Fruta	<i>Anastrepha</i> ssp.		<i>C. capitata</i>		<i>Neosilba</i> spp.		Espécies de Tephritoidae					
	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	<i>A. fraterculus</i>	<i>C. capitata</i>	<i>N. certa</i>	<i>N. glaberrima</i>	<i>N. inesperata</i>	<i>N. zadolicha</i>
LaI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LaM	11	12	4	5	44	58	11	9	-	5	1	52
LiI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LiM	3	3	-	-	49	38	3	-	1	6	-	31



**Figura 16** - Relação entre o índice de infestação pupas/kg de Lonchaeidae, Tephritidae (A), *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. (B) em relação aos seus respectivos índices MAD (C) e os fatores meteorológicos (D) no pomar de laranja em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021.





**Figura 17** - Relação entre o índice de infestação pupas/kg de Lonchaeidae, Tephritidae (A), *Anastrepha* spp., *C. capitata* e *Neosilba* spp. (B) em relação aos seus respectivos índices MAD (C) e os fatores meteorológicos (D) no pomar de lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021.

**Tabela 6-** Correlação de Pearson entre mosca por armadilha por dia (MAD), índices de infestação (pupas/kg) e fatores meteorológicos em pomares de laranja e lima ácida durante maio a julho de 2019 e fevereiro e abril de 2021, Mogi Mirim, SP, Brasil.

Correlação	Pomar de laranja			Pomar de lima ácida		
	r	Valor de p	G.L.	r	Valor de p	G.L.
<i>Anastrepha spp.</i>						
MAD vs. temperatura mínima	-0,2985	0,2444	8	-0,6706	0,0032	8
MAD vs. temperatura média	-0,3489	0,1698	8	-0,6120	0,0090	8
MAD vs. temperatura máxima	-0,3927	0,1188	8	-0,4648	0,0601	8
MAD vs. precipitação	-0,1168	0,6552	8	-0,4359	0,0802	8
MAD vs. umidade relativa	0,3943	0,1173	8	0,7652	0,0003	8
MAD vs. pupas/kg	0,5323	0,0278	8	0,5203	0,0322	8
<i>C. capitata</i>						
MAD vs. temperatura mínima	-0,3935	0,1180	8	-0,4619	0,0619	8
MAD vs. temperatura média	-0,3773	0,1353	8	-0,4459	0,0727	8
MAD vs. temperatura máxima	-0,3170	0,2150	8	-0,3794	0,1331	8
MAD vs. precipitação	-0,3027	0,2376	8	-0,3488	0,1699	8
MAD vs. umidade relativa	0,4754	0,0537	8	0,6114	0,0091	8
MAD vs. pupas/kg	-0,0612	0,8152	8	0	-	-

### 5.1.3 Infestação forçada de frutas em laboratório e campo

No experimento de infestação forçada de frutas individualizadas no laboratório, *A. fraterculus* conseguiu se desenvolver e completar o seu ciclo de vida em laranjas maduras e no controle positivo goiaba. Foram recuperados 2 pupas e 1 adulto de *A. fraterculus* de 30 laranjas maduras testadas. *Anastrepha fraterculus* se desenvolveu em todos os estádios de maturação de goiaba e apresentou elevados índices de infestação e viabilidade pupal, principalmente em goiabas nos estádios intermediário e maduro (Tabela 7). *Ceratitidis capitata* não se desenvolveu em laranjas e limas ácidas em qualquer estágio de maturação infestadas individualmente. Entretanto, *C. capitata* conseguiu completar o seu ciclo vida em goiabas nos estádios intermediário e maduro (Tabela 7).

*Anastrepha fraterculus* e *C. capitata* não se desenvolveram em laranjas e limas ácidas infestadas individualmente em condições de campo (Tabela 7). Foram recuperados pupas e adultos de *A. fraterculus* e *C. capitata* apenas em goiabas (controle) infestadas individualmente nos

estádios intermediário e maduro. Goiabas nos estádios intermediário e maduro apresentaram maiores índices de infestação e viabilidade pupal de *A. fraterculus* e *C. capitata* em laboratório do que em campo.

No experimento de infestação de frutas agrupadas em laboratório, *A. fraterculus* completou seu ciclo de vida em laranjas nos estádios intermediário e maduro e em goiabas (controle) nos três estádios de maturação. *Ceratitidis capitata* completou seu ciclo de vida em laranjas nos estádios intermediário e maduro, limas ácidas no estágio maduro e goiabas nos três estádios de maturação (Tabela 8). Os índices de infestação pupas/fruta e pupas/kg foram maiores para *C. capitata* do que para *A. fraterculus* em laranjas e goiabas. A viabilidade pupal foi maior para *C. capitata* do que para *A. fraterculus* em goiabas e principalmente em laranjas maduras. No entanto, a viabilidade pupal foi maior para *A. fraterculus* do que para *C. capitata* em laranjas no estágio intermediário. O período ovo-adulto foi maior para *A. fraterculus* do que para *C. capitata* em LaI e LaM e em GoI.

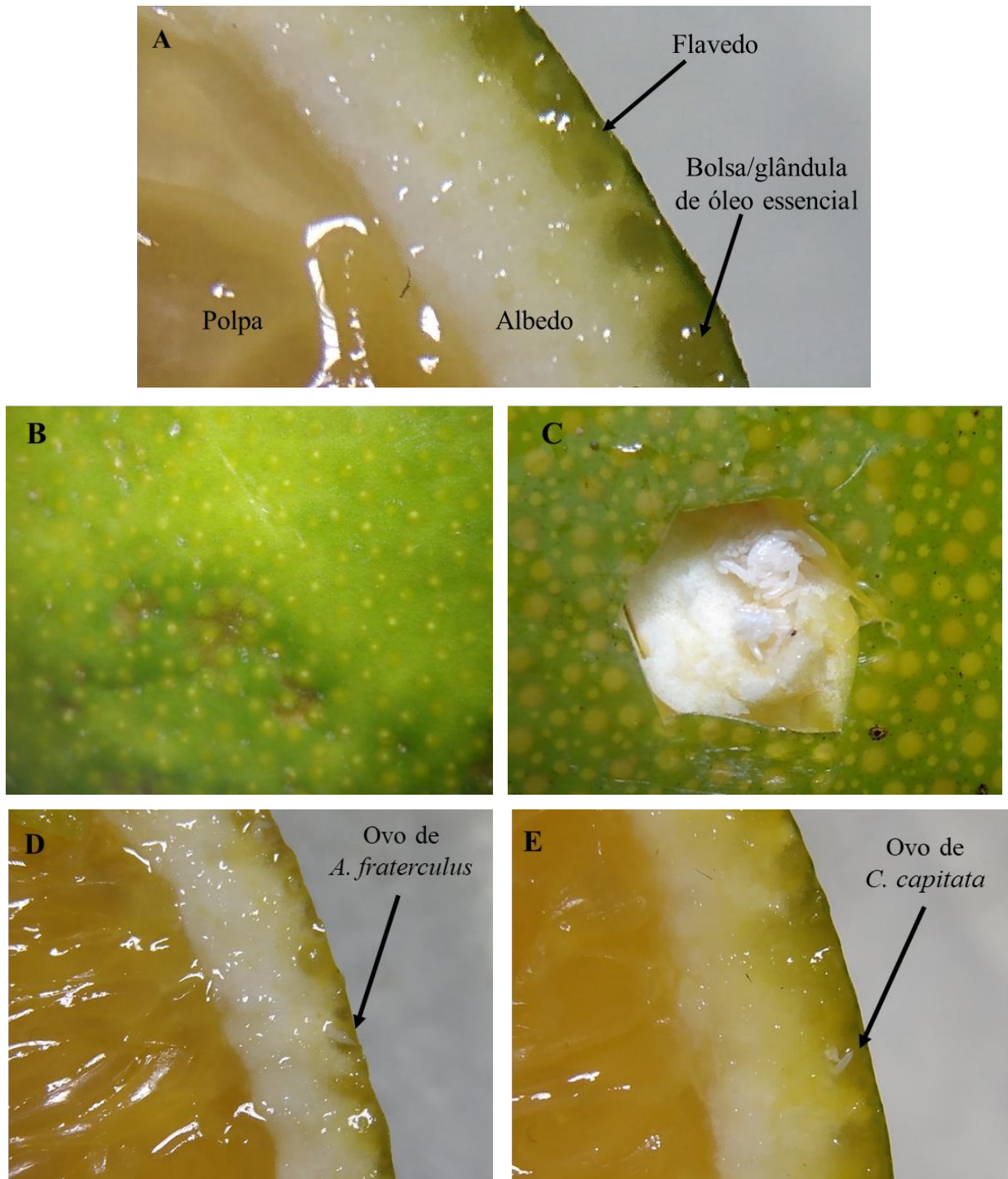
A dissecação de laranjas e limas ácidas mostrou que *A. fraterculus* preferiu ovipositar entre o flavedo e albedo, enquanto *C. capitata* preferiu ovipositar no albedo das frutas (Figura 18). *Anastrepha fraterculus* depositou de 0 a 4 ovos/postura em laranjas e de 0 a 8 ovos em limas ácidas, enquanto *C. capitata* depositou de 0 a 215 ovos em laranjas e de 0 a 7 ovos em limas ácidas. *Anastrepha fraterculus* depositou quantidades similares de ovos/postura em LaV, LaI, LaM, LiV, LiI e LiM. *Ceratitidis capitata* depositou significativamente mais ovos/postura em LaI e LaM (Figura 19). Não foram encontrados ovos de *C. capitata* em LiI, mas apenas sinais de punctura nessas frutas. Na comparação entre *A. fraterculus* e *C. capitata* foi observado que *C. capitata* depositou significativamente mais ovos/postura do que *A. fraterculus* em LaI e LaM. No entanto, *A. fraterculus* depositou significativamente mais ovos/postura do que *C. capitata* em LaV e em LiI e LiM (Figura 19).

**Tabela 7-** Médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação e viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* e *C. capitata* no experimento de infestação individualizada de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle) nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

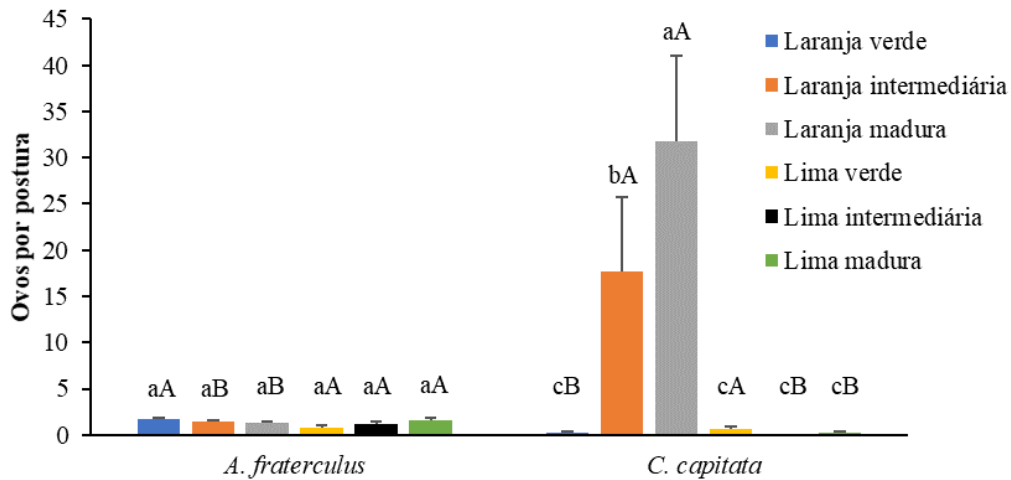
Mosca	Fruta	Pupas/fruta	Adultos/fruta	Pupas/kg	VP (%)
<b>Infestação em laboratório</b>					
<i>A. fraterculus</i>	LaV	-	-	-	-
	LaI	-	-	-	-
	LaM	0,06 (0-1)	0,03 (0-1)	0,48 (0-7,57)	50,0 (0-100)
	LiV	-	-	-	-
	LiI	-	-	-	-
	LiM	-	-	-	-
	GoV	3,2 (0-32)	2,86 (0-31)	45,0 (0-340,4)	84,1 (50-100)
	GoI	110,1 (21-218)	104,8 (19-215)	534,9 (138,1-1048,5)	94,3 (79,6-100)
	GoM	131,2 (29-239)	118,9 (28-220)	413,4 (89,5-912,2)	91,4 (79-100)
	<i>C. capitata</i>	LaV	-	-	-
LaI		-	-	-	-
LaM		-	-	-	-
LiV		-	-	-	-
LiI		-	-	-	-
LiM		-	-	-	-
GoV		-	-	-	-
GoI		46,4 (0-177)	44,2 (0-167)	230,3 (0-804,5)	94,5 (76,9-100)
GoM		129,4 (38-216)	116,7 (38-210)	476,6 (146,1-942,9)	91,0 (75,9-100)
<b>Infestação em campo</b>					
<i>A. fraterculus</i>	LaV	-	-	-	-
	LaI	-	-	-	-
	LaM	-	-	-	-
	LiV	-	-	-	-
	LiI	-	-	-	-
	LiM	-	-	-	-
	GoV	-	-	-	-
	GoI	13,2 (0-75)	11,7 (0-75)	73,3 (0-382,6)	87,6 (74,4-100)
	GoM	26,4 (0-84)	23,2 (0-76)	76,0 (0-311,1)	88,4 (65,6-100)
	<i>C. capitata</i>	LaV	-	-	-
LaI		-	-	-	-
LaM		-	-	-	-
LiV		-	-	-	-
LiI		-	-	-	-
LiM		-	-	-	-
GoV		-	-	-	-
GoI		18,8 (0-67)	18,1 (0-63)	89,2 (0-254,8)	96,5 (80-100)
GoM		52,8 (0-146)	45,3 (0-116)	157,2 (0-553,0)	85,6 (54,4-100)

**Tabela 8-** Médias (mínimo - máximo) dos índices de infestação, viabilidade pupal (VP) e período ovo-adulto de *A. fraterculus* e *C. capitata* no experimento de infestação por amostra de laranjas (La), limas ácidas (Li) e goiabas (Go) (controle) nos estádios verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

Mosca	Fruta	N° de frutas	Massa (kg)	Pupas	Adultos	Pupas/fruta	Pupas/Kg	VP (%)	Período ovo/adulto (dias)
<i>A. fraterculus</i>	LaV	723	38,51	-	-	-	-	-	-
	LaI	410	53,94	5,0 (1-11)	4,6 (1-11)	0,03 (0,005-0,06)	0,28 (0,04-0,43)	88,8 (66,6-100)	37,6 (34-42)
	LaM	494	66,5	9,6 (8-11)	6,3 (5-7)	0,08 (0,05-0,13)	0,56 (0,37-0,90)	65,3 (62,5-70,0)	37,0 (31-47)
	LiV	1140	46,88	-	-	-	-	-	-
	LiI	877	61,39	-	-	-	-	-	-
	LiM	475	39,37	-	-	-	-	-	-
	GoV	244	15,66	138,0	108,0	0,56	8,81	78,2	28,0
	GoI	105	18,21	631,5 (289-974)	535,0 (232-838)	11,10 (7,41-14,75)	64,50 (52,50-76,60)	83,1 (80,2-86,0)	27,0 (26-28)
	GoM	143	22,92	481,0 (435-527)	410,0 (405-415)	6,94 (5,98-7,90)	44,0 (36,31-51,69)	86,1 (76,8-95,4)	23,0 (21-25)
<i>C. capitata</i>	LaV	676	38,21	-	-	-	-	-	-
	LaI	436	58,09	13,5 (12-15)	1,5 (1-2)	0,07 (0,06-0,08)	0,56 (0,45-0,66)	11,6 (6,6-16,6)	31,0 (30-32)
	LaM	484	65,43	112,3 (2-195)	99,0 (2-166)	0,71 (0,02-1,24)	4,94 (0,18-8,79)	92,4 (85,1-100)	30,6 (28-33)
	LiV	1106	46,09	-	-	-	-	-	-
	LiI	964	64,31	-	-	-	-	-	-
	LiM	459	37,16	1,0	1,0	0,02	0,25	100	36,0
	GoV	247	15,08	34,0	34,0	0,13	2,25	0,004	23,0
	GoI	102	19,15	1928,0 (803-3053)	1653,0 (801-2505)	34,33 (21,70-46,90)	182,4 (124,6-240,3)	90,9 (82,0-99,7)	21,0 (18-24)
	GoM	138	26,52	1827,0 (482-3172)	1616,5 (472-2761)	31,2 (25,3-37,0)	174,6 (130,4-218,8)	92,4 (87,0-97,9)	24,5 (24-25)



**Figura 18** - Caracterização das camadas de laranjas cv. Pera (A), alteração da cor da casca no local da punctura de moscas-das-frutas (B), massa de ovos de *C. capitata* (C), ovo de *A. fraterculus* entre o flavedo e albedo (D) e ovos de *C. capitata* no albedo de laranja infestada em laboratório. Foto: L. R. F. Louzeiro.



**Figura 19** - Médias ( $\pm$  erro padrão) de ovos/postura (N = 30 posturas) de *A. fraterculus* e *C. capitata* em laranjas cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti infestadas em laboratório. Letras minúsculas em cada espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

#### 5.1.4 Toxicidade de óleos essenciais de laranja e lima ácida sobre os estádios imaturos de moscas-das-frutas

Foram identificados 6 compostos do OE de laranja e 20 compostos do OE de lima ácida. Em ambos os OEs, o composto limoneno foi o mais abundante, principalmente em laranja (Tabela 9). Nos experimentos de toxicidade dos OEs por contato, as maiores concentrações de OE testadas provocaram significativamente mais mortalidade em ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata* (Tabela 10). As menores concentrações testadas (1 e 3%) apresentaram mais mortalidade de ovos e larvas quando comparado com o controle (espalhante + água), principalmente, em ovos de *A. fraterculus*. Na comparação entre as duas espécies de moscas, foi observado que o OE de laranja provocou significativamente mais mortalidade em ovos e larvas de *A. fraterculus* do que em *C. capitata*, enquanto o OE de lima ácida provocou significativamente mais mortalidade em ovos de *A. fraterculus* do que em *C. capitata*. A mortalidade de larvas provocadas pelo OE de lima ácida foi similar entre *A. fraterculus* e *C. capitata* (Tabela 10). O controle positivo com OE não diluído (50  $\mu$ l) provocou significativamente mais mortalidade em ovos e larvas em comparação com as concentrações de OE e o controle.

A análise de regressão Probit para a toxicidade por contato, demonstrou que a concentração

letal para 50% (CL<sub>50</sub>) da população de *A. fraterculus* foi menor do que para *C. capitata*, tanto para os OEs de laranja e lima ácida, quanto para os ovos e larvas dessas moscas (Tabela 11). Isso demonstra que os ovos e larvas de *A. fraterculus* são mais sensíveis ao contato dos OEs do que *C. capitata*.

Ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata* apresentaram consideráveis taxas de mortalidade quando expostos aos voláteis dos OEs de laranja e lima ácida (Tabela 12). Os ovos e larvas expostos aos voláteis dos OEs mudavam sua coloração e apresentavam sinais de necrose quando comparados com ovos e larvas não tratados (Figura 20). Foi observado pouca diferença na mortalidade de ovos e larvas quando comparamos os mesmos volumes dos OEs de laranja e lima ácida. No geral, os maiores volumes dos OEs provocaram significativamente mais mortalidade de ovos e larvas. Entretanto, os menores volumes dos OEs testados provocaram mais mortalidade de ovos e larvas quando comparado ao controle. Quando comparamos a mortalidade de ovos e larvas expostas aos voláteis dos OEs percebemos que a mortalidade de *A. fraterculus* é maior do que *C. capitata*, principalmente para os ovos (Tabela 12). A análise Probit também demonstrou o mesmo. Os ovos e larvas de *A. fraterculus* são mais afetados pelos voláteis dos OEs de laranja e lima ácida do que *C. capitata*, pois a CL<sub>50</sub> da população foi menor em *A. fraterculus* (Tabela 13).

**Tabela 9-** Composição química dos óleos essenciais comerciais de laranja cv. Pera e lima ácida cv. Tahiti. O Índice de Retenção foi calculado com base numa série de n-alcenos (C8-C24).

Composto	Tempo de retenção (min)	Índice de Retenção	Composição química (%)	
			Laranja	Lima ácida
4-hidroxi-4-metil-2-pentanona	3,56	836	0,73	0,68
α-tujeno	5,21	925		0,50
α-pineno	5,39	932	0,55	1,79
sabineno	6,40	971	0,62	1,45
β-pineno	6,52	976		8,29
β-mirceno	6,86	989	1,95	1,30
α-terpineno	7,67	1015	-	0,31
o-cimeno	7,94	1023	-	0,67
limoneno	8,19	1030	95,63	59,13
γ-terpineno	9,12	1057	-	13,07
terpinoleno	10,13	1086	-	0,61
linalol	10,54	1091	0,52	0,00
α-terpineol	14,12	1185	-	0,56
β-citral = neral	16,21	1238	-	1,38
α-citral = geranial	17,47	1268	-	2,23
acetato de nerila	21,41	1362	-	1,68
acetato de geranila	22,19	1381	-	0,42
β-cariofileno	23,57	1415	-	0,87
trans-α-Bergamoteno	24,28	1433	-	1,95
β-bisaboleno	27,20	1506	-	3,13



**Tabela 10-** Médias ( $\pm$  erro padrão) da mortalidade de ovos e larvas (N = 20) de *A. fraterculus* e *C. capitata* após o contato com as concentrações dos OEs de laranja (La) e lima ácida (Li). Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada estágio imaturo, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	OE	Ovos		Larvas	
		<i>A. fraterculus</i>	<i>C. capitata</i>	<i>A. fraterculus</i>	<i>C. capitata</i>
1%	La	6,73 dA ( $\pm 0,93$ )	2,13 cA ( $\pm 0,68$ )	5,66 deA ( $\pm 0,90$ )	0,73 dB ( $\pm 0,20$ )
3%	La	11,33 bcA ( $\pm 1,05$ )	1,13 cB ( $\pm 0,41$ )	7,93 cdA ( $\pm 1,23$ )	1,46 cdB ( $\pm 0,29$ )
5%	La	14,13 bA ( $\pm 1,07$ )	3,53 bcB ( $\pm 0,93$ )	9,86 bcA ( $\pm 0,98$ )	2,26 cdB ( $\pm 0,38$ )
7%	La	14,60 bA ( $\pm 0,66$ )	3,93 bcB ( $\pm 0,93$ )	9,93 bcA ( $\pm 0,83$ )	4,00 cB ( $\pm 0,97$ )
50 $\mu$ l	La	19,73 aA ( $\pm 0,15$ )	15,80 aB ( $\pm 0,42$ )	16,06 aA ( $\pm 0,38$ )	14,33 aA ( $\pm 0,65$ )
1%	Li	6,86 dA ( $\pm 1,00$ )	2,13 cB ( $\pm 0,43$ )	5,86 deA ( $\pm 0,77$ )	3,93 cA ( $\pm 0,73$ )
3%	Li	8,93 cdA ( $\pm 0,77$ )	2,66 cB ( $\pm 0,48$ )	7,00 cdA ( $\pm 0,70$ )	7,60 bA ( $\pm 0,70$ )
5%	Li	12,66 bA ( $\pm 0,45$ )	5,73 bB ( $\pm 0,90$ )	12,26 abA ( $\pm 0,65$ )	10,00 bA ( $\pm 0,92$ )
7%	Li	11,80 bcB ( $\pm 1,05$ )	6,33 bA ( $\pm 0,91$ )	12,20 abA ( $\pm 0,98$ )	9,73 bA ( $\pm 0,74$ )
50 $\mu$ l	Li	20,00 aA ( $\pm 0$ )	16,53 aA ( $\pm 0,44$ )	12,40 abA ( $\pm 0,98$ )	14,26 aA ( $\pm 0,92$ )
Controle	-	3,00 eA ( $\pm 0,43$ )	1,06 cA ( $\pm 0,28$ )	2,46 eA ( $\pm 0,35$ )	1,46 cdA ( $\pm 0,41$ )

**Tabela 11-** Concentração letal determinada pela análise de regressão Probit para a toxicidade por contato dos OEs de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) sobre ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*.

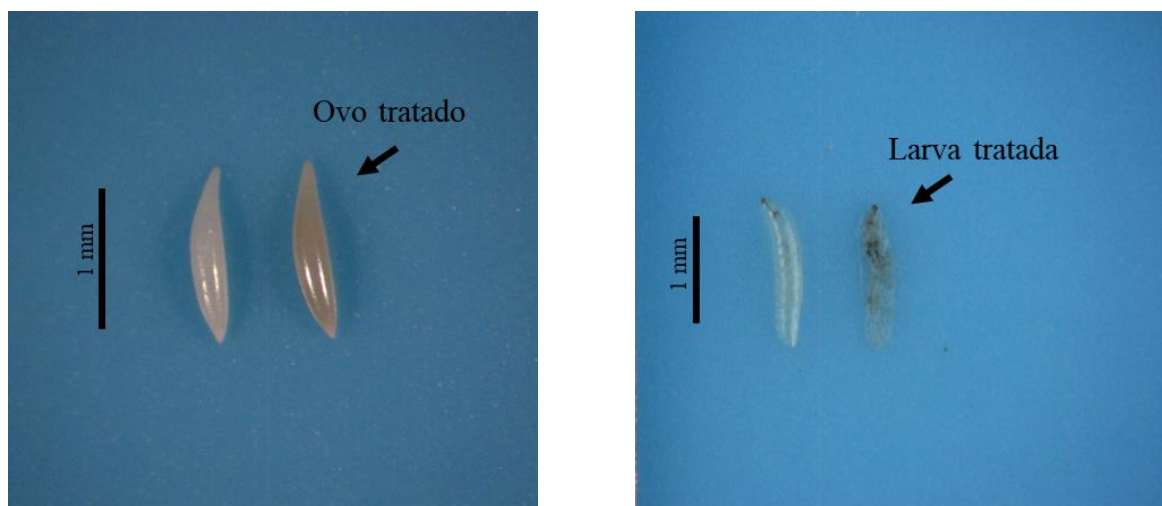
Tratamento	Imaturo/espécie	CL <sub>50</sub> (%)	Coefficiente angular ( $\pm$ EP)	X <sup>2</sup>	G.L.
OE La	Ovo/ <i>A. fraterculus</i>	2,13 (1,80–2,45)	1,28 ( $\pm 0,12$ )	0,40	2
OE La	Ovo/ <i>C. capitata</i>	27,07 (23,25–32,04)	1,45 ( $\pm 0,07$ )	4,78	2
OE Li	Ovo/ <i>A. fraterculus</i>	3,14 (1,30–7,63)	0,86 ( $\pm 0,24$ )	3,94	2
OE Li	Ovo/ <i>C. capitata</i>	15,79 (13,28–19,04)	1,11 ( $\pm 0,06$ )	1,67	2
OE La	Larva/ <i>A. fraterculus</i>	6,40 (5,17–7,95)	0,71 ( $\pm 0,05$ )	0,57	3
OE La	Larva/ <i>C. capitata</i>	36,28 (30,31–44,43)	1,27 ( $\pm 0,06$ )	4,26	3
OE Li	Larva/ <i>A. fraterculus</i>	4,90 (1,62–14,81)	0,91 ( $\pm 0,27$ )	5,47	2
OE Li	Larva/ <i>C. capitata</i>	6,18 (5,12–7,96)	1,04 ( $\pm 0,12$ )	1,84	2

**Tabela 12-** Médias ( $\pm$  erro padrão) da mortalidade de ovos e larvas (N = 20) de *A. fraterculus* e *C. capitata* após o após a exposição aos voláteis dos OEs não diluídos de laranja (La) e lima ácida (Li). Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada estágio imaturo, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Tratamento ( $\mu$ l)	OE	Ovos		Larvas	
		<i>A. fraterculus</i>	<i>C. capitata</i>	<i>A. fraterculus</i>	<i>C. capitata</i>
10	La	5,86 cA ( $\pm 0,55$ )	7,93 bA ( $\pm 1,07$ )	6,40 dA ( $\pm 0,79$ )	7,73 bA ( $\pm 0,89$ )
25	La	12,86 bA ( $\pm 0,75$ )	8,53 bA ( $\pm 0,70$ )	10,26 cA ( $\pm 0,91$ )	9,66 abA ( $\pm 1,04$ )
50	La	19,33 aA ( $\pm 0,21$ )	14,00 aB ( $\pm 0,86$ )	14,60 abA ( $\pm 0,76$ )	13,26 aA ( $\pm 1,28$ )
75	La	19,93 aA ( $\pm 0,06$ )	16,60 aA ( $\pm 0,72$ )	15,86 aA ( $\pm 0,60$ )	9,73 abB ( $\pm 0,89$ )
10	Li	5,60 cA ( $\pm 1,05$ )	5,33 bcA ( $\pm 0,81$ )	6,33 dA ( $\pm 0,71$ )	7,86 bA ( $\pm 1,17$ )
25	Li	17,26 aA ( $\pm 0,78$ )	8,93 bB ( $\pm 1,05$ )	11,53 bcA ( $\pm 1,01$ )	9,06 abB ( $\pm 1,05$ )
50	Li	18,46 aA ( $\pm 0,77$ )	13,46 aB ( $\pm 1,06$ )	15,20 aA ( $\pm 0,75$ )	12,73 aA ( $\pm 1,45$ )
75	Li	20,00 aA ( $\pm 0$ )	16,00 aA ( $\pm 0,69$ )	15,46 aA ( $\pm 0,73$ )	11,26 abB ( $\pm 1,14$ )
Controle	-	4,40 cA ( $\pm 0,56$ )	1,80 cA ( $\pm 0,38$ )	2,80 eA ( $\pm 0,32$ )	1,20 cA ( $\pm 0,31$ )

**Tabela 13-** Concentração letal determinada pela análise de regressão Probit para a toxicidade por exposição aos voláteis dos OEs de laranja (La) e lima ácida (Li) sobre ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*.

Tratamento	Imaturo/espécie	CL <sub>50</sub> (%)	Coefficiente angular ( $\pm$ EP)	X <sup>2</sup>	G.L.
OE La	Ovo/ <i>A. fraterculus</i>	16,11 (5,70–26,41)	3,24 ( $\pm 0,53$ )	5,57	2
OE La	Ovo/ <i>C. capitata</i>	18,70 (0,02–41,04)	1,34 ( $\pm 0,29$ )	5,08	2
OE Li	Ovo/ <i>A. fraterculus</i>	14,00 (6,55–21,07)	3,61 ( $\pm 0,54$ )	1,31	2
OE Li	Ovo/ <i>C. capitata</i>	26,09 (23,35–28,97)	1,66 ( $\pm 0,11$ )	1,87	2
OE La	Larva/ <i>A. fraterculus</i>	21,36 (18,67–24,05)	1,51 ( $\pm 0,11$ )	0,69	2
OE La	Larva/ <i>C. capitata</i>	45,92 (5,61–100,0)	0,35 ( $\pm 0,19$ )	3,14	2
OE Li	Larva/ <i>A. fraterculus</i>	19,66 (17,01–22,27)	1,48 ( $\pm 0,12$ )	1,20	2
OE Li	Larva/ <i>C. capitata</i>	27,96 (7,46–100,0)	0,63 ( $\pm 0,25$ )	4,54	2



**Figura 20** - Ovos e larvas de *A. fraterculus* após a exposição aos voláteis de OEs de citros durante 24h dentro de uma placa de Petri de vidro. Foto: L. R. F. Louzeiro.

### 5.1.5 Estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira

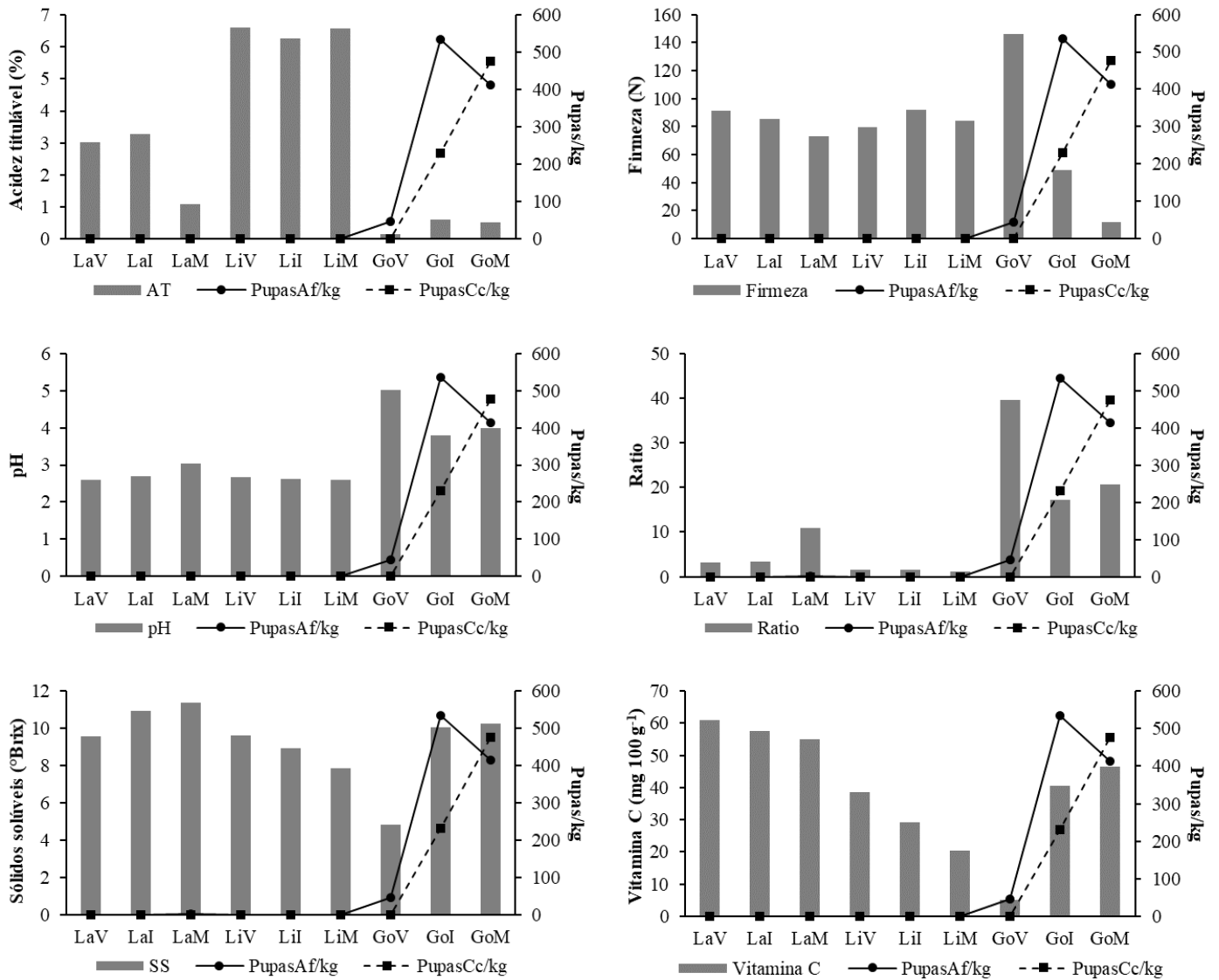
A relação entre os parâmetros biológicos das moscas (pupas/kg, viabilidade pupal e ovos/postura) e as características físico-químicas das frutas (acidez titulável, firmeza, pH, ratio, sólidos solúveis e vitamina C) ainda não ficou clara. Foram observadas poucas relações entre os parâmetros biológicos das moscas e as características físico-químicas das frutas. O índice de infestação pupas/kg e a viabilidade pupal apresentaram uma relação inversamente proporcional com a acidez titulável e a firmeza das frutas. Assim, pupas/kg e a viabilidade pupal foram maiores quando a acidez titulável e a firmeza da casca das frutas foram menores. Essa relação ficou mais clara principalmente para *C. capitata* em goiabas (Figuras 21 e 22). O parâmetro ovos/postura de *A. fraterculus* não apresentou relação com as características físico-químicas das frutas. No entanto, deve haver uma relação considerável entre ovos/postura de *C. capitata* e as características físico-químicas das frutas. *Ceratitis capitata* preferiu ovipositar em frutas menos ácidas, com menor firmeza e com ratio e sólidos solúveis mais elevados (Figura 23).

Foram observadas poucas relações entre os parâmetros biológicos das moscas e as características da casca (área das bolsas de OE, espessura da casca e número de bolsas de OE) de laranjas e limas ácidas. No entanto, parece haver uma fraca relação inversamente proporcional entre pupas/kg e viabilidade pupal de *A. fraterculus* com o número de bolsas de OE em laranja (Figuras 24 e 25); e entre ovos/postura de *C. capitata* com o número de bolsas de OE também em laranjas (Figura 26).

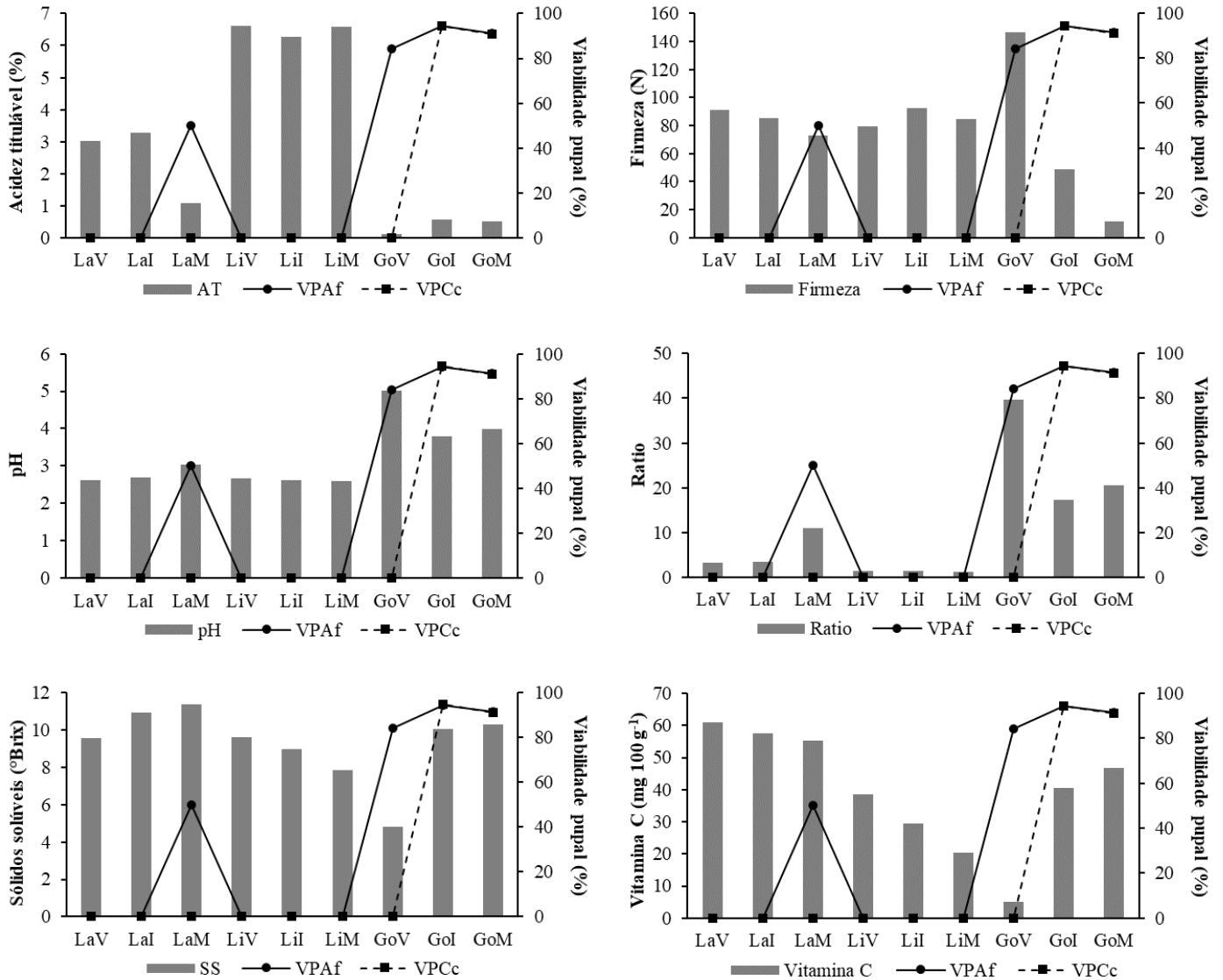
A primeira análise PCA entre os parâmetros biológicos de *A. fraterculus* e *C. capitata* (pupas/fruta, pupas/kg e viabilidade pupal) e as características físico-químicas de laranja, lima ácida e goiaba nos três estádios de maturação (acidez titulável, firmeza da casca, pH, ratio, sólidos solúveis, vitamina C, luminosidade, a\*, b\* e ângulo Hue) foi explicada por 13 componentes principais. Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) corresponderam ou explicaram 68,5% da variação total dos dados. O PC1, que explicou 38,1% da variação dos dados, separou LaV, LaI, LiV, LiI, LiM e GoV (eixo negativo) de LaM, GoI e GoM (eixo positivo), independentemente da espécie de mosca. O PC1 mostrou uma relação positiva entre os índices de infestação (pupas/frutas e pupas/kg) das moscas e a cor da casca (luminosidade, a\*, b\* e ângulo Hue), pH, ratio, sólidos solúveis e vitamina C de LaM, GoI e GoM; além de uma relação negativa entre a viabilidade pupal das moscas e a acidez titulável e firmeza da casca de LaV, LaI, LiV, LiI, LiM e GoV (Figura 27). O PC2, que explicou 30,4% da variação dos dados, separou GoV e GoI

(eixo negativo) de LaV, LaI, LaM, LiV, LiI, LiM e GoM (eixo positivo), independentemente da espécie de mosca. O PC2 mostrou uma relação positiva entre viabilidade pupal das moscas e a acidez titulável, sólidos solúveis, vitamina C, luminosidade, a\*, b\* de LaV, LaI, LaM, LiV, LiI, LiM e GoM; além de uma relação negativa entre pupas/frutas e pupas/kg das moscas e o pH, ratio e firmeza da casca e ângulo Hue de GoV e GoI (Figura 27).

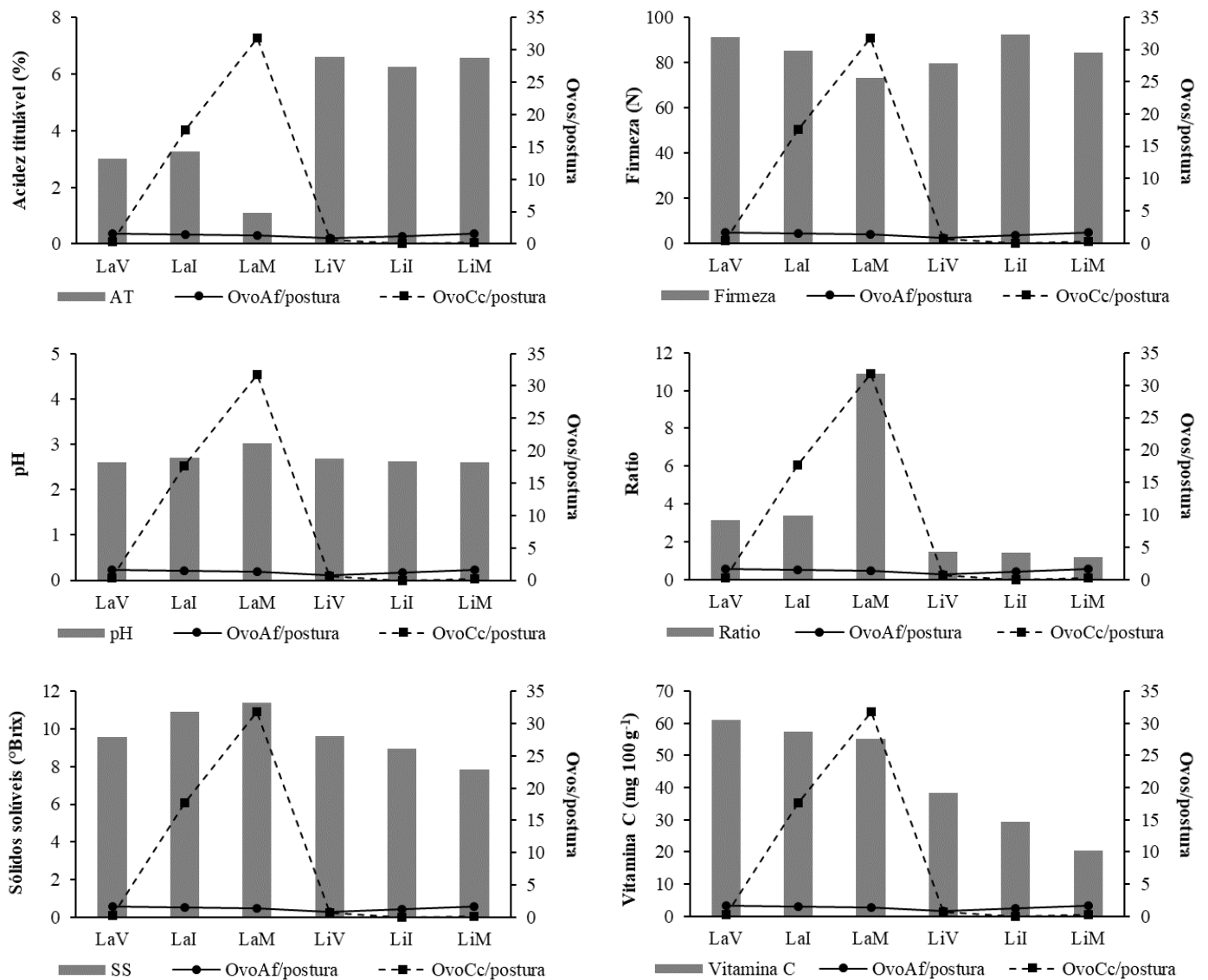
A segunda análise PCA entre os parâmetros biológicos de *A. fraterculus* e *C. capitata* (pupas/fruta, pupas/kg, viabilidade pupal e ovos/postura) e as características físico-químicas de laranja e lima ácida nos três estádios de maturação (acidez titulável, firmeza da casca, pH, ratio, sólidos solúveis, vitamina C, área das bolsas de OEs, espessura da casca, número de bolsas de OEs, luminosidade, a\*, b\* e ângulo Hue) foi explicada por 12 componentes principais. O PC1 e PC2 explicaram 82,5% da variação total dos dados. O PC1 explicou 54,3% da variação dos dados e separou LaI e LaM (eixo positivo) de LaV, LiV, LiI e LiM (eixo negativo), independentemente da espécie de mosca. O PC1 mostrou uma relação positiva entre pupas/fruta, pupas/kg e ovos/postura das moscas e o pH, sólidos solúveis, ratio, vitamina C, luminosidade, a\* e b\* e área das bolsas de OEs de LaI e LaM; além de uma relação negativa entre viabilidade pupal das moscas e a acidez titulável, ângulo Hue, firmeza da casca, espessura da casca e número de bolsas de OEs de LaV, LiV, LiI e LiM (Figura 28). O PC2 explicou 28,2% da variação dos dados e separou LaV, LaI e LaM infestada por *C. capitata* (eixo positivo) de LaM infestada por *A. fraterculus* e LiV, LiI e LiM (eixo negativo). O PC2 mostrou uma relação positiva entre pupas/fruta, pupas/kg e ovos/postura das moscas e a firmeza da casca, pH, ratio, sólidos solúveis, vitamina C, área das bolsas de OEs, espessura da casca, número de bolsas de OEs e ângulo Hue de LaV, LaI e LaM infestada por *C. capitata*; além de uma relação negativa entre viabilidade pupal das moscas e a acidez titulável, luminosidade, a\* e b\* de LaM infestada por *A. fraterculus* e LiV, LiI e LiM (Figura 28).



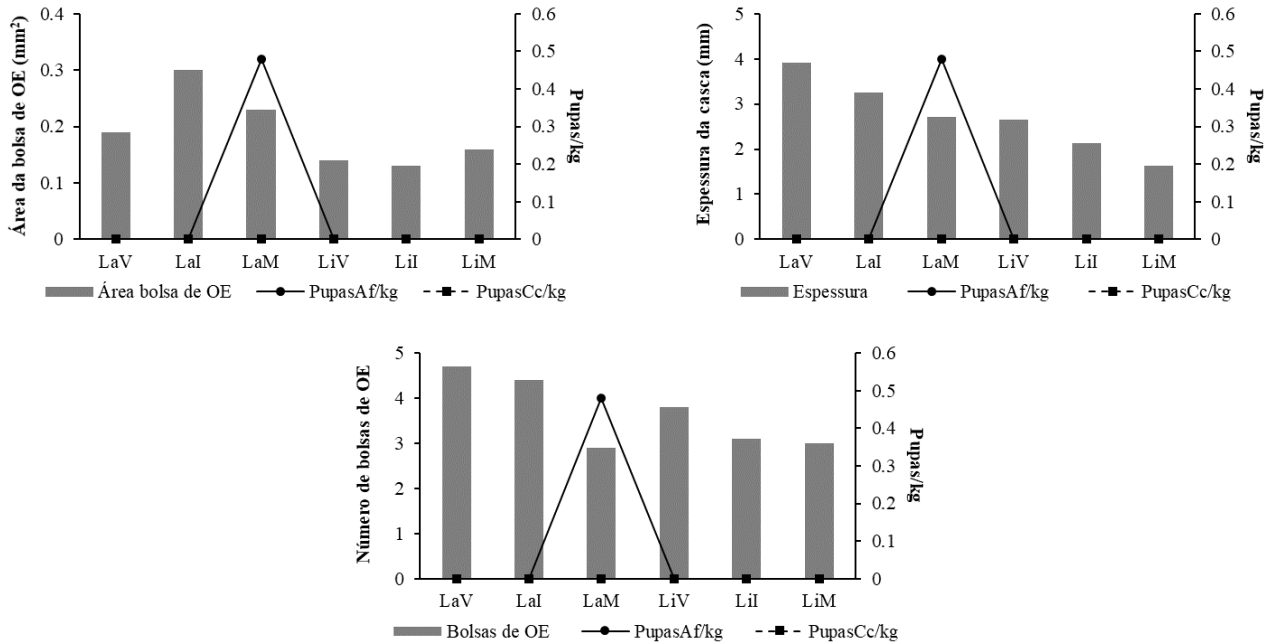
**Figura 21** - Relação entre pupas/kg de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La), lima ácida cv. Tahiti (Li) e goiaba cv. Tailandesa (Go) (controle) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).



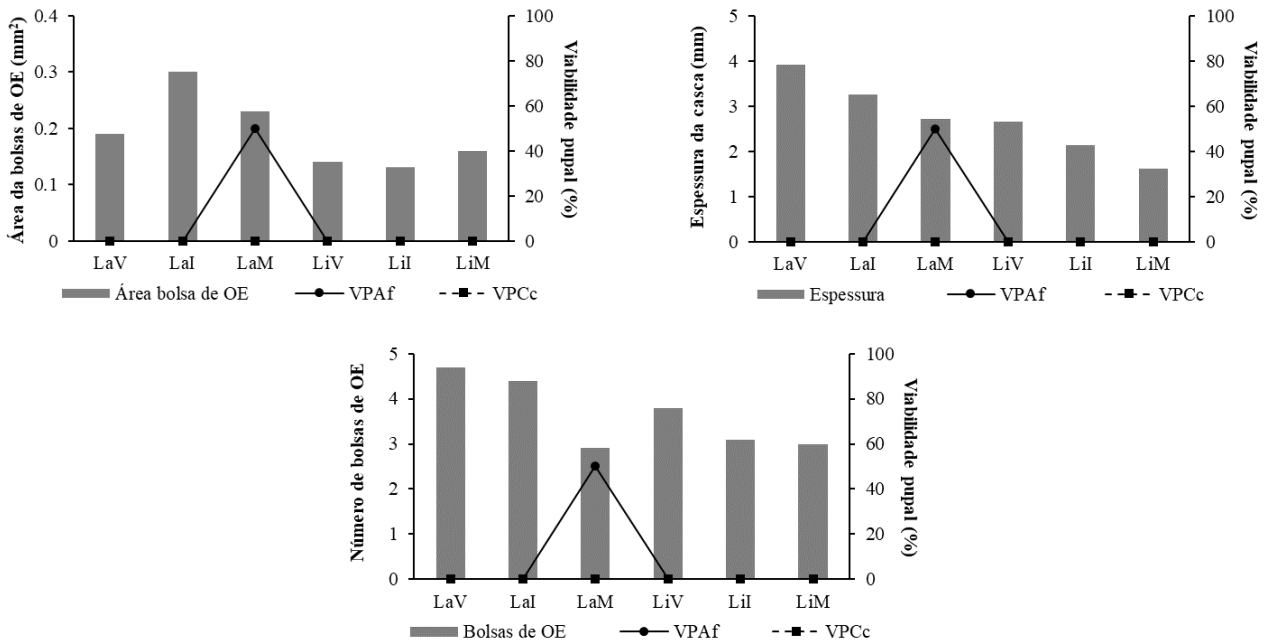
**Figura 22** - Relação entre viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La), lima ácida cv. Tahiti (Li) e goiaba cv. Tailandesa (Go) (controle) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).



**Figura 23** - Relação entre ovos/postura de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

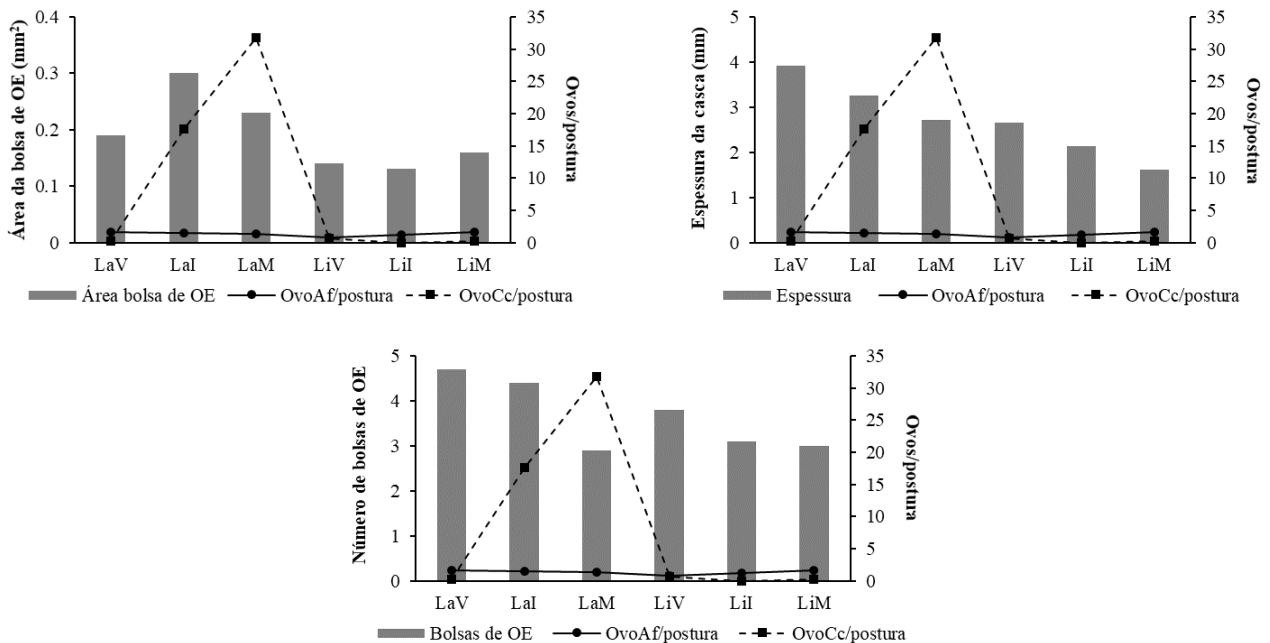


**Figura 24** - Relação entre pupas/kg de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

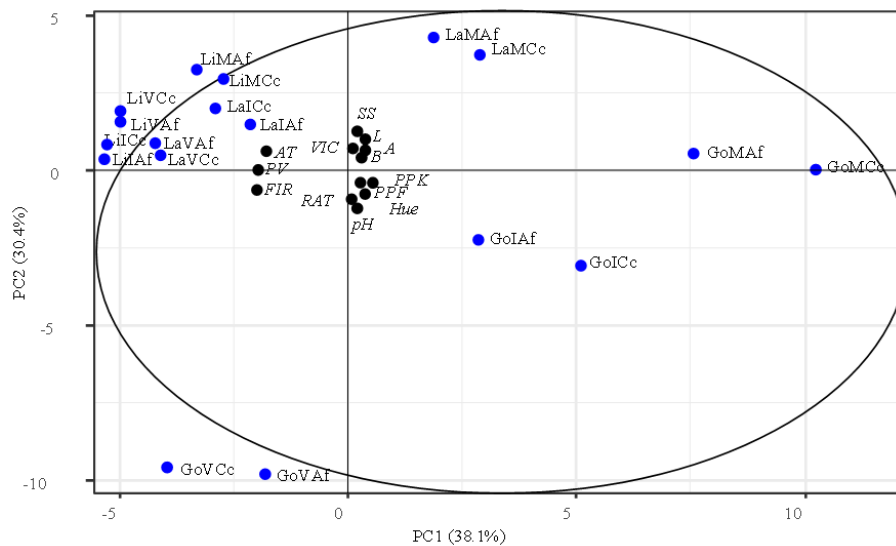


**Figura 25** - Relação entre viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).

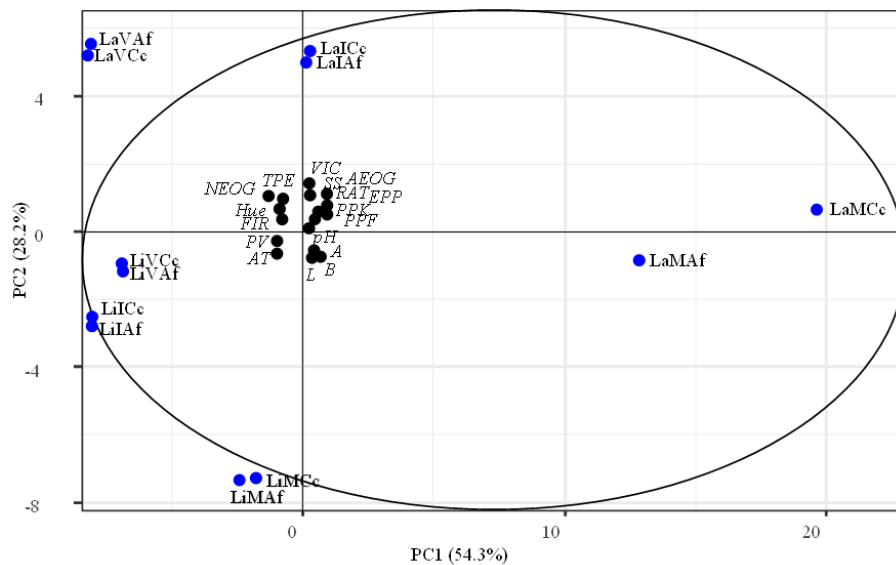




**Figura 26** - Relação entre ovos/postura de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características da casca de laranja cv. Pera (La) e lima ácida cv. Tahiti (Li) nos estádios de maturação verde (V), intermediário (I) e maduro (M).



**Figura 27** - Relação entre componentes principais 1 e 2 para os parâmetros biológicos pupas/fruta (PPF), pupas/kg (PPK) e viabilidade pupal (PV) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas acidez titulável (TA), firmeza da casca (FIR), pH (PH), ratio (RAT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIC), luminosidade (L), a\* (A), b\* (B) e ângulo Hue (HUE) de laranja verde (LaV), laranja intermediária (LaI), laranja madura (LaM), lima ácida verde (LiV), lima ácida intermediária (LiI), lima ácida madura (LiM), goiaba (controle) verde (GoV), goiaba intermediária (GoI) e goiaba madura (GoM). (●) representa os tratamentos (scores) de PC1/PC2 e (●) representa as variáveis (loadings) biológicas das moscas e as características físico-químicas das frutas.



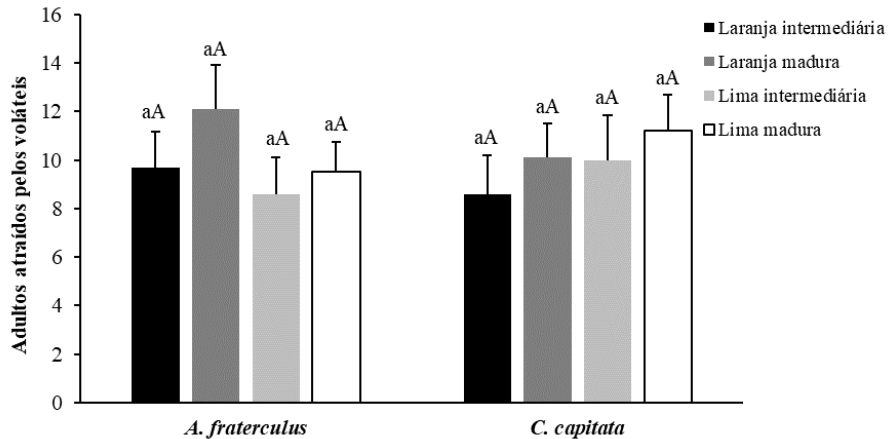
**Figura 28** - Relação entre componentes principais 1 e 2 para os parâmetros biológicos pupas/fruta (PPF), pupas/kg (PPK), ovos/postura (EPP) e viabilidade pupal (PV) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) e as características físico-químicas acidez titulável (TA), firmeza da casca (FIR), pH (PH), ratio (RAT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIC), luminosidade (L),  $a^*$  (A),  $b^*$  (B), ângulo Hue (HUE), espessura da casca (TPE), número de bolsas de OEs (NEOG) e área das bolsas de OEs (AEOG) de laranja verde (LaV), laranja intermediária (LaI), laranja madura (LaM), lima ácida verde (LiV), lima ácida intermediária (LiI) e lima ácida madura (LiM). (●) representa os tratamentos (scores) de PC1/PC2 e (●) representa as variáveis (loadings) biológicas das moscas e as características das frutas.

## 5.2 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos

Nos experimentos com olfatômetro, *A. fraterculus* foi mais atraída pelos voláteis de LaM e *C. capitata* pelos voláteis de LiM. No entanto, o comportamento de atração das moscas foi similar e não significativo estatisticamente entre laranjas e limas nos estádios intermediário e maduro (Figura 29).

Nas infestações forçadas no gaiolão, o linalol em contato com goiabas reduziu os índices de infestação pupas/fruta e pupas/kg e a viabilidade pupal de *A. fraterculus* e *C. capitata* (Tabela 14). No entanto, o linalol provocou fitotoxicidade nas frutas (Figura 30). Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os índices de infestação e viabilidade pupal de goiabas tratadas com linalol diluído a 0,01, 0,1 e 0,3% e o controle (Tabela 14). Os índices de infestação de *A. fraterculus* foram maiores do que *C. capitata*, principalmente em goiabas tratadas com linalol diluído a 0,1%. A viabilidade pupal de *C. capitata* foi maior do que *A. fraterculus* na diluição

0,01% e no controle. A fitotoxidade do linalol sobre as goiabas foi maior nas maiores concentrações de linalol testadas (Tabela 14).



**Figura 29** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata* atraídas pelos voláteis de laranjas e limas ácidas frescas expostas em olfatômetro de quatro vias. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas representam diferença estatística pelo teste t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 14**- Médias e variação (mínimo - máximo) dos índices de infestação e viabilidade pupal (VP) de *A. fraterculus* (Af) e *C. capitata* (Cc) em goiabas tratadas com linalol em infestação forçada no gaiolão, seguida pela fitotoxidade do linalol em goiabas. Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, dentro de cada parâmetro, representam diferença estatística pelo teste t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

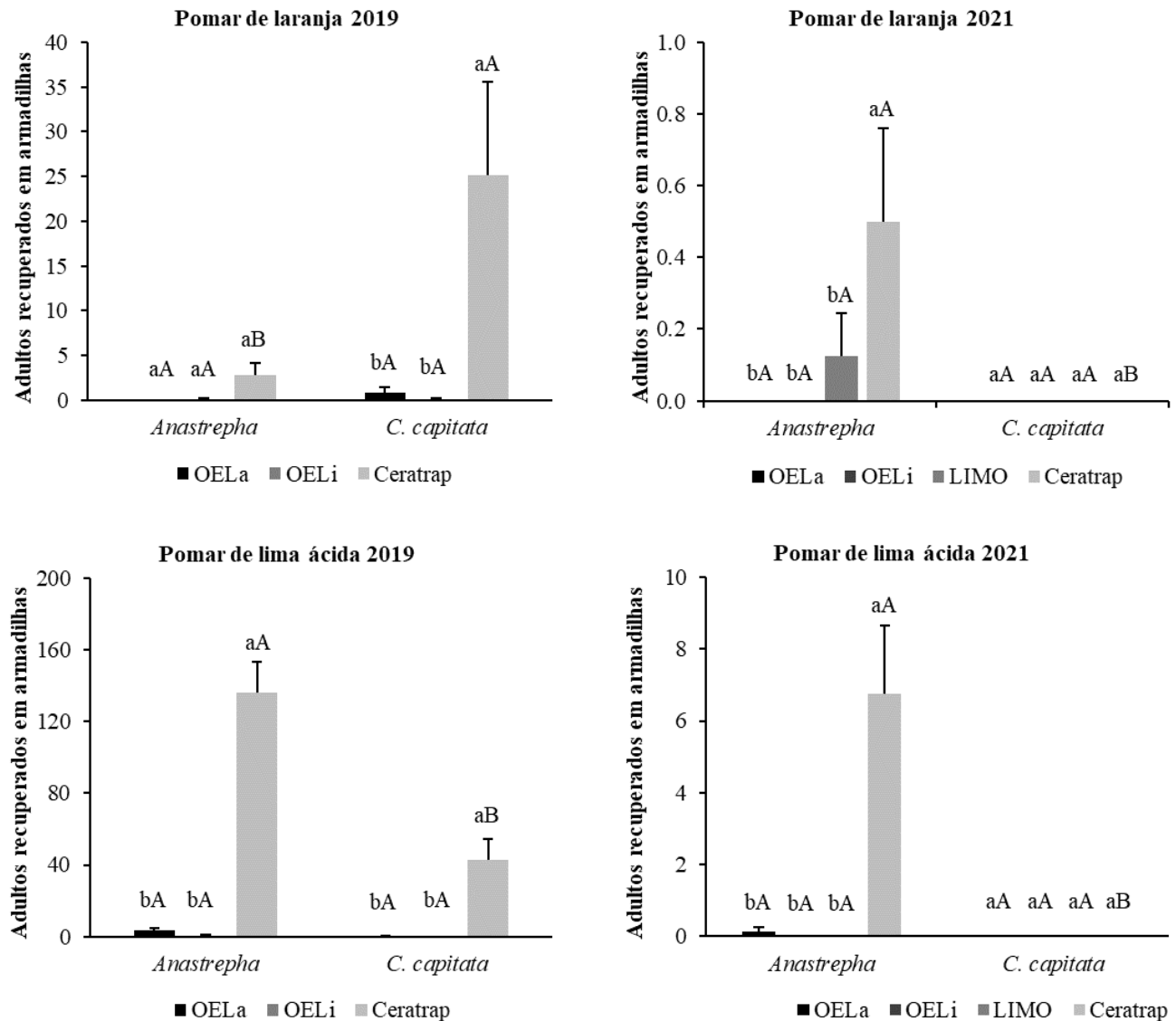
Tratamento	Pupas/fruta		Adultos/fruta		Pupas/kg		VP%		Fitotox.
	Af	Cc	Af	Cc	Af	Cc	Af	Cc	
0,01%	80,2 aA (0-173)	37,1 aA (4-86)	67,5 aA (0-154)	34,2 aB (4-86)	262,0 aA (0-655,3)	146,2 aA (14,7-309,3)	67,9 aA (0-92,2)	88,0 aA (60,0-100)	0,75 b (0-2)
0,10%	107,6 aA (12-220)	26,0 aB (1-96)	98,3 aA (12-209)	22,8 abB (0-91)	389,8 aA (52,6-815,1)	90,1 aB (4,8-269,6)	87,1 aA (59,2-100)	74,4 aA (0-100)	1,37 ab (0-3)
0,30%	67,1 aA (10-140)	17,3 aA (0-96)	62,1 aA (8-136)	15,7 bA (0-84)	237,0 aA (53,1-500,0)	44,1 aA (0-221,2)	90,5 aA (80,0-97,6)	71,3 aA (0-100)	1,62 a (1-3)
Controle	103,0 aA (33-199)	77,2 aA (12-151)	86,1 aA (31-160)	71,5 aA (9-133)	398,8 aA (120,4-1005,0)	266,1 aA (37,7-513,6)	83,3 aA (59,6-93,9)	90,7 aA (75,0-100)	0 c

No experimento de atração de moscas da família Tephritidae com OEs de laranja e lima ácida, limoneno e Ceratrap (controle) no campo foram recuperadas um total de 238 espécimes no pomar laranja e 1.521 no pomar de lima ácida. No pomar de laranja foram recuperados 29 espécimes de *Anastrepha* spp. (20 ♀ e 9 ♂) e 209 de *C. capitata* (142 ♀ e 67 ♂) e no pomar de lima ácida foram recuperados 1.178 espécimes de *Anastrepha* spp. (598 ♀ e 580 ♂) e 343 de *C.*

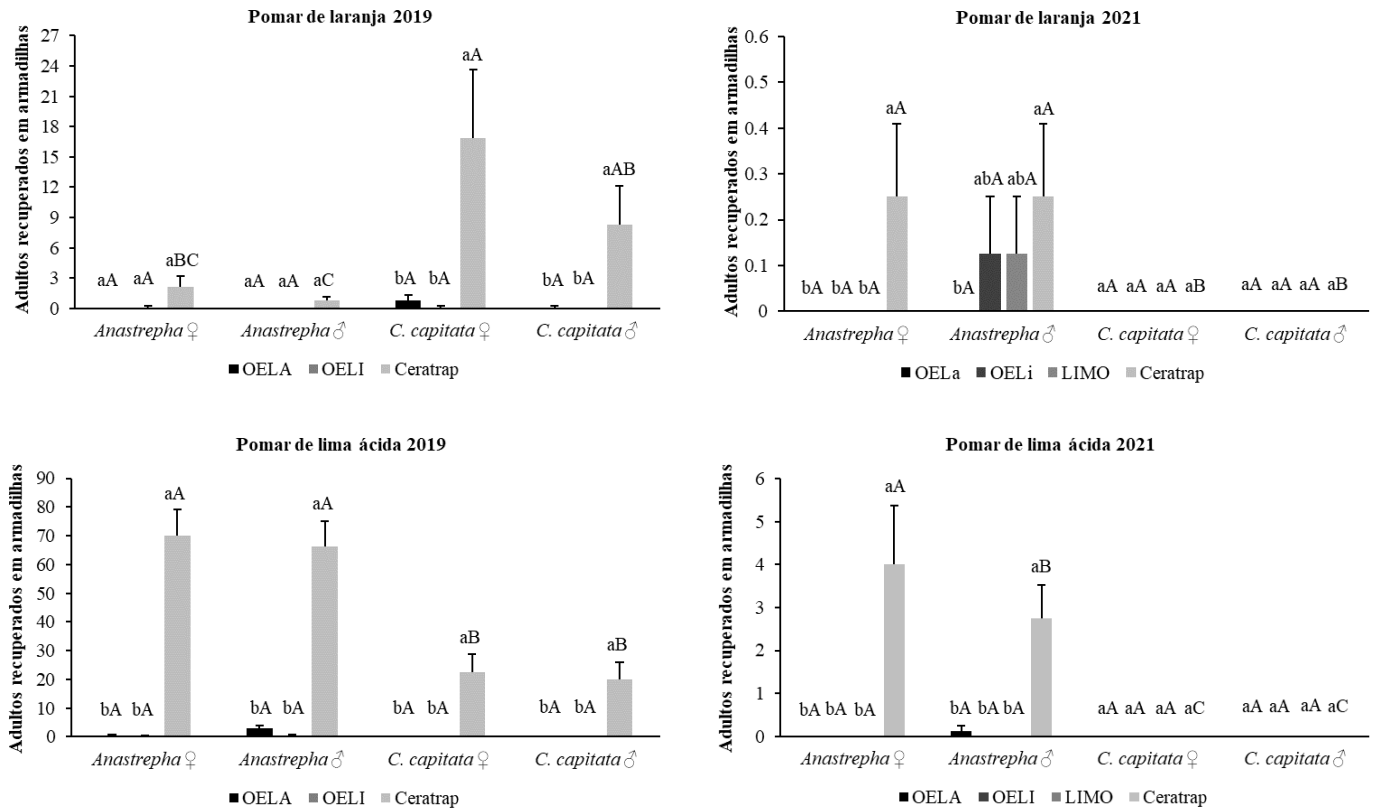
*capitata* (182 ♀ e 161 ♂). O Ceratrap recuperou estatisticamente mais moscas do que os OEs e o limoneno nos dois pomares estudados em 2019 e 2021 (Figura 31). No pomar de laranja em 2019, o Ceratrap foi mais atrativo para *C. capitata* do que para *Anastrepha* spp. e em 2021 aconteceu o inverso. No pomar de lima ácida, o Ceratrap foi mais atrativo para *Anastrepha* spp. do que *C. capitata* em 2019 e 2021. Em 2019, o OE de laranja foi mais atrativo que o OE de lima ácida para *C. capitata* no pomar de laranja e para *Anastrepha* spp. no pomar de lima ácida. Em 2021, *Anastrepha* spp. foi mais recuperada do que *C. capitata* em armadilhas com OE de lima ácida no pomar de laranja e com OE de laranja no pomar de lima ácida. No entanto, não houve diferença estatística entre as médias de recuperação de moscas entre os OEs e o limoneno nos dois pomares estudados (Figura 31). No pomar de laranja em 2019, o Ceratrap recuperou mais *C. capitata* fêmeas na comparação com os OEs e com fêmeas e machos de *Anastrepha* spp. Em 2021, o Ceratrap recuperou mais *Anastrepha* spp. fêmeas e machos e o OE de lima ácida e o limoneno recuperou mais *Anastrepha* spp. machos. No pomar de lima ácida em 2019 e 2021, o Ceratrap recuperou significativamente mais *Anastrepha* spp. fêmeas na comparação com os OEs e o limoneno. O OE de laranja foi o tratamento mais atrativo para *C. capitata* fêmeas no pomar de laranja e principalmente para *Anastrepha* spp. machos no pomar de lima ácida (Figura 32).



**Figura 30** - Fitotoxidade em goiabas tratadas com linalol usadas no experimento de repelência à oviposição no gaiolão. Foto: L. R. F. Louzeiro.



**Figura 31** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de adultos (fêmeas + machos) de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* recuperados em armadilhas com OE de laranja cv. Pera (OELA) e lima ácida cv. Tahiti (OELi), limoneno (LIMO) e atraente proteico Ceratrap (controle) nos pomares de laranja e lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas em cada tratamento, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).



**Figura 32** - Médias ( $\pm$  erro padrão) do número de fêmeas e machos de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* recuperadas em armadilhas com OE de laranja cv. Pera (OELa), lima ácida cv. Tahiti (OELi), limoneno (LIMO) e atraente proteico Ceratrap (controle) nos pomares de laranja e lima ácida em Mogi Mirim, SP, Brasil, 2019 e 2021. Letras minúsculas dentro da espécie de mosca e letras maiúsculas entre as espécies de moscas em cada tratamento, representam diferença estatística pelo test t LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 Status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta

Laranjas cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti são hospedeiros de *A. fraterculus* e *C. capitata*. No entanto, o status hospedeiro dessas frutas foi determinado pelo seu estágio de maturação. Os resultados deste estudo mostraram que LaV, LiV e LiI não são hospedeiros de moscas-das-frutas. A literatura recomenda uma série de experimentos chave que devem ser conduzidos para fornecer informações e posterior determinação do status hospedeiro de uma fruta ou vegetal para moscas-das-frutas (COWLEY et al., 1992; SOUSA; RAGA, 2018). Esses experimentos incluem amostragem de frutas no campo, para avaliar a infestação natural e a incidência das moscas; e infestação forçada de frutas, para avaliar o desenvolvimento dos estádios imaturos do inseto até a fase adulta (COWLEY et al., 1992). O presente estudo buscou avaliar o status hospedeiro de laranjas e limas ácidas por meio desses experimentos chave. Além disso, este estudo também buscou entender as razões que levam uma espécie de mosca-das-frutas a se desenvolver ou não em uma fruta e como essa fruta pode variar o status hospedeiro de acordo com o seu estágio de maturação. Os dados compilados deste estudo sobre a caracterização físico-química das frutas, incidência de moscas no campo, infestação forçada de frutas e toxicidade dos OEs de citros foram a base teórica para entender o status hospedeiro de laranja e lima ácida em relação ao estágio de maturação da fruta.

A separação dos estádios de maturação de laranjas, limas ácidas e goiabas pela avaliação do comprimento, diâmetro, massa e cor da casca das frutas foi realizada com êxito. Por meio dessa separação, uma espécie frutífera mostrou diferenças estatísticas significativas na acidez titulável, firmeza da casca, pH, ratio, sólidos solúveis, vitamina C, espessura da casca, número de bolsas de OE e área das bolsas de OE em relação ao seu estágio de maturação. Os experimentos sobre a incidência de moscas frugívoras em armadilhas e amostras de frutas no campo, mostraram que as moscas estudadas, *A. fraterculus* e *C. capitata*, estão presentes no pomar de citros durante todas as épocas do ano e que essas moscas conseguem completar seu ciclo de vida em LaM e LiM. Os experimentos de infestação de frutas em laboratório e campo, mostraram que *A. fraterculus* e *C. capitata* sob estresse de infestação forçada podem ovipositar em frutas que não permitem e/ou não oferecem recursos alimentares para o desenvolvimento imaturo do inseto até a fase adulta. Esse foi

o caso de LaV, LiV, LiI e LiM para *A. fraterculus* e de LaV, LiV e LiI para *C. capitata*. Os experimentos de toxicidade dos OEs de laranja e lima ácida sobre imaturos de moscas, mostraram que OEs apresentam composição diferente, mas são similarmente tóxicos para ovos e larvas de moscas-das-frutas. O Estudo da relação entre os parâmetros biológicos das moscas frugívoras e as características físico-químicas das frutas não ficou claro. No entanto, pode-se perceber que os parâmetros biológicos das moscas estão associados principalmente à acidez titulável, a firmeza da casca e ao número de bolsas de OE das frutas cítricas.

Muitos fatores podem influenciar na relação entre inseto e hospedeiro e conseqüentemente o status desse hospedeiro. Em campo, as condições climáticas (VAYSSIÈRES et al., 2009), presença de inimigos naturais (PRICE et al., 1980) e competição entre fêmeas (neste estudo foram 5 fêmeas por fruta) são alguns dos exemplos. Esses fatores podem explicar parcialmente a não recuperação de pupas e adultos em laranjas e limas ácidas que passaram pelo experimento de infestação forçada no campo, pois a amostragem de frutas realizadas no mesmo local, mostrou que *A. fraterculus* e *C. capitata* em infestação natural, conseguem completar seu ciclo de vida em laranjas e limas ácidas. Além disso, o sucesso na infestação forçada de goiabas (controle) no campo mostrou que as moscas de laboratório testadas estavam aptas para reprodução e em altas taxas.

A composição físico-química da fruta hospedeira provavelmente é o fator mais relevante na relação entre inseto e hospedeiro. Os recursos alimentares oferecidos pelos hospedeiros é um fator determinante para o desenvolvimento dos estádios imaturos das moscas (FONTELLAS-BRANDALHA; ZUCOLOTO, 2004), pois ele é responsável por maximizar o desempenho das larvas e conseqüentemente o desenvolvimento da prole (SEGURA et al., 2007; COSTA et al., 2011). Essas informações se baseiam na hipótese de que existe uma relação positiva entre a preferência de oviposição das fêmeas e desempenho dos imaturos de insetos (THOMPSON, 1988; JOACHIM-BRAVO et al., 2001). Entretanto, essa relação nem sempre é positiva. Por exemplo, o comportamento de polifagia de *A. fraterculus* e *C. capitata* pode fazer com que as fêmeas escolham hospedeiros inadequados para o desenvolvimento da prole devido à carência de discriminação na escolha de hospedeiros e de fatores adaptativos do inseto (KRAINACKER et al., 1987). O presente estudo mostrou que o comportamento de polifagia de *A. fraterculus* e *C. capitata* fez com que essas moscas depositassem ovos em laranjas e limas ácidas inadequadas para o desenvolvimento de ovos e larvas. Esse foi o caso de laranjas e limas nos estádios verde e intermediário que ofereceram baixos ou nenhum índice de infestação e recuperação de adulto (viabilidade pupal).



A acidez titulável foi o principal componente dentro dos recursos alimentares do hospedeiro que teve uma relação com os parâmetros biológicos das moscas quando elas infestaram laranjas, limas ácidas e goiabas. O pH e acidez titulável elevados dos citros, em relação a outras frutas, é citado como um fator que compromete o desenvolvimento dos imaturos e aumenta a mortalidade larval de moscas-das-frutas (PAPACHRISTOS et al., 2008). Além da acidez, os sólidos solúveis e a firmeza da casca foram relevantes na relação entre inseto e hospedeiro. Maiores teores de sólidos solúveis propiciam maior sobrevivência dos imaturos e menor firmeza da casca (maior maciez) é preferido para oviposição (RATTANAPUN et al., 2009; LOUZEIRO et al., 2020).

Algumas características da composição físico-química do hospedeiro podem se tornar fatores de resistência para insetos fitófagos. Frutas que apresentam casca espessa, presença de bolsas ou glândulas de OE (exemplo citros) e dutos de resina (exemplo manga) ou látex (exemplo mamão) aumentam as taxas de mortalidade dos imaturos de moscas-das-frutas (GREANY et al., 1983; NUÑES-BUENO 1987; GUILLÉN et al., 2017; CUGALA et al., 2017). Neste estudo, não foi encontrada associação entre espessura da casca, número de bolsas de OE e área das bolsas de OE com os parâmetros biológicos das moscas (pupas/fruta, pupas/kg, viabilidade pupal e ovos/postura). No entanto, a toxicidade dos OEs presentes na casca de laranjas e limas ácidas foi uma barreira química capaz de inviabilizar o desenvolvimento dos estádios imaturos de moscas-das-frutas. Provavelmente a toxicidade dos OEs dos citros está relacionado a maior concentração de limoneno (RUIZ et al., 2014).

De modo geral, o status hospedeiro de laranjas e limas ácidas não pode ser explicado apenas pelo estudo de uma ou duas características físico-químicas da fruta hospedeira, mas sim pelo seu conjunto. Além disso, o comportamento de adaptação do inseto são fatores determinantes no status hospedeiro. Portanto, quando as moscas-das-frutas ovipositam em citros, os ovos e larvas conseguirão completar seu ciclo de vida após vencer a barreira química das bolsas de OE e a barreira física da espessura e firmeza da casca até conseguir chegar na polpa. Caso as larvas consigam vencer essas primeiras barreiras e cheguem até a polpa da fruta, elas ainda precisam encontrar recursos alimentares adequados para sua nutrição e então continuar seu desenvolvimento até a fase adulta. As chances que os ovos de *A. fraterculus* e *C. capitata* têm de chegarem até a fase adulta em laranjas e limas ácidas são menores do que em goiabas devido às características de resistência desses citros. Entretanto, existe um risco de *A. fraterculus* e *C. capitata* se adaptarem ao hospedeiro e conseguirem quebrar as características de resistência de laranjas e limas ácidas.

Neste estudo foram observados pequenos indícios dessa quebra de resistência observando o comportamento de oviposição das moscas. *Ceratitis capitata* depositou significativamente mais ovos e em maior profundidade do que *A. fraterculus*, além de ser mais tolerante aos OEs. Depositar mais ovos e estes mais próximos da polpa, aumentam as chances do inseto de vencer as barreiras químicas e físicas dos citros e se desenvolver até a fase adulta (BRANCO et al., 2000). Assim os citros deixariam de ser considerados hospedeiros inadequados para moscas-das-frutas (MUTHUTHANTRI; CLARKE, 2012; DIAS et al., 2017).

Neste estudo, não foram realizados experimentos específicos sobre a relação entre os lonqueídeos e as laranjas e limas ácidas. No entanto, deve-se destacar a importância de algumas espécies de *Neosilba* que conseguiram completar seu ciclo de vida nos citros e apresentarem maiores índices de infestação pupas/fruta, pupa/kg e principalmente viabilidade pupal do que os tefritídeos estudados (*A. fraterculus* e *C. capitata*). É importante que um estudo sobre a relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira seja conduzido para *N. glaberrima* e *N. zadolicha* em laranjas e limas ácidas. Este tipo de estudo pode revelar informações sobre o status hospedeiro de laranjas e limas ácidas para esses lonqueídeos.

## **6.2 Comportamento de moscas-das-frutas em relação aos voláteis de frutas, óleos essenciais e seus compostos**

Os experimentos com olfatômetro, gaiolão e armadilhas no campo apresentaram respostas pouco consistentes para avaliar o comportamento de atração ou repelência de moscas-das-frutas. No entanto, foi observado que frutas maduras são mais atrativas para *A. fraterculus* e *C. capitata*; o composto linalol pode ativar as quimiosensilas olfatórias das moscas e forçar um comportamento de repelência de oviposição mediano; e o OE de laranja pode representar um atraente específico para *Anastrepha* spp. macho e *C. capitata* fêmea.

O experimento com olfatômetro mostrou que as fêmeas de *A. fraterculus* e *C. capitata* são mais atraídas por laranjas e limas ácidas maduras. Provavelmente essa atração está ligada a hipótese da preferência de oviposição das fêmeas e desempenho dos imaturos de insetos mencionado na discussão anterior. Frutas maduras são mais atrativas para fêmeas de moscas-das-frutas provavelmente devido ao maior teor de açúcar (DÍAZ-FLEISCHER; ALUJA, 2003). Em frutas cítricas existe a tendência da concentração do linalol declinar e de limoneno aumentar quando a fruta vai amadurecendo (GREANY et al., 1983; BOURGOU et al., 2012). Essa variação nas

concentrações dos componentes voláteis pode ativar o comportamento de atração das fêmeas de moscas-das-frutas em frutas maduras, pois muitas das vezes o linalol é citado como repelente (CHOOCHOTE et al., 2007; NERIO et al., 2010; TAVARES et al., 2018) e o limoneno como atrativo de insetos (NIOGRET et al., 2017).

O linalol é citado algumas vezes como um componente que ativa o comportamento de repelência em insetos. Os repelentes de insetos são substâncias que impedem um artrópode de voar, pousar, picar ou morder a pele humana ou animal (BLACKWELL et al., 2003). Alguns compostos conhecidos que ativam a repelência em insetos são oxigenados, tendo o grupo hidroxila ligado a um carbono primário, secundário ou aromático. No linalol o grupo hidroxila está ligado a um carbono terciário. Isso sugere que a atividade de repelência pode estar ligada ao tipo de carbono onde a substituição de hidroxila é presente (NERIO et al., 2010). Neste estudo, o linalol, que está presente nos OEs de alguns citros, apresentou alguma atividade repelente à oviposição, principalmente para fêmeas de *C. capitata*. No entanto, essa repelência à oviposição não evitou que as moscas realizassem a oviposição e em índices de infestação consideravelmente altos. Além disso, as concentrações de linalol em contato com goiabas provocou fitotoxicidade que degradou severamente as frutas. Assim, a utilização do linalol como repelente à oviposição foi inviável por ter eficácia curta, provavelmente devido a sua volatilidade (NERIO et al., 2010).

A avaliação da atratividade dos OEs de laranja e lima ácida e do composto limoneno em campo, mostrou que os adultos de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* foram atraídos pelos voláteis dos OEs e do limoneno, mas em quantidade estatisticamente inferior ao atrativo comercial Ceratrap (controle). Este experimento, teve como destaque a atração específica de machos de *Anastrepha* spp. e fêmeas de *C. capitata* para o OE de laranja, e de machos de *Anastrepha* spp. para o limoneno, principalmente no pomar de lima ácida estudado. Provavelmente as aplicações de produtos químicos no pomar de laranja influenciaram a recuperação de *Anastrepha* spp. e *C. capitata* em armadilhas. A atração específica, principalmente de moscas machos, pode estar ligada ao comportamento sexual das moscas-das-frutas. O comportamento sexual das moscas se inicia pelo agrupamento dos machos em formação de leks. Os machos presentes nos leks liberam os compostos voláteis do feromônio para atrair as fêmeas por meio da abertura vigorosa de asas (BATEMAN, 1972; ARITA; KANESHIRO, 1989). Assim, vários adultos (fêmeas e machos) de moscas-das-frutas são atraídos para esses leks. Alguns componentes voláteis presentes nos leks de moscas-das-frutas são os mesmos encontrados nos OEs de citros, exemplo limoneno e linalol

(VANÍČKOVÁ et al., 2012). Isso explica parcialmente a atração de moscas machos para os OEs de citros e para o composto limoneno. Um estudo demonstrou que a exposição de moscas a alguns componentes, como limoneno e linalol, aumenta o sucesso reprodutivo dos machos (IOANNOU et al., 2012; KOULOSSIS et al., 2013). Portanto, os machos de moscas-das-frutas se sentem altamente atraídos pelos OEs de citros e seus compostos por esses semioquímicos voláteis terem influência no sucesso do comportamento sexual e de acasalamento.

## 7 CONCLUSÕES

- Laranjas cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti apresentam diferenças físicas e físico-químicas em relação ao seu estágio de maturação. No geral, quando houve tendência de aumento dos sólidos solúveis e queda da acidez titulável, firmeza da casca, espessura da casca e número de bolsas de OE em citros maduros, as moscas-das-frutas conseguiram completar o seu ciclo de vida.
- As moscas frugívoras das famílias Lonchaeidae e Tephritidae estão presentes no pomar de citros e utilizam laranjas e limas ácidas maduras para completarem seu ciclo de vida. *Anastrepha fraterculus*, *C. capitata* e *N. zadoricha* são as espécies mais recuperadas tanto em armadilhas quanto em amostras de frutas. Essas espécies são de importância econômica no Brasil e podem provocar sérios danos à produção de citros.
- Neste estudo, foi feito o primeiro relato de infestação natural de *A. fraterculus*, *N. certa*, *N. glaberrima*, e *N. zadoricha* em lima ácida cv. Tahiti (*C. latifolia*) no estágio maduro. A lima ácida cv. Tahiti é uma das frutas mais importantes exportadas pelo Brasil. A liberação dessa fruta para exportação sem tratamento quarentenário requer o status de não hospedeiro para moscas-das-frutas. As exportações de lima ácida não devem ser afetadas por este relato de infestação natural, pois as frutas exportadas são no estágio de maturação intermediário, que não foi relatado infestação em campo e laboratório.
- *Anastrepha fraterculus* e *C. capitata* conseguem completar seu ciclo de vida em laranjas nos estádios intermediário e maduro e em limas ácidas no estágio maduro sobre infestações forçadas em laboratório.
- Os OEs de laranja cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti são tóxicos para ovos e larvas de *A. fraterculus* e *C. capitata*. A mínima exposição dos ovos e larvas aos voláteis e ao contato com os OEs, provoca mortalidade desses imaturos de moscas. Essa mortalidade é caracterizada pela mudança de cor e necrose dos ovos e larvas. Ovos necrosados são encontrados na dissecação de frutas cítricas frescas. Portanto, as bolsas ou glândulas de OE presentes na casca dos citros são importantes barreiras para o desenvolvimento de imaturos de moscas-das-frutas.
- Os OEs de laranja e lima ácida apresentam composição diferente, mas em ambos, o

composto limoneno é majoritário. Provavelmente o limoneno é o principal responsável pela toxicidade dos OEs sobre ovos e larvas de moscas-das-frutas.

- Laranjas cv. Pera e limas ácidas cv. Tahiti são hospedeiros de *A. fraterculus* e *C. capitata*. No entanto, o status hospedeiro é determinado pelo estágio de maturação da fruta. Laranjas no estágio verde e limas ácidas nos estádios verde e intermediário não são hospedeiros de moscas-das-frutas. Laranja no estágio intermediário é um hospedeiro pobre para *C. capitata* com base nos baixos índices de infestação e viabilidade pupal encontrados nessa fruta.
- O status hospedeiro está relacionado principalmente à composição físico-química da fruta hospedeira. Para os citros, o número de bolsas de OE na casca é uma barreira química; e a espessura e firmeza da casca são barreiras físicas para o desenvolvimento dos estádios imaturos de moscas-das-frutas. Além desses, a acidez titulável da polpa limita o desenvolvimento de larvas e dificulta que elas cheguem até a fase adulta.
- A relação entre inseto e hospedeiro é variável e influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, além de fatores adaptativos do inseto. O estudo da relação entre mosca frugívora e fruta hospedeira deve ser conduzido separadamente para cada espécie de mosca em um determinado hospedeiro. Assim, os resultados deste estudo não devem ser generalizados.
- No olfatômetro, laranjas e limas ácidas maduras são mais atrativas para *A. fraterculus* e *C. capitata*. No gaiolão, o composto linalol mostrou que pode ativar as quimiosensilas olfatórias das moscas e forçar um comportamento de repelência de oviposição mediano. Os OEs de laranja e lima ácida e o composto limoneno são pouco atrativos para moscas-das-frutas no campo. No entanto, o OE de laranja e o limoneno podem representar um atraente específico para machos de *Anastrepha* spp.

## 8 REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS. **Dados de exportação 2020**. Disponível em <https://abrafrutas.org/2021/02/dados-de-exportacao-2020/> Acesso em 12 de agosto de 2021.

ADAIME, R. et al. Frugivorous flies (Diptera: Tephritidae, Lonchaeidae), their host plants, and associated parasitoids in the extreme north of Amapá State, Brazil. **Florida Entomologist**, v. 100, n. 2, p. 316-324, 2017.

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. Illinois USA: Allured Publishing Corporation, Carol Stream, 2007. 804 p.

AGUIAR A. T. E. et al. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônômico. 2014. 452 p. (Boletim IAC, número 200).

ALUJA, M.; MANGAN, R. L. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: Critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. **Annual Review of Entomology**, v. 53, p. 473–502, 2008.

ALUJA, M.; PROKOPY, R. J. Host search behaviour by *Rhagoletis pomonella* flies: inter-tree movement patterns in response to wind-borne fruit volatiles under field conditions. **Physiological Entomology**, v. 17, p. 1-8, 1992.

AMORIM, J. L. et al. Anti-inflammatory properties and chemical characterization of the essential oils of four citrus species. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, e0153643, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.01536432016.

ARAUJO, E. L. et al. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no semi-árido do Rio Grande do Norte: plantas hospedeiras e índice de infestação. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 889-894, 2005.

ARAUJO, E. L. et al. Levantamento e flutuação populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em goiaba *Psidium guajava* L., no município de Russas (CE). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 138-146, 2008.

ARAUJO, F. M. U. **Revisión taxonomica parcial del género *Neosilba* McAlpine (Diptera: Lonchaeidae) en la región neotropical.** 2004. 146 f. Dissertação de Mestrado submetido a Universidade de Panamá. Panamá, Republica de Panamá, 2004.

ARITA, L. H.; KANESHIRO, K. Y. Sexual selection and lek behavior in the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Pacific Science**, v. 43, p. 135–143, 1989.

BALAGAWI, S. et al. Influence of fruit traits on oviposition preference and offspring performance of *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) on three tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) cultivars. **Australian Journal of Entomology**, v. 44, p. 97–103, 2005.

BALAGAWI, S.; DREW, R. A. I.; CLARKE, A. R. Simultaneous tests of the preference-performance and phylogenetic conservatism hypothesis: is either theory useful? **Arthropod-Plant Interactions**, v. 7, p. 299–313, 2013.

BATEMAN, M. A. The ecology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, v. 17, n. 1, p. 493-518, 1972.

BICAS, J. L. et al. Optimization of R-(+)- $\alpha$ -terpineol production by the biotransformation of R-(+)-limonene. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 9, p. 1061-1070, 2008.

BISOGNIN, M. et al. Development of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) related to the phenology of blueberry, blackberry, strawberry guava, and surinam cherry fruits. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 192–200, 2015.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BONACCORSI, I. et al. Enantiomeric distribution of key volatile components in *Citrus* essential oils. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 5, p. 841-849, 2011.

BOURGOU, S. et al. Changes of peel essential oil composition of four Tunisian citrus during fruit maturation. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 528593, 2012. DOI: 10.1100/2012/5285932012



BLACKWELL, A., STUART, A. E., ESTAMBALE, B. A. The repellent and antifeedant activity of oil of *Myrica gale* against *Aedes aegypti* mosquitoes and its enhancement by the addition of salicylic acid. **The Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh**, Edinburgh, v. 33, p. 209–214, 2003.

BRANCO, E. S., VENDRAMIM, J.D.; DENARDI, F. Resistência às moscas-das-frutas em fruteiras. In: MALAVASI, A; ZUCCHI, R. A. (eds.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: Holos. p. 161-168, v. 1 (2000).

BRESSAN, S.; TELES, M. C. Lista de hospedeiros e índice de infestação de algumas espécies do gênero *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) na região de Ribeirão Preto, SP. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 1-15, 1991.

BROUGHTON, S.; LIMA, P. F. Field evaluation of female attractants for monitoring *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) under a range of climatic conditions and population levels in Western Australia. **Journal of Economic Entomology**, v. 95, n. 2, p. 507-512, 2002.

CAMARA, C. A. G. et al. Repellent activity of essential oils from two species of *Citrus* against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. **Crop Protection**, v. 74, p. 110-115, 2015.

CARVALHO, C. R. L. et al. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. 121 p. (Manual técnico).

CHOOCHOTE, W. et al. Repellent activity of selected essential oils against *Aedes aegypti*. **Fitoterapia**, v. 78, p. 359–364, 2007.

CHRISTENSON, L. D.; FOOTE, R. H. Biology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, v. 5, p. 171-192, 1960.

COELHO, B. E. S. et al. Atributos físico-químicos de frutos de laranja 'Pêra' produzidos sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 128-137, 2019.

CONTI, B. et al. Repellent effect of *Salvia dorisiana*, *S. longifolia*, and *S. sclarea* (Lamiaceae) essential oils against the mosquito *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae). **Parasitology Research**, v. 111, p. 291–299, 2012.

COSTA, A. M. et al. Influence of different tropical fruits on biological and behavioral aspects of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera, Tephritidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 55, n. 3, p. 355–360, 2011.

COWLEY, J. M.; BAKER, R. T.; HARTE, D. S. Definition and determination of host status for multivoltine fruit fly (Diptera: Tephritidae) species. **Journal of Economic Entomology**, v. 85, n. 2, p. 312-317, 1992.

CUGALA, D.; JORDANE, J. J.; EKESI, S. Non-host status of papaya cultivars to the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae), in relation to the degree of fruit ripeness. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 37, n. 1, p. 19-29, 2017.

DIAS, V. S.; LUCKY, A. **South American fruit fly, Anastrepha fraterculus (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae)**. University of Florida. IFAS Ext. EENY-696. 2017. Disponível em: [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/south\\_american\\_fruit\\_fly.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/south_american_fruit_fly.htm) Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

DIAS, N. P. et al. Oviposition of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in citrus fruits, and development in relation to maturity of orange fruits. **Florida Entomologist**, v. 100, n. 2, p. 468-473, 2017.

DÍAZ-FLEISCHER, F. et al. Evolution of fruit fly oviposition behavior. In: ALUJA, M.; NORRBOM, A. (eds.). **Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior**. Boca Raton, Florida: CRC Press. p. 811-841. v. 1 (2000).

DÍAZ-FLEISCHER, F.; ALUJA, M. Clutch size in frugivorous insects as a function of host firmness: the case of the tephritid fly *Anastrepha ludens*. **Ecological Entomology**, v. 28, n. 3, p. 268-277, 2003.

DONADIO, L. C.; FIGUEIREDO, J. O.; PIO, R. M. **Variedades cítricas brasileiras**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 228 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **International Standards for Phytosanitary Measures 37**: determination of host status of fruit to fruit flies (Tephritidae). FAO, Rome, Italy. 2016. Disponível em <http://www.fao.org/3/cb2618en/CB2618EN.pdf> Acesso em: 23/08/2021

FAOSTAT – BANCO DE DADOS DA FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). [2020]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> Acesso em: 06 agosto de 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FOLLETT, P. A.; HAYNES, F. E. M.; DOMINIAK, B. C. Host suitability index for polyphagous tephritid fruit flies. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 3, p. 1021–1034, 2021.

FONTELLAS-BRANDALHA, T. M. L.; ZUCOLOTO, F. S. Selection of oviposition sites by wild *Anastrepha obliqua* (Macquart) (Diptera: Tephritidae) based on the nutritional composition. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 557-562, 2004.

GALDINO, L. T.; RAGA, A. **Semioquímicos em moscas-das-frutas**. Instituto Biológico – APTA. p. 1-30. 2016. (Documento técnico 29).

GISLOTI, L. J., UCHOA, M. A., PRADO, A. New records of fruit trees as host for *Neosilba* species (Diptera, Lonchaeidae) in southeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 17, n. 1, p. 1–6, 2017.

GREANY, P. D. et al. Biochemical resistance of citrus to fruit flies. Demonstration and elucidation of resistance to the Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 34, n. 1, p. 40-50, 1983.

GUILLÉN, L. et al. Effect of resin ducts and sap content on Infestation and development of immature stages of *Anastrepha obliqua* and *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) in four mango (Sapindales: Anacardiaceae) cultivars. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 2, p. 719-730, 2017.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HERNANDEZ-ORTIZ, V.; GUILLÉN-AGUILAR, J.; LÓPEZ, L. Taxonomía e identificación de moscas de la fruta de importancia económica en América. In: MONTROYA, P.; TOLEDO, J.; HERNANDEZ, E. (eds.). **Moscas de la fruta: fundamentos y procedimientos para su manejo**. México: S y G Editores. p. 49-80. v. 1 (2010).

HICK, A. J.; LUSZNIAK, M. C.; PICKETT, J. A. Volatile isoprenoids that control insect behaviour and development. **Natural Product Reports**, London, v. 16, p. 39–54, 1999.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, 12, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Produção Agrícola Municipal 2019: informações sobre culturas permanentes. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

IOANNOU, C. S. et al. Essential oils of citrus fruit stimulate oviposition in the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Physiological Entomology**, v. 37, p. 330–339, 2012.

IHERING, H. Laranjas bichadas. **Revista Agrícola**, v. 6, n. 70, p. 179-181, 1901.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 45–66, 2006.

JACKSON, L. K.; DAVIES, F. S. **Citrus growing in Florida**. University Press of Florida Gainesville: FL, 1999. 328 p.

JOACHIM-BRAVO, I. S. et al. Oviposition preference hierarchy in *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae): Influence of female age and experience. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 91, n. 91, p. 93-100, 2001.

KENDRA, P. E. et al. Effect of age on EAG response and attraction of female *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) to ammonia and carbon dioxide. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 3, p. 584-590, 2005a.

- KENDRA, P. E. et al. Ammonia and carbon dioxide: quantitation and electroantennogram responses of caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae). **Environmental Entomology**, v. 34, n. 3, p. 569-575, 2005b.
- KORYTKOWSKI, C. A.; OJEDA, P. D. Revision de las especies de la familia Lonchaeidae en el Peru (Diptera, Acalyptratae). **Revista Peruana de Entomología**, v. 14, n. 1, p. 87–116, 1971.
- KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. **Biopesticides International**, v. 4, n. 1, p. 63–84, 2008.
- KOULOSSIS, N. A. et al. Enhanced mating competitiveness of *Ceratitis capitata* males following exposure to citrus compounds. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, p. 30–38, 2013. (Suplemento 1).
- KRAINACKER, D. A.; CAREY, J. R.; VARGAS, R. I. Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. **Oecologia**, v. 73, n. 4, p. 583-590, 1987.
- LASKA, M.; TEUBNER, P. Olfactory discrimination ability of human subjects for tem pairs of enantiomers. **Chemical Senses**, v. 24, n. 2, p. 161-170, 1999.
- LEMOS, W. P.; VELOSO, C. A. C.; RIBEIRO, S. I. **Identificação e controle das principais pragas em pomares de citros no Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental. 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 119).
- LEVINSON, H. Z.; LEVINSON, A. R.; MULLER, K. Influence of some olfactory and optical properties of fruits on host location by the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wied.). **Journal of Applied Entomology**, v. 109, p. 44-54, 1990.
- LIMA-MENDONÇA, A. et al. Semioquímicos de moscas das frutas do gênero *Anastrepha*. **Química Nova**, v. 37, n. 2, p. 293-301, 2014.
- LOPES, E. B. et al. Moscas frugívoras (Tephritidae e Lonchaeidae) ocorrência em pomares comerciais de tangerina na Paraíba. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 31-37, 2007.

LORENZI, H.; LACERDA, M. T. C.; BACHER, L. B. **Frutas no Brasil nativas e exóticas: (de consumo *in natura*)**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2015. 768 p.

LOUZEIRO, L. R. F. et al. Incidence of frugivorous flies (Tephritidae and Lonchaeidae), fruit losses and the dispersal of flies through the transportation of fresh fruit. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 24, n. 1, p. 50–60, 2021.

LOUZEIRO, L. R. F. et al. Relationship between fruit fly (Diptera: Tephritidae) infestation and the physicochemical changes in fresh fruits. **African Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 1, p. 122–133, 2020.

LUCHETTI, M. A. et al. Aspectos gerais e distribuição de cultivo. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. (eds.). **Lima ácida Tahiti**. Campinas: Instituto Agronômico. p. 1-12. v. 1 (2003).

MacGOWAN, I. et al. The Lonchaeidae (Diptera) of South Korea with descriptions of four new species. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 19, n. 1, p. 115–125, 2016.

MacGOWAN, I. **Lonchaeidae online**. 2020. Disponível em: <https://lonchaeidae.myspecies.info/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.

MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A.; SUGAYAMA, R. L. Biogeografia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (eds.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: Holos. p. 41-48. v. 1 (2000).

MALAVOLTA, E. et al. Seja o doutor dos seus citros. **Informações Agronômicas**, n. 65, p. 1-9, 1994.

MARICONI, F. A. M.; IBA, S. A. A mosca do mediterrâneo. **O Biológico**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 17-31, 1955.

MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Biotransformação de limoneno: uma revisão das principais rotas metabólicas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 382-387, 2007.

MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros: principais informações e recomendações de cultivo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. 9 p.

- McALPINE, J. F.; STEYSKAL, G. C. A revision of *Neosilba* McAlpine with a key to world genera of Lonchaeidae (Diptera). **The Canadian Entomologist**, v. 114, n. 2, p. 105–137, 1982.
- MIRANDA, M. N.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Desenvolvimento e qualidade da lima ácida Tahiti em Colorado do Oeste, RO. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 6, p. 787-794, 2010.
- MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. S4050-S4063, 2009. (Suplemento - CD Rom).
- MORTON, C. M. Phylogenetic relationships of the Aurantioideae (Rutaceae) based on the nuclear ribosomal DNA ITS region and three noncoding chloroplast DNA regions, *atpB-rbcL* spacer, *rps16*, and *trnL-trnF*. **Organisms, Diversity & Evolution**, v. 9, p. 52–68, 2009.
- MOURÃO FILHO, F. A. A.; MENDES, B. M. J.; DONADIO, L. C. Citros. In: BRUCKNER, C. H. (ed.). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV. p. 177-224. (2002).
- MUTHUTHANTRI, S.; CLARKE, A. R. Five commercial citrus rate poorly as hosts of the polyphagous fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) in laboratory studies. **Australian Journal of Entomology**, v. 51, p. 289–298, 2012.
- NAVA, D. E.; BOTTON, M. **Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro**. Embrapa Clima Temperado. 2010. 29 p. (Documento técnico 315).
- NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: A review. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 372–378, 2010.
- NEVES, M. F. et al. **O retrato da citricultura brasileira**. Markestrat: Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia, 2009. 138 p.
- NIOGRET, J. et al. Attraction and electroantennogram responses of male Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) to six plant essential oils. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, n. 3, p. 958-964, 2017.
- NORRBOM, A. L. Host plant database for *Anastrepha* and *Toxotrypana* (Diptera: Tephritidae: Toxotrypanini). **Diptera data dissemination Disk**, v. 2, 2004.

NORRBOM, A. L. et al. *Anastrepha* and *Toxotrypana*: descriptions, illustrations, and interactive keys. [2012]. Version: 28th, 2013. Disponível em: <http://delta-intkey.com/anatox/intro.htm> Acesso em: 20 de março de 2017.

NORRBOM, A.L.; et al. Synonymy of *Toxotrypana* Gerstaecker with *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, v. 120, n. 4, p. 834–841, 2018.

NORRBOM, A. L. Tephritidae (fruit flies, moscas de frutas). **Manual of Central American Diptera**, v. 2, p. 909-954, 2010.

NÚÑEZ-BUENO, L. Contribucion al reconocimiento de las moscas de las frutas (Diptera: Tephritidae) en Colombia. **Revista del Instituto Colombiana de Agropecuaria**, Bogotá, v. 16, n. 4, p. 173–179, 1981.

NÚÑEZ-BUENO, L. La mosca del mediterrâneo. **Separata de Revista ICA**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 1987.

OLIVEIRA, F. Q. et al. Preference and infestation level of *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) on fruits of some *Psidium guajava* L. cultivars and relation to their physicochemical parameters. **Phytoparasitica**, v. 42, p. 475–483, 2014.

ONO, H.; HEE, A. K.-W.; JIANG, H. Recent advancements in studies on chemosensory mechanisms underlying detection of semiochemicals in Dacini fruit flies of economic importance (Diptera: Tephritidae). **Insects**, v. 12, n. 2, p. 106, 2021.

PAPACHRISTOS, D. P.; PAPADOPOULOS, N. T.; NANOS, G. D. Survival and Development of Immature Stages of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Citrus Fruit. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 866-872, 2008.

PEÑARRUBIA-MARÍA, E. et al. Evaluation of candidate systems for mass trapping against *Ceratitidis* spp. on La Réunion Island. **Pest Management Science**, v. 70, p. 448–453, 2014.

PLANT HEALTH AUSTRALIA. **The Australian handbook for the identification of fruit flies**. [2018]. Version 3.1. Plant Health Australia. Canberra, ACT. Available in



<https://www.planthealthaustralia.com.au/national-programs/fruit-fly/handbook-for-the-identification-of-fruit-fly/> Accessed on June 15, 2020.

PRICE, P.W. et al. Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 41-65, 1980.

PROKOPY, R. J.; ROITBERG, B. D. Foraging behavior of true fruit flies. **American Scientist**, v. 72, n. 1, p. 41-49, 1984.

PUZZI, D.; ORLANDO, A. Estudos sobre a ecologia das “moscas-das-frutas” (Trypetidae) no Estado de São Paulo, visando o controle racional da praga. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 7-20, 1965.

RAGA, A. Incidência, monitoramento e controle de moscas-das-frutas na citricultura paulista. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 26, n. 2, p. 307-322, 2005.

RAGA, A. et al. Sensibilidade de ovos de *Ceratitidis capitata* (Wied., 1824) irradiadas em dietas artificial e em frutos de manga (*Mangifera indica*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 114-118, 1996.

RAGA, A. et al. Observações sobre a incidência de moscas-das-frutas em frutos de laranja (*Citrus sinensis*). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 64, p. 125-129, 1997.

RAGA, A. et al. Eficácia de atrativos alimentares na captura de moscas-das-frutas em pomar de citros. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 337-345, 2006.

RAGA, A. et al. Lance fly (Diptera: Lonchaeidae) host plants in the State of São Paulo, Southeast Brazil. **Entomotropica**, Maracay, v. 30, n. 7, p. 57-68, 2015.

RAGA, A.; VIEIRA, S. M. J. Atratividade de proteína hidrolisada de milho em mistura com bórax sobre moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em gaiolões de campo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 20, n. 10, p. 1-8, 2015.

- RAGA, A. et al. Comparison of insecticide toxicity in adults of the fruit flies *Anastrepha fraterculus* (Wied.) and *Anastrepha grandis* (Macquart)(Tephritidae). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 25, n. 2, p. 1-8, 2018.
- RATTANAPUN, W.; AMORNSAK, W.; CLARKE, A. *Bactrocera dorsalis* preference for and performance on two mango varieties at three stages of ripeness. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 131. n. 3, p. 243-253, 2009.
- RÍOS, J.-L. Essential oils: what they are and how the terms are used and defined. In: PREEDY, V. R. (ed.). **Essential oils in food preservation, flavor and safety**. London: Elsevier. p. 3–10. v. 1. (2016).
- RONCHI-TELES, B.; SILVA, N. M. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae) na região de Manaus, AM. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 733-741, 2005.
- RUIZ, M.J. et al. Toxic effect of citrus peel constituents on *Anastrepha fraterculus* Wiedemann and *Ceratitis capitata* Wiedemann immature stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 41, p. 10084–10091, 2014.
- SALLES, L. A. B. **Bioecologia e controle da mosca-das-frutas sul-americana**. Pelotas: EMBRAPA. 1995. 58 p.
- SANTOS, J. P. et al. Incidência de podridão-branca em frutos de macieira com e sem fermentos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 118-121, 2008.
- SANTOS FILHO, H. P.; MAGALHÃES, A. F. J.; COELHO, Y. S. **Citros: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 217 p.
- SEGURA D. F. et al. Plant chemicals and the sexual behavior of male tephritid fruit flies. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 111, n. 5, p. 239–264, 2018.
- SEGURA D. F. et al. Role of visual information and learning in habitat selection by a generalist parasitoid foraging for concealed hosts. **Animal Behavior**, v. 74, p. 131–142, 2007.

SIMAS, D. L. R. et al. Citrus species essential oils and their components can inhibit or stimulate fungal growth in fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 98, p. 108–115, 2017.

SIMÕES JUNIOR, A. R. et al. Avaliação de frutos de laranjeira 'Pera' em função dos anelamentos de ramos em diferentes épocas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 529-535, 1999.

SINTHUSIRI, J.; SOONWERA, M. Oviposition deterrent and ovicidal activities of seven herbal essential oils against female adults of housefly, *Musca domestica* L. **Parasitology Research**, v. 113, p. 3015–3022, 2014.

SOUSA, E. M. et al. Ovipositional behaviour of two fruit flies, *Ceratitidis capitata* and *Anastrepha fraterculus*, in seven fruit hosts in the laboratory. **Annual Research & Review in Biology**, v. 35, n. 11, p. 93-102, 2020.

SOUSA, E. M.; RAGA, A. Relação hospedeira e status hospedeiro em moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae). **Biológico**, São Paulo, v. 80, n. 1, p. 1-11, 2018.

SOUZA, M. J. H. et al. Produção e qualidade dos frutos da limeira ácida 'Tahiti' submetida a diferentes porcentagens de área molhada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 245-250, 2003.

SOUZA FILHO, M. F. **Biodiversidade de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus parasitoides (Hymenoptera) em plantas hospedeiras no Estado de São Paulo**. 1999. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo. 1999.

SOUZA FILHO, M. F.; RAGA, A.; ZUCCHI, R. A. Incidencia de *Anastrepha obliqua* (Macquart) y *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en carambola (*Averrhoa carambola* L.) en ocho localidades del estado de São Paulo, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, p. 367–371, 2000.

SOUZA-FILHO, M. F. et al. Diversity and seasonality of fruit flies (Diptera: Tephritidae and Lonchaeidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae and Figitidae) in orchards of guava, loquat and peach. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 1, p. 31-40, 2009.

STRIKIS, P. C. **Relação tritrófica envolvendo lonqueídeos, tefritídeos (Diptera: Tephritoidea) seus hospedeiros e seus parasitóides eucoilíneos (Hymenoptera: Figitidae) e braconídeos (Hymenoptera: Braconidae) em Monte Alegre do Sul/SP e Campinas/SP.** 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.

STRIKIS, P. C.; PRADO, A. P. Lonchaeidae associados a frutos de nêspera, *Eryobotria japonica* (Thunb.) Lindley (Rosaceae), com a descrição de uma espécie nova de *Neosilba* (Diptera: Tephritoidea). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, p. 49-54, 2009.

STRIKIS, P. C. et al. Conhecimento sobre Lonchaeidae na Amazônia brasileira. In: SILVA, R. A.; LEMOS, W. P.; ZUCCHI, R. A. (eds.). **Moscas-das-frutas na Amazônia Brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais.** Macapá-AP: EMBRAPA. p. 205-215. v. 1 (2011).

TAK, J.-H.; ISMAN, M. B. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 786–792, 2017.

TAVARES, M. et al. Trends in insect repellent formulations: a review. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 539, p. 190–209, 2018.

TEIXEIRA, J. P. F.; MARQUES, M. O. M.; FIGUEIREDO, J. O. Composição química de óleos essenciais de quinze genótipos de limão em duas épocas de colheita. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 34, n. 2, p. 65-74, 2013.

TEIXEIRA, J. P. F.; MARQUES, M. O. M.; PIO, R. M. Caracterização dos óleos essenciais em frutos de nove genótipos de tangerina. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 35, n. 1, p. 1-10, 2014.

THOMAS, M.C. et al. **Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera, Tephritidae).** University of Florida. IFAS Ext. EENY, (DPI Entomology Circulars 273) 2019. Disponível em: [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/mediterranean\\_fruit\\_fly.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/mediterranean_fruit_fly.htm) Acesso em: 25/01/2021.

THOMPSON, J. N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 47, n.1, p. 3-14, 1988.

UCHÔA-FERNANDES, M. A. et al. Species diversity of frugivorous flies (Diptera: Tephritoidea) from hosts in the cerrado of the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 515-524, 2002.

UCHÔA-FERNANDES, M.A. et al. Populational fluctuation of frugivorous flies (Diptera: Tephritoidea) in two orange groves in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 1, p. 19–25, 2003.

VANÍČKOVÁ, L. et al. Are the wild and laboratory insect populations different in semiochemical emission? the case of the medfly sex pheromone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 7168–7176, 2012.

VARGAS, R. I.; CAREY, J. R. Comparative survival and demographic statistics for wild Oriental fruit fly, Mediterranean fruit fly, and melon fly (Diptera: Tephritidae) on papaya. **Journal of Economic Entomology**, v. 83, n. 4, p. 1344–1349, 1990.

VARGAS, R. I.; WALSH, A.; NISHIDA, T. Colonization of newly planted coffee fields, dominance of Mediterranean fruit fly over oriental fruit fly. **Journal of Economic Entomology**, v. 88, n. 3, p. 620–627, 1995.

VAYSSIÈRES, J. F.; KORIE, S.; AYEIGNON, D. Correlation of fruit fly (Diptera: Tephritidae) infestation of major mango cultivars in Borgou (Benin) with abiotic and biotic factors and assessment of damage. **Crop Protection**, v. 28, n. 6, p. 477–488, 2009.

VIEIRA, F. N. S. et al. Lonchaeidae (Diptera) species and their host plants in the Cerrado biome in the state of Piauí, Brazil. **Arquivos Instituto Biológico**, São Paulo, v. 86, p. 1–5, 2019.

WHITE, I. M.; ELSON-HARRIS, M. M. **Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics**. Wallingford: CAB International, 1994. 601 p.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 155-189, 1984.

ZART, M.; FERNANDES, O. A.; BOTTON, M. Biology and fertility life table of the South American fruit fly *Anastrepha fraterculus* on grape. **Bulletin of Insectology**, v. 63, p. 237–242, 2010.

ZUCCHI, R.A. **Taxonomia das espécies de *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) assinaladas no Brasil**. 1978. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo. 1978.

ZUCCHI, R.A. Taxonomia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (eds.) **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto, São Paulo: Holos. p. 13-24. v. 1 (2000).

ZUCCHI, R.A.; MORAES, R.C.B. Fruit flies in Brazil - *Anastrepha* species their host plants and parasitoids, 2008. Disponível em: [www.lea.esalq.usp.br/anastrepha/](http://www.lea.esalq.usp.br/anastrepha/). Acesso em: 18 de setembro de 2020.

ZUCCHI, R. A; MORAES, R.C.B. Fruit flies in Brazil - Hosts and parasitoids of the Mediterranean fruit fly. 2012. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/ceratitidis/>. Acesso em: 18 de setembro de 2020.