

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAYNE BAENA

INFLUÊNCIA DE VOLÁTEIS NA SUSCETIBILIDADE DE CULTIVARES DE MORANGUEIRO AO ATAQUE DE *Drosophila suzukii* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) E USO DE BAIXAS TEMPERATURAS PARA PRESERVAR FRUTOS INFESTADOS

CURITIBA

2021

RAYNE BAENA

INFLUÊNCIA DE VOLÁTEIS NA SUSCETIBILIDADE DE CULTIVARES DE  
MORANGUEIRO AO ATAQUE DE *Drosophila suzukii* (DIPTERA:  
DROSOPHILIDAE) E USO DE BAIXAS TEMPERATURAS PARA PRESERVAR  
FRUTOS INFESTADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Francine Lorena Cuquel  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Aparecida Cassilha Zawadneak

CURITIBA

2021

Baena, Rayne

Influência de voláteis na suscetibilidade de cultivares de morangueiro ao ataque de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) e uso de baixas temperaturas para preservar frutos infestados. / Rayne Baena. - Curitiba, 2021.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal.

Orientadora: Francine Lorena Cuquel.

Coorientadora: Maria Aparecida Cassilha Zawadneak.

1. Morango - Cultivares. 2. Mosca-das-frutas - Controle. 3. Frutas - Preservação. 4. Compostos orgânicos voláteis. I. Cuquel, Francine Lorena. II. Zawadneak, Maria Aparecida Cassilha. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **RAYNE BAENA** intitulada: **INFLUÊNCIA DE VOLÁTEIS NA SUSCETIBILIDADE DE CULTIVARES DE MORANGUEIRO AO ATAQUE DE *Drosophila suzukii* E USO DE BAIXAS TEMPERATURAS PARA PRESERVAR FRUTOS INFESTADOS**, sob orientação da Profa. Dra. FRANCINE LORENA CUQUEL, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 23 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica

23/02/2021 14:36:25.0

FRANCINE LORENA CUQUEL  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/02/2021 09:07:05.0

MICHELE TROMBIN DE SOUZA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/02/2021 10:59:54.0

DANIEL BERNARDI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS)

Assinatura Eletrônica

24/02/2021 08:04:25.0

EMILY SILVA ARAUJO

Avaliador Externo (INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DOS HYMENOPTERA PARASITOIDES)

Assinatura Eletrônica

23/02/2021 12:59:47.0

PAULO HENRIQUE GORGATTI ZARBIN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: [pgapv@ufpr.br](mailto:pgapv@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 76512

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>  
e insira o código 76512

**Dedico esse trabalho aos meus pais  
(em memória), Eva Ana de Jesus  
Baena e Sérgio Brabo Baena.**

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo, agradeço a Deus, que em todos os momentos, especialmente os difíceis, me concedeu amparo e ânimo para continuar. Além de colocar as pessoas necessárias no caminho para prosseguir.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná (PGAPV – UFPR) pela oportunidade de ingressar no mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

A minha orientadora, Dra. Francine Lorena Cuquel, por me aceitar como sua orientanda e dedicar seu tempo e conhecimento para me ajudar todos esses anos. Gratidão por não medir esforços para que tivesse mais tempo para terminar da melhor forma. Grata por toda ajuda valiosa nesse trabalho, tanto na execução, na escrita e incentivo.

A minha co-orientadora, Dra. Maria Aparecida Cassilha Zawadneak, por me aceitar em seu projeto de pesquisa. Pelo seu entendimento intelectual e humano, quando percebia que as coisas não estavam tão bem. Gratidão por ter colocado nesses anos de convívio, as pessoas que me ajudaram em todo o processo. Sou grata por toda ajuda, incentivo e dicas fundamentais. A partir desse convívio que enxergo com outros olhos a área de Entomologia.

A minha banca de pré-defesa, Dr. Joatan Machado da Rosa, Dra. Michele Trombin de Souza e Me. Douglas José de Melo por tantas dicas valiosas para esse trabalho.

A minha banca de defesa, Dr. Daniel Bernardi, Dr. Paulo Henrique Gorgatti Zarkin, Dra. Michele Trombin de Souza e Dra. Emily Silva Araújo pelo aceite do convite e contribuição valiosa nesse trabalho.

A Dra. Emily Silva Araujo e Dr. José Manuel Mirás-Avalos por todo auxílio na estatística desse trabalho.

Aos meus amigos da UFPR, Jason Furuie Lee, por toda ajuda e parceria até a finalização das atividades. Adélia Maria Bischoff, pela generosidade e ajuda sem ao menos pedir, sem a qual, não realizaria esse trabalho; Letícia Tamara Maleski, por toda ajuda e parceria com os produtores; Alessandra Benatto, por todo auxílio,

especialmente mental; Rubens Cândido Zimmermann, pela parceria durante essa etapa e João Pedro de Albuquerque, pela parceria, além de todo auxílio externo ao laboratório, sem o qual, não finalizaria esse trabalho.

A todos amigos que passaram pelo laboratório, em especial Marina Mickosz pela parceria e ajuda; Hemilia Karine Slompo de Oliveira; Renata Rodrigues, Bruna Caroline Dural; Ana Carolina Zamunel; Gustavo Frandina; Caio Elias Aragão, Alessandra Reis; Lorena Dias, Pedro Araújo; Pedro Nani; Marcia Cristina Herchovicz de Oliveira; Aleandro Mariano; Jéssica Suelen; Maitê Tucholski pelo maravilhoso convívio.

Ao professor Dr. Paulo Henrique Gorgatti Zarbin pela parceria na realização desse trabalho. Aos seus orientandos Antonioni Acacio Campos Moliterno, Carla Maria Beraldi Gomes, sempre atenciosos e prestativos, e em especial, João Pedro de Albuquerque Souza que esteve comigo desde o início dessas atividades.

A Denis J. Gulin, pelo suporte na realização de análises químicas, essenciais para o término dessa pesquisa.

A todos os servidores UFPR, em especial a Lucimara Antunes, sempre prestativa e atenciosa.

A todos os professores da UFPR, em especial aos membros da PGAPV por compartilhar seus conhecimentos, fundamentais para essa pesquisa.

A minha irmã, Francine Baena, que sempre me ajudou em todas as etapas da minha vida e torceu por mim.

Ao meu companheiro, Marcelo Macedo de Oliveira pelo companheirismo e parceria nas idas aos produtores e realização de análises.

Aos meus amigos, Keise Hellen Caria Rabelo, Aline Cândido Trigo, Thaís Borges de Sá, Juliana Martins, Flávio Vieira e Vinícius Teixeira por toda amizade e encorajamento nessa etapa para que fosse concluída.

As minhas amigas de Londrina, em especial Talita Pijus Ponce, Mariana Caires Assega e Tamy Rodrigues Baran pelos bons momentos antes, durante e após a formação como agrônoma.

Aos produtores rurais, em especial, Valdeci Ferreira Gandra, Andréia Alves dos Santos Gandra, Francisco Neves Negrão e Adir Purkote que sempre me receberam tão bem e partilharam parte de seu tempo e produção para realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADA!

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.*

(Francisco Cândido Xavier)

## RESUMO

*Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), comumente conhecida como drosófila-da-asa-manchada, é uma praga polífaga que ataca frutas de epiderme fina. A escolha de oviposição de *D. suzukii* depende das características qualitativas dos frutos e identificar cultivares menos preferidas poderia auxiliar o manejo dessa praga. Uma vez que baixas temperaturas interferem na qualidade dos frutos e na sobrevivência de *D. suzukii*, o sistema de cadeia de frio poderia atuar na manutenção dos frutos já infestados por *D. suzukii* e reduzir a sobrevivência da praga. Assim, esse estudo teve como objetivos identificar a suscetibilidade de cultivares de morango a *D. suzukii*; identificar se o estágio de maturação em que os frutos são colhidos afeta a escolha por *D. suzukii*; identificar se as características físico-químicas dos frutos afetam a preferência de *D. suzukii*; identificar os compostos voláteis presentes nos frutos de morango destas cultivares que atraem *D. suzukii* e identificar se a utilização da cadeia de frio nos frutos reduz a sobrevivência de ovos e larvas *D. suzukii*. Frutos de morango 'Albion', 'Monterrey' e 'San Andreas' foram colhidos em três estágios de maturação e ofertados para fêmeas de *D. suzukii* e as características físico-químicas dos frutos correlacionadas com a preferência para oviposição. A cultivar e o estágio de maturação influenciaram a escolha de oviposição de *D. suzukii*. Morangos 'Albion' e 'Monterrey' foram mais suscetíveis ao ataque de *D. suzukii*. Frutos mais doces e menos firmes foram mais procurados e compostos voláteis específicos influenciaram na orientação de escolha hospedeira. O composto linalol apresentou resposta comportamental positiva em fêmeas de *D. suzukii* e pode ser melhor investigado para desenvolvimento de iscas atrativas, captura massal e controle da praga. Para a avaliação do efeito do armazenamento refrigerado, morangos 'Monterrey' 75% (com presença de ovos) e 100% vermelhos (com presença de larvas de primeiro instar) foram armazenados em sistema de cadeia de frio ou sob ausência de refrigeração. Nessa análise, ocorreu redução de sobrevivência tanto de ovos quanto de larvas de primeiro instar presentes em morangos 75% e 100% maduros. O sistema de cadeia de frio foi eficiente na manutenção das características físico-químicas e visuais dos morangos e é uma alternativa para comercialização dos frutos infestados por *D. suzukii*. Este estudo fornece informações que poderão contribuir para o manejo de monitoramento e controle de *D. suzukii* a campo e na comercialização dos frutos infestados pela praga.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa*, drosófila-da-asa-manchada, pós-colheita, preferência, voláteis, sobrevivência, cadeia de frio, qualidade do fruto

## ABSTRACT

*Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), most known as the spotted-wing fruit fly, is a polyphagous pest that attacks the fine fruit epidermis. The oviposition choice of *D. suzukii* depends on the qualitative characteristics of the fruits and identifying less preferred cultivars could help the management of this pest. Since low temperatures interfere in the fruits quality and the *D. suzukii* survival, the cold chain system could act in the maintenance of the fruit already infested by *D. suzukii* and reduce the survival. Therefore, this study aimed to verify the strawberry cultivars susceptibility to *D. suzukii*; identify whether the maturation stage in which the fruits are harvested affects the choice by *D. suzukii*; identify whether the physicalchemical characteristics of the fruits affect the preference of *D. suzukii*; identify the volatiles compounds present in the strawberry fruits of these cultivars that attract *D. suzukii* and identify whether the use of cold chain in fruits reduces the survival of *D. suzukii* eggs and larvae. 'Albion', 'Monterrey' and 'San Andreas' strawberries were harvested in three maturation stages and offered to females of *D. suzukii* and the characteristics of the fruits were correlated with preference for oviposition. As a result, cultivar and maturation stage influenced the oviposition choice of *D. suzukii*. Strawberries 'Albion' and 'Monterrey' were more susceptible to the attack of *D. suzukii*. Sweeter and less firm fruits were sought, and specific volatile compounds influenced the host's choice orientation. Linalool showed a positive behavioral response in *D. suzukii* females and can be better investigated for the development of attractive baits, mass capture and pest control. For evaluation of the effect of refrigerated storage, 'Monterrey' strawberries 75% (with the presence of eggs) and 100% red (with the presence of first instar larvae) were stored in a cold chain system or under the absence of refrigeration. In this analysis, there was a reduction in survival of the eggs, as well as the first instar larvae present in 75% and 100% ripe strawberries. The cold chain system was efficient on the maintenance the physicalchemical and visual characteristics of strawberries and is an alternative for the marketing of fruits infested by *D. suzukii*. This study provides information that can contribute to the management of monitoring and control of *D. suzukii* in the field and the commercialization of fruits infested by the pest.

Keywords: *Fragaria x ananassa*, spotted wing drosophila, postharvest, preference, volatiles, survival, cold chain, quality fruit.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Fêmea e macho (A) de <i>Drosophila suzukii</i> ; detalhe do ovipositor serrilhado (B) e do segmento tarsal do macho (C). .....	22
<b>Figura 2.2</b> Ovos de <i>Drosophila suzukii</i> em fruto de morango. Setas indicam os espiráculos respiratórios.....	23
<b>Figura 2.3</b> Ínstares larvais de <i>Drosophila suzukii</i> . .....	23
<b>Figura 2.4</b> Pupas de <i>Drosophila suzukii</i> . .....	24
<b>Figura 2.5</b> Ciclo de vida de <i>Drosophila suzukii</i> em condições de $23 \pm 2$ °C, $70 \pm$ U.R., e fotoperíodo de 12: 12 (claro: escuro) .....	25
<b>Figura 2.6</b> Condição climática favorável para o estabelecimento de <i>Drosophila suzukii</i> no Brasil. ....	26
<b>Figura 3.1</b> Número total de ovos e larvas de <i>Drosophila suzukii</i> (média $\pm$ erro padrão) em cultivares de morango Monterrey (M), Albion (A) e San Andreas (SA) com diferentes estágios de maturação (extensão da coloração vermelha da epiderme de 100%, 75% e 50%) em teste com chance de escolha. ....	42
<b>Figura 3.2</b> Número total de ovos e larvas de <i>Drosophila suzukii</i> (média $\pm$ erro padrão) em cultivares de morango Monterrey (M), Albion (A) e San Andreas (SA) com diferentes estágios de maturação (extensão da coloração vermelha da epiderme de 100%, 75% e 50%) em teste sem chance de escolha. ....	43
<b>Figura 3.3</b> Regressões entre o número de ovos ovipositados por <i>Drosophila suzukii</i> em ensaio com chance de escolha e (A) teor em sólidos solúveis (TSS), (B) acidez titulável (AT) e (C) firmeza dos frutos de morango.....	45
<b>Figura 3.4</b> Scores da PCA. Albion - grupo azul, Monterrey - grupo verde e San Andreas - grupo vermelho.....	46
<b>Figura 3.5</b> Quantificação dos voláteis totais liberados em $\text{ng g}^{-1} \text{h}^{-1}$ pelas cultivares Albion (A), Monterrey (M) e San Andreas (SA). .....	47
<b>Figura 3.6</b> Porcentagem de escolha de fêmeas e machos de <i>D. suzukii</i> em bioensaios com olfatômetro de tubo em Y. E, extrato de morango; M, acetato de butila, acetato de hexila e linalol (1:2, 4:5, 2); B, acetato de butila; H, acetato de hexila; L, linalol e C, controle. ....	49

<b>Figura 4.1</b> Índice de qualidade visual dos frutos de morango colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 75% - M1 e 100% - M2) submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio. ....	69
<b>Figura 4.2</b> Redução de sobrevivência dos estágios imaturos de <i>D. sukii</i> a pupação em morangos com epiderme 75% (M1, presença de ovos) ou 100% vermelha (M2, presença de larvas de primeiro instar), submetidos a cadeia de frio e 23°C (controle). ....	70

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> Efeitos da cultivar, estágio de maturação e a interação entre estes fatores (p-valores) sobre as variáveis analisadas. ....	41
<b>Tabela 3.2</b> Características dos frutos de morango das cultivares Albion, Monterrey e San Andreas colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 50% - M <sub>1</sub> , 75% - M <sub>2</sub> e 100% - M <sub>3</sub> ), teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT), firmeza e ratio (média ± erro-padrão). ....	44
<b>Tabela 3.3</b> Compostos orgânicos voláteis (média ± erro padrão) identificados em três cultivares de morango ('Albion', 'Monterrey' e 'San Andreas') como ativos em GC-EAD por <i>D. suzukii</i> . ....	48
<b>Tabela 4.1</b> Características dos frutos de morango 'Monterrey' infestados por <i>Drosophila suzukii</i> e colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 75% - M1 e 100% - M2) submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio, teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT), firmeza e <i>ratio</i> (média ± erro-padrão). ....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

mm – milímetro

UR – umidade relativa

et al. – e outros; e colaboradores

mL – mililitro

µg - micrograma

cm – centímetro

pH – potencial hidrogeniônico

SST – teor de sólidos solúveis totais

AT – acidez titulável

h – hora

ha – hectare

ton - tonelada

ng – nanogramas

g – grama

mg – miligrama

KI – índice de Kovats

cm<sup>2</sup> – centímetro quadrado

N – Newton

M – molaridade

CG – cromatografia gasosa

## LISTA DE SÍMBOLOS

% – porcentagem

°C – graus Celsius

± – mais ou menos

- – negativo

® – marca registrada

@ – arroba

€ – euro

U\$ - dólar

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
2.1 PERDAS ECONÔMICAS OCASIONADAS POR <i>Drosophila suzukii</i> EM PLANTAS FRUTÍFERAS.....	21
2.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE <i>Drosophila suzukii</i> .....	22
2.2.1 BIOECOLOGIA DE <i>Drosophila suzukii</i> .....	24
2.2.2 EFEITO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA <i>Drosophila suzukii</i> .....	25
2.3 SUSCETIBILIDADE DE HOSPEDEIROS VEGETAIS a <i>Drosophila suzukii</i> ....	27
2.4 SUSCETIBILIDADE DE FRUTOS, DANOS E CONTROLE DE <i>Drosophila suzukii</i> NA CULTURA DO MORANGO.....	27
2.5 ATRAÇÃO DE <i>Drosophila suzukii</i> AOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DE PLANTAS HOSPEDEIRAS.....	29
2.6 EFEITOS DA TEMPERATURA PARA <i>Drosophila suzukii</i> E ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE MORANGO .....	30
<b>3. ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO E COMPOSTOS VOLÁTEIS EM FRUTOS DE MORANGO ENVOLVIDOS NA ESCOLHA DE <i>Drosophila suzukii</i> (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) PARA OVIPOSIÇÃO.....</b>	<b>32</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	34
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
3.2.1 PROCEDÊNCIA DO MATERIAL EXPERIMENTAL .....	35
3.2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS.....	36
3.2.4 COLETA E ANÁLISE DE VOLÁTEIS EM FRUTOS DE MORANGO.....	38
3.2.5 RESPOSTA COMPORTAMENTAL EM OLFATÔMETRO .....	39
3.4 RESULTADOS .....	41
3.4 DISCUSSÃO .....	49
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>4. USO DE BAIXA TEMPERATURA PARA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE de frutos de morango infestados por <i>Drosophila suzukii</i> (DIPTERA: DROSOPHILIDAE).....</b>	<b>60</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	62
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	63

4.2.1 PROCEDÊNCIA DOS INSETOS .....	63
4.2.2 LOCAL DO ESTUDO E INTRODUÇÃO DAS GAIOLAS .....	64
4.2.3 TRATAMENTO PÓS-COLHEITA A FRIO .....	64
4.2.4 ANÁLISE DOS FRUTOS .....	65
4.2.5 SOBREVIVÊNCIA DE <i>Drosophila suzukii</i> NO FRUTO .....	66
4.4 RESULTADOS .....	67
4.5 DISCUSSÃO .....	70
REFERÊNCIAS .....	75
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>80</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAIS .....</b>	<b>82</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

Os frutos do morango (*Fragaria x ananassa* Duchnese) se destacam entre as pequenas frutas como um cultivo de alta rentabilidade. No Brasil, o cultivo do morangueiro é efetuado principalmente por pequenos produtores rurais que utilizam mão-de-obra familiar durante todo o ciclo (RONQUE et al., 2013; ZAWADNEAK et al., 2018). Os principais Estados brasileiros produtores de morango são Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo (MADAIL, 2016; ANTUNES et al., 2020).

No Brasil, a produtividade média do morango estimada é de 30 ton/ha, podendo chegar a 60 ton/ha dependendo da localidade e sistema de cultivo (ANTUNES et al., 2020). A drosófila-da-asa-manchada, *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) é uma das principais pragas dessa cultura, podendo ocasionar danos significativos para a produção (DEPRÁ et al., 2014; SANTOS, 2014; ANDREAZZA et al., 2016; ZAWADNEAK et al., 2018). Este inseto é conhecido pela presença de duas manchas nas asas anteriores dos machos (HAUSER et al., 2011; ANFORA et al., 2012). Ela é uma praga polífaga de plantas cultivadas e silvestres (LEE et al., 2011; ARNÓ et al., 2016; CABI, 2020). Estima-se que as perdas ocasionadas por *D. suzukii* em plantas cultivadas são de aproximadamente 500 milhões de dólares (BOLDA et al., 2010; GOODHUE et al., 2011; ROS et al., 2015; FARNSWORTH et al., 2016; BENITO et al., 2016; MAZZI et al., 2017).

As fêmeas de *D. suzukii* possuem ovipositor serrilhado e ovipositam em frutos sadios (CALABRIA et al., 2012). As larvas se alimentam da polpa dos frutos realizando galerias para posterior emergência (LEWIS et al., 2019). Além disto, as lesões nos frutos servem como sítio de infecção para microrganismos, como fungos e bactérias (SCHLESENER et al., 2017). Os frutos lesionados apresentam tecido amolecido que se desintegra, afetando a qualidade comercial e a produtividade (ZAWADNEAK et al., 2018). Para tentar reduzir os danos pós-colheita provocados pela infestação de *D. suzukii* muitos produtores colhem os frutos precocemente, o que compromete a qualidade sensorial do produto.

As características físico-químicas, como firmeza, teor de sólidos solúveis, acidez e aroma da planta hospedeira podem afetar o número de ovos de *D. suzukii* ovipositados pelas fêmeas (BURRACK et al., 2013; ENTLING et al., 2019). Em frutos de uva, a oviposição de *D. suzukii* depende das cultivares e da menor firmeza das

bagas (SHRADER et al., 2018; ENTLING et al., 2019). Frutos mais firmes de goiaba, framboesa e mirtilo apresentam menor postura deste inseto (KINJO et al., 2013; LEE et al., 2016; LASA et al., 2017; LITTLE et al., 2017; SOUZA et al., 2020). O teor de açúcar e pH também são correlacionados frequentemente com a oviposição de *D. suzukii*. Frutos mais doces e menos ácidos de uva (IORIATTI et al., 2015); framboesa; amora; cereja; morango (LEE et al., 2011) e mirtilo (LEE et al., 2011; LEE et al., 2016) aumentam a taxa de oviposição desta praga. Estas características são relacionadas com estágio de maturação dos frutos, podendo tornar o fruto mais suscetível ao ataque de *D. suzukii* (KAMIYAMA; GUÉDOT, 2019).

Certas cultivares de uva (ANDREAZA et al., 2016; PELTON et al., 2017) e mirtilo (RODRIGUEZ-SAONA et al., 2019) podem apresentar outros fatores que contribuem para a seleção de *D. suzukii* pela planta hospedeira, como por exemplo, a emissão de compostos voláteis. Os voláteis de framboesa e morango, por exemplo, são mais atrativos que os de mirtilo e cereja para drosófila-da-asa machada (ABRAHAM et al., 2015) e os pertencentes aos grupos químicos dos álcoois, ésteres e terpenos, encontrados nas principais plantas hospedeiras são atraentes para esta praga (REVADI et al., 2015; LIU et al., 2018). *Drosophila suzukii* também demonstrou ser sensível ao estágio de maturação em que os frutos se encontram devido a emissão diferenciada de compostos voláteis (KESSEY et al., 2015).

Uma técnica eficiente utilizada para reduzir a eclosão das larvas e posteriormente a emergência de adultos de *D. suzukii* em frutos de framboesa, mirtilo e morango é o armazenamento destes sob baixas temperaturas (ALY et al., 2016; SAEED et al., 2019). Esta técnica já é utilizada usualmente em pequenas frutas para prolongar a vida-de-prateleira dos frutos (KADER, 2002; PELLETIER et al., 2011; SAEED et al., 2019). Talvez ela também possa ser eficiente na diminuição dos danos que ocorrem em frutos de morango atacados por *D. suzukii*.

Compreender a dinâmica de preferência de *D. suzukii* por frutos de morango e do uso da tecnologia de baixas temperaturas é determinante para subsidiar o controle desta praga durante a produção e comercialização dos frutos de cultivares plantadas no país.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram (i) avaliar a suscetibilidade de cultivares de morangueiro em diferentes estágios de maturação ao ataque de *D. suzukii*; (ii) determinar se as características físico-químicas da fruta

possuem relação com o nível de infestação do inseto; (iii) identificar os compostos orgânicos voláteis que atraem adultos de *D. suzukii* e (iv) verificar a influência do armazenamento refrigerado nos frutos de morango infestados por *D. suzukii* após a colheita.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PERDAS ECONÔMICAS OCASIONADAS POR *Drosophila suzukii* EM PLANTAS FRUTÍFERAS

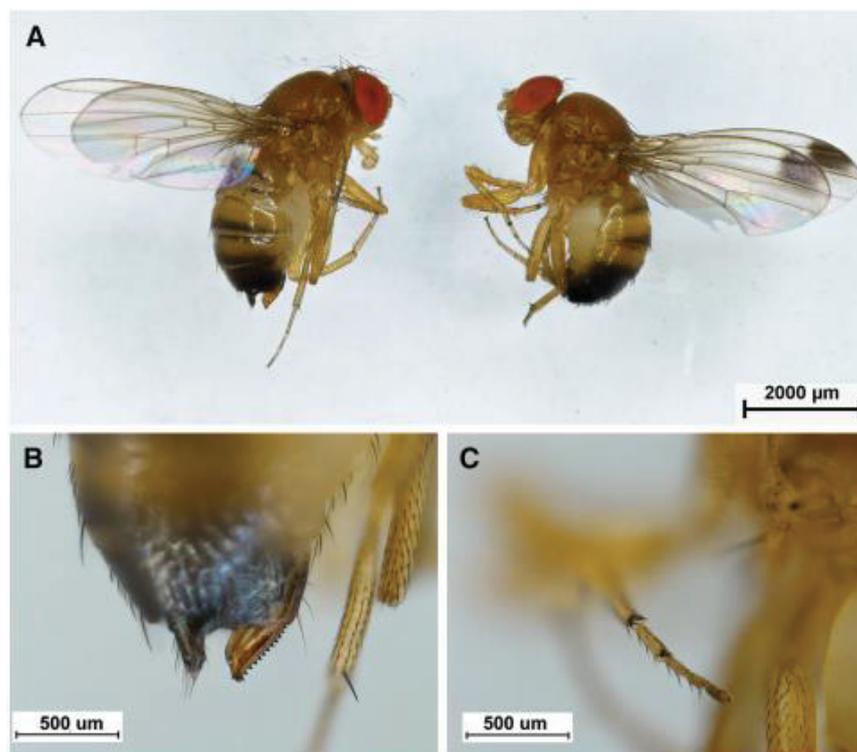
Drosófila-da-asa-manchada, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) é uma espécie nativa da Ásia e que se tornou uma séria ameaça principalmente aos cultivos de pequenas frutas com epiderme fina na África, América e Europa (EPPO, 2020). Esta espécie já foi registrada em 20 hospedeiros, cultivados a nível comercial (SOUZA, 2020) e em ampla gama de hospedeiros não cultiváveis (ARNÓ et al., 2016). Isto contribui para o estabelecimento e desenvolvimento da praga quando o hospedeiro preferencial não estiver disponível (LEE et al., 2015; ARNÓ et al., 2016; KENIS et al., 2016).

O ataque de *D. suzukii* em plantas frutíferas causa perdas significativas que dependem da cultura e dos níveis de infestação da praga a campo. No estado da Califórnia, por exemplo, infestações da praga reduziram 50% da produção de framboesa e 20% da produção de morango (GOOGHUE et al., 2011). Estimam-se perdas de mais de U\$ 500 milhões e € 2.862.656 para o grupo das pequenas frutas nos EUA e Itália, respectivamente (BOLDA et al., 2010; FARNSWORTH et al., 2016; ROS et al., 2015). Enquanto no Brasil, é relatada uma perda de 30% para a produção de morango pelo ataque de *D. suzukii* (SANTOS, 2014).

A introdução e o estabelecimento de *D. suzukii* em novas áreas de produção tem interferência direta na comercialização e nas perdas econômicas durante a pós-colheita. Por exemplo, em um levantamento efetuado durante dois anos, Mazzi et al. (2017) verificaram que 56% dos produtores de cereja tiveram algum problema por infestação de *D. suzukii* no primeiro ano de cultivo. Já no segundo ano, o número de produtores com problemas de infestação pela praga se elevou para 88%. Segundo os autores, isso teve impacto direto na comercialização da fruta, com aumento na rejeição de lotes de cereja infestada por esta praga.

## 2.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE *Drosophila suzukii*

Os adultos de *D. suzukii* possuem olhos vermelhos, tórax e abdômen de coloração marrom pálido, com faixas pretas longitudinais no abdômen (CALABRIA et al., 2012). Os machos apresentam manchas escuras na extremidade das asas, e de protuberâncias, semelhante a espinhos, no primeiro e segundo segmento tarsal das pernas anteriores (Figura 2.1) (HAUSER et al., 2011; ANFORA et al., 2012; CALABRIA et al., 2012). As fêmeas adultas (2,5 a 4,0 mm) são ligeiramente maiores que os machos (2,0 a 3,0 mm), não possuem manchas nas asas e apresentam ovipositor serrilhado e esclerotizado (Figura 2.1), o qual facilita a deposição dos ovos nos frutos (NAVA et al., 2015; SCHLESENER et al., 2017).



**Figura 2.1** Fêmea e macho (A) de *Drosophila suzukii*; detalhe do ovipositor serrilhado (B) e do segmento tarsal do macho (C).

Fonte: Deprá et al. (2014).

Os ovos de *D. suzukii* apresentam coloração branca e aspecto brilhante e medem cerca de 0,62 × 0,18 mm. Os ovos possuem dois filamentos finos na porção

terminal de uma das extremidades, e são responsáveis pela respiração (Figura 2.2) (DAVIS et al., 2010; WALSH et al., 2011).



**Figura 2.2** Ovos de *Drosophila suzukii* em fruto de morango. Setas indicam os espiráculos respiratórios.

Fonte: Autor (2019).

As larvas passam por três instares (Figura 2.3). Elas possuem formato cilíndrico e coloração branco-leitosa, e suas dimensões vão de 0,67 mm de comprimento com a eclosão, até 3,9 mm no último estágio larval. Após a eclosão, as larvas apresentam coloração branca, com órgãos internos visíveis e peças bucais escuras (KANZAWA, 1939; WALSH et al., 2011).



**Figura 2.3** Instares larvais de *Drosophila suzukii*.

Fonte: Liburd & Inglesias (2013).

Pupas femininas (3,18 mm) geralmente são maiores que as masculinas (2,90 mm). Nas pupas observam-se dois prolongamentos em uma das extremidades, os quais são resquícios dos filamentos respiratórios encontrados nas larvas. Inicialmente as pupas apresentam coloração amarelo-acinzentadas e aspecto mole e se tornam acastanhadas e endurecidas (Figura 2.4) (WALSH et al., 2011; DAFF, 2013).



**Figura 2.4** Pupas de *Drosophila suzukii*.

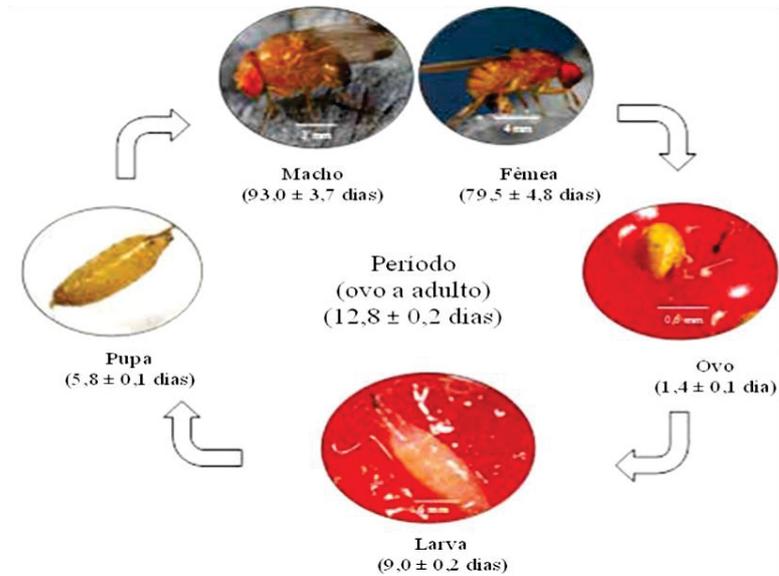
Fonte: Liburd & Inglesias (2013).

### 2.2.1 BIOECOLOGIA DE *Drosophila suzukii*

O período de incubação dos ovos varia entre 24 a 72 horas e após esse período, ocorre a eclosão de ovos e as larvas completam seu estágio entre 3 a 13 dias. A fase de pupa geralmente acontece dentro do fruto, mas também pode ocorrer no solo entre 3 a 15 dias. Depois da emergência, os adultos atingem a maturidade sexual em dois dias (DAFF, 2013).

O período de pré-oviposição de *D. suzukii* é de aproximadamente 2 dias após a emergência (CAI et al. 2019). Adultos de *D. suzukii* apresentam alta fecundidade e as fêmeas ovipositam em média 7 a 16 ovos por dia, e 384 ovos durante sua vida, em condições de laboratório (SCHLESENER et al., 2017).

O ciclo de vida de *D. suzukii* (Figura 2.5) é de aproximadamente 12,8 dias sob temperatura de 22°C (EMILJANOWICZ et al., 2014), e se estende em condições de temperaturas amenas (KIM et al., 2015). A longevidade média dos adultos é de 21 a 66 dias (CINI et al., 2012; DAFF, 2010).



**Figura 2.5** Ciclo de vida de *Drosophila suzukii* em condições de 23 ± 2 °C, 70 ± U.R., e fotoperíodo de 12: 12 (claro: escuro)

Fonte: Emiljanowicz et al. (2014)

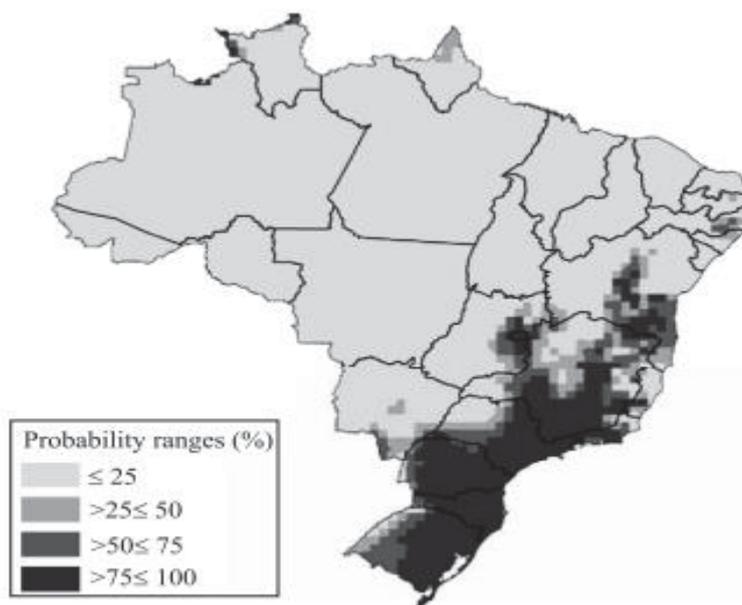
## 2.2.2 EFEITO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA *Drosophila suzukii*

As condições ambientais de temperatura e umidade favorecem a ocorrência de elevadas infestações de *D. suzukii* no campo (NAVA et al., 2015; EVANS et al., 2017; WOLLMANN et al., 2020). Apesar da temperatura de 28,1 °C ter sido considerada ideal para o desenvolvimento dessa praga (TOCHEN et al., 2014), temperaturas entre 20 °C e 25 °C são favoráveis para a reprodução de *D. suzukii* (EMILJANOWICZ et al., 2014). Elevadas temperaturas comprometem a sobrevivência e fertilidade desta praga (TOCHEN et al., 2014; EBEN et al., 2018). A fertilidade dos machos, por exemplo, pode ser afetada com uma temperatura superior a 30 °C (ANFORA et al., 2012). Temperaturas próximo a 31 °C, também afetam a taxa de oviposição das fêmeas de *D. suzukii*, reduzindo o número de ovos ovipositados (KINJO et al., 2014) e abaixo de 10°C, ocorre ausência de oviposição (LEE et al., 2011; TOCHEN et al., 2014).

A umidade também é essencial para o desenvolvimento de *D. suzukii*. Altos níveis de umidade aumentam a taxa de reprodução e da população da praga (TOCHEN et al., 2015). O conjunto desses fatores abióticos fornecem condições mais adequadas para o estabelecimento desse inseto (Figura 2.6). Associação de

temperatura amena e alta umidade (25 °C e 75% UR) favorecem o aumento da população de *D. suzukii* em comparação com condições climáticas adversas (35 °C e 57% UR) (SANTOS et al., 2017).

Situações adversas, como condições climáticas, estado nutricional do inseto e não disponibilidade de alimentos afetam o desenvolvimento e a praga pode entrar em diapausa (ZERULLA, et al., 2017). Todavia, as condições climáticas adversas podem não representar a erradicação da população, visto que a espécie se encontra estabelecida em regiões de intenso inverno, como no Japão (WALSH, et al., 2011). Adultos de *D. suzukii* entram em diapausa no início do inverno, sob temperaturas abaixo de 5 °C, e retomam suas atividades no início da primavera, quando as condições climáticas forem mais favoráveis. Zhai et al. (2016) verificaram que sob baixa temperatura e fotoperíodo curto, condições de inverno, ocorre atraso no desenvolvimento do ovário de fêmeas de *D. suzukii*, indicativo de condição de diapausa.



**Figura 2.6** Condição climática favorável para o estabelecimento de *Drosophila suzukii* no Brasil.

Fonte: Benito et al. (2016).

### 2.3 SUSCETIBILIDADE DE HOSPEDEIROS VEGETAIS a *Drosophila suzukii*

Estudos apontam diferenças na oviposição de *D. suzukii* entre espécies hospedeiras e cultivares dentro de uma mesma espécie. Estas diferenças são devidas às características físico-químicas de cada hospedeiro. O número de ovos de *D. suzukii* depositados em framboesa, morango, amora e mirtilo dependem da dificuldade de penetração do ovipositor para a oviposição e de características inerentes a cada cultivar (ENTLING et al., 2019; BURRACK et al., 2013). Em frutos de uva, a oviposição depende das cultivares e da menor firmeza das bagas (SHRADER et al., 2018; ENTLING et al., 2019, TONINA et al., 2020). Isto também foi certificado em goiaba (Lasa et al., 2017), em mirtilo (KINJO et al., 2013; LEE et al., 2016); framboesa (LITTLE et al., 2017) e caqui (SOUZA et al., 2020).

Adicionalmente, o pH e açúcar correlacionam-se frequentemente com a escolha de oviposição de *D. suzukii*. Frutos mais doces e menos ácidos de uva (IORIATTI et al., 2015); framboesa; amora; cereja; morango (LEE et al., 2011) e mirtilo (LEE et al., 2011; LEE et al., 2016) elevam a taxa de oviposição da praga. Isso revela que o progresso do estágio de maturação torna o fruto mais suscetível ao ataque de *D. suzukii* (KAMIYAMA; GUÉDOT, 2019).

No entanto, essas características qualitativas podem não se correlacionarem com a oviposição de *D. suzukii*, como foi observado em algumas cultivares de uva (ANDREAZA et al., 2016; PELTON et al., 2017) e de mirtilo (RODRIGUEZ-SAONA et al., 2019). Isso sugere que existem diversos fatores, além desses, que contribuam para a seleção hospedeira.

### 2.4 SUSCETIBILIDADE DE FRUTOS, DANOS E CONTROLE DE *Drosophila suzukii* NA CULTURA DO MORANGO

O morangueiro é extremamente suscetível a diversas pragas, e dentre essas, destaca *D. suzukii*, a qual atualmente é umas das principais pragas da cultura (BERNARDI et al., 2016; ZAWADNEAK et al., 2018). As fêmeas adultas de *D. suzukii* provocam danos primários pela oviposição e as larvas pela ingestão de polpa. Danos secundários decorrente das lesões servem como sítio de infecção para

microrganismos, tais como fungos e bactérias (SCHLESENER et al., 2017). Os frutos lesionados apresentam tecido amolecido que colapsa e se desintegra completamente, diminuindo a produtividade e a qualidade comercial dos frutos (SANTOS, 2014). Adicionalmente, os frutos danificados liberam compostos voláteis que ajudam a atrair outros insetos (SANTOS, 2014; NAVA et al., 2015).

Entre os hospedeiros de *D. suzukii*, o morango é uma das frutas mais suscetíveis à oviposição e adequadas para o desenvolvimento da praga (SISTERSON; WALSE, 2013, BELLAMY et al., 2013). A maior suscetibilidade de morango a *D. suzukii* ocorre em frutos menos firmes, mais doces e menos ácidos (LEE et al., 2011; BERNARDI et al., 2016; ARNÓ et al., 2016). Em frutos de morango parcial e totalmente maduros ocorre a maior porcentagem de desenvolvimento de *D. suzukii* (LEE et al., 2011). Estudos de preferência de oviposição da praga em cultivares neutras ao fotoperíodo exploradas comercialmente no Brasil são escassos. Segundo Bernardi et al. (2016), a cultivar Albion apresentou a maior taxa de oviposição em frutos completamente maduros. No entanto, as conclusões do estudo de Arnó et al. (2016) foram discrepantes ao daqueles autores, pois observaram que os estágios de maturação semi-maduro e verde foram similarmente ovipositados.

Os primeiros registros de *D. suzukii* na América do Sul ocorreram em 2013, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, por meio de coletas com utilização de iscas (DEPRÁ et al., 2014). Logo em seguida, no ano de 2014, a praga foi observada em morangueiro, no Rio Grande do Sul, com registro de danos em 30% da área de produção da fruta (SANTOS, 2014).

Devido à recente introdução e reconhecimento de *D. suzukii* como praga-chave de morango, inexitem produtos químicos registrados para seu controle nessa cultura no Brasil. Em países como Estados Unidos e Japão, onde a praga se encontra estabelecida, o controle químico é o principal método utilizado (BEERS, et al., 2011; FANNING et al., 2017; SHAWER et al., 2018;). Embora a utilização dessa ferramenta seja importante para a produção de alimentos, o uso dos produtos sintéticos de maneira indiscriminada provoca a resistência de pragas, como *D. suzukii* (GRESS; ZALOM, 2018).

## 2.5 ATRAÇÃO DE *Drosophila suzukii* AOS COMPOSTOS VOLÁTEIS DE PLANTAS HOSPEDEIRAS

Há diversos hospedeiros para *D. suzukii*, entretanto alguns são mais preferidos e adequados para o desenvolvimento da praga, tais como frutos de amora; cereja framboesa; mirtilo; morango; pêssego e uva (BELLAMY et al., 2013). Os compostos voláteis podem ser utilizados como sinais para o ataque de *D. suzukii* (YU et al., 2013), uma vez que podem atuar nessa preferência da escolha do hospedeiro e permitir o desenvolvimento adequado dos estágios imaturos (CLOONAN et al., 2018). Os voláteis de framboesa e morango, por exemplo, são mais atrativos que os de mirtilo e cereja para adultos de *D. suzukii* (ABRAHAM et al., 2015). De maneira similar, frutos de morango e cereja são mais atrativos que frutos de banana, maçã, mirtilo e uva (CAI et al., 2019). Entre os compostos voláteis identificados em amora, cereja, framboesa, mirtilo, morango e uva, os mais atrativos para *D. suzukii* foram os álcoois e os ésteres (REVADI et al., 2015). Segundo estes autores o acetato de isolamila estava presente em todos os hospedeiros e a concentração de 10 µg foi a mais atrativa para as fêmeas de *D. suzukii*. Da mesma forma, Liu et al. (2018) verificaram que os ésteres e os terpenos foram os principais grupos químicos encontrados nos frutos de amora japonesa, com influência sobre *D. suzukii*.

Vale destacar também, que a emissão de voláteis é variável no decorrer do amadurecimento e senescência dos frutos. Durante a decomposição dos frutos, há liberação de voláteis derivados do processo de fermentação, como hexanoatos de etila e de metila. Esses compostos são mais atraentes para algumas espécies de drosófilas, como *D. melanogaster* (KESSEY et al., 2015). No entanto, *D. suzukii* é adaptada a um nicho ecológico diferente, e atraída pelos compostos voláteis liberados ao longo da maturação dos frutos. Em distintos estágios do morangueiro (presença de flor até decomposição do fruto), Kessey et al. (2015) estudaram a atratividade de três espécies de drosofilídeos: *D. suzukii*; *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae) e *Drosophila biarmipes* Malloch (Diptera: Drosophilidae) aos compostos voláteis. Segundo estes autores, todas as espécies de drosófilas apresentaram resposta no início do amadurecimento do fruto. E, comparada a outras espécies, *D. suzukii* se mostrou mais sensível aos compostos liberados durante todo o processo de amadurecimento.

## 2.6 EFEITOS DA TEMPERATURA PARA *Drosophila suzukii* E ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE MORANGO

Estudos elucidam a influência da temperatura sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *D. suzukii*. Por exemplo, insetos criados sob regime de flutuação térmica (5,5 a 19 °C) apresentam maior tempo de desenvolvimento do que os mantidos em condição ideal e estável (21,5 °C) (JAKOBS et al., 2017). Larvas de *D. suzukii* demonstraram capacidade de desenvolvimento e sobrevivência prolongada sob flutuação térmica, com maior taxa de sobrevivência em baixa temperatura (0 °C) constante durante cinco dias (JAKOBS et al., 2017). Entretanto, os indivíduos de *D. suzukii* são suscetíveis ao frio e a mortalidade ocorre por curtos períodos de extrema baixa temperatura (-7,0 e -7,2 °C para machos e fêmeas, respectivamente) ou períodos prolongados de temperatura baixa (0 °C) (JAKOBS et al., 2015). Os estágios imaturos são mais sensíveis que o adulto com relação ao efeito da baixa temperatura, e os machos de *D. suzukii* são mais tolerantes que as fêmeas (ENRIQUEZ; COLINET, 2017). Temperaturas abaixo de 10 °C diminuem a sobrevivência de insetos adultos de *D. suzukii* (DALTON et al., 2011), e temperaturas inferiores a 9 °C, impedem a emergência de adultos (RYAN et al., 2016).

Além disso, pesquisas demonstram a importância da baixa temperatura aplicada durante a pós-colheita nas pequenas frutas infestadas por *D. suzukii*. Aly et al. (2016), investigaram temperatura de 1,67 °C durante 72 horas em frutos de mirtilo e framboesa. Em frutos de mirtilo a mortalidade de ovos foi total e para framboesa houve redução de sobrevivência de ovos e larvas de segundo e terceiro ínstares. Testando as temperaturas de 0,5 e 5 °C, pelo período de 10 e 24 horas, Saeed et al. (2019) verificaram que 0,5 °C por 24 horas foi satisfatório quanto a redução da emergência de adultos e prolongou a qualidade dos frutos de morango e mirtilo infestados por drosófila na pós-colheita. O efeito do uso de baixas temperaturas também é elencado para outras moscas-das-frutas, como *Ceratitidis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) e *Bactrocera tryoni* Froggatt (Diptera: Tephritidae) em uva (LIMA et al., 2011), fruta de epiderme fina e hospedeira de *D. suzukii*.

Adicionalmente, as baixas temperaturas favorecem a manutenção da qualidade dos frutos de morango, como firmeza, sabor, além da aparência que são atributos essenciais para os consumidores durante a comercialização (PAULL, 1999;

BOGATAJ et al., 2005; MALAGRIM et al., 2006; PELLETIER et al., 2011; HONG et al., 2018; BARIKLOO; AHMADI, 2018). O uso de baixas temperaturas logo após a colheita, durante o armazenamento, transporte e comercialização são imprescindíveis para assegurar a qualidade final e durabilidade dos frutos de morango, devido sua elevada taxa respiratória e curta vida de prateleira (KADER, 2002; BRECHT et al., 2016; CHITARRA, CHITARRA, 2005).

As condições ideais de armazenamento para o morango são temperatura baixa, entre 0 e 1 °C e alta umidade, entre 90 e 95% (CANTILLANO; SILVA, 2010; SHIN et al., 2007). Embora indicada, essa faixa de temperatura é dificilmente encontrada ao longo da cadeia de frio de hortifrutis no Brasil, a qual, quando usada, a temperatura fica entre 10 e 15 °C (CUNHA JÚNIOR et al., 2012).

Um dos principais problemas na cadeia de distribuição e comercialização do morango é o controle ineficiente de temperatura e sua flutuação (MIRZAEI et al., 2008; PELLETIER et al., 2011). Temperaturas ao longo da cadeia de frio mais altas que a recomendada, são decisivas na perda da qualidade dos frutos (KELLY et al., 2019).

### 3. ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO E COMPOSTOS VOLÁTEIS EM FRUTOS DE MORANGO ENVOLVIDOS NA ESCOLHA DE *Drosophila suzukii* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) PARA OVIPOSIÇÃO

#### RESUMO

*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) é uma praga polífaga invasiva que causa perdas econômicas na produção de bagas em todo o mundo. Os danos são causados pelo ovipositor usado para colocar ovos nas frutas, que também introduz microorganismos que aceleram a deterioração das frutas e servem de alimento para as larvas, levando a frutas não comercializáveis. O cultivo de cultivares de morango menos preferidos por *D. suzukii* pode ajudar no manejo dessa praga. Portanto, o objetivo deste estudo foi comparar a susceptibilidade de três cultivares de morango ao ataque de *D. suzukii* em três estádios de maturação (epiderme com 50%, 75% e 100% de superfície vermelha). Além disso, foram identificados compostos voláteis emitidos por essas cultivares de morango e atrativos para fêmeas de *D. suzukii*. Bioensaios de escolha livre e não escolha foram realizados para verificar a preferência de oviposição. Foram determinados os efeitos das características dos frutos na preferência de oviposição. Adicionalmente, foram verificados os compostos orgânicos voláteis ativos nas antenas de *D. suzukii* e contribuindo para a atração da praga para os frutos do morango. Tanto a cultivar quanto o estágio de maturação afetaram a escolha dos frutos no bioensaio de escolha livre ( $p < 0,001$ ). Frutos mais doces e menos firmes foram mais ovipositados. No entanto, no bioensaio sem escolha, nem a cultivar nem o estágio de maturação afetaram a escolha da oviposição ( $p = 0,998$ ). A quantidade total de voláteis não explicou a escolha da oviposição, sugerindo a relevância de voláteis específicos. Linalol produziu uma resposta comportamental significativa em fêmeas de *D. suzukii* ( $p = 0,0053$ ) e merece investigação adicional por ser usado como um atrativo em armadilhas de captura em massa, monitoramento e iscas tóxicas e auxiliando no controle da oviposição.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa*, Albion, Monterrey, San Andreas, drosófila-da-asa-manchada, linalol

# MATURATION STAGES AND VOLATILE COMPOUNDS IN STRAWBERRY FRUITS INVOLVED IN THE CHOICE OF *Drosophila suzukii* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) FOR OVIPOSITION

## ABSTRACT

*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) is an invasive polyphagous pest that causes economic losses in berry production worldwide. Damages are caused by the ovipositor used to lay eggs into fruits, which also introduces microorganisms that hasten fruit spoilage and serve as food for larvae, leading to non-marketable fruits. Growing strawberry cultivars that are less preferred by *D. suzukii* can help in the management of this pest. Therefore, the aim of this study was to compare the susceptibility of three strawberry cultivars to the attack of *D. suzukii* at three ripening stages (epidermis with 50%, 75%, and 100% of red surface). Moreover, volatile compounds emitted by these strawberry cultivars and attractive for *D. suzukii* females were identified. Free-choice and non-choice bioassays were carried out to check oviposition preference. Fruit trait effects on oviposition preference were determined. Additionally, the volatile organic compounds active in *D. suzukii* antennae and contributing to the attraction of the pest to strawberry fruits were verified. Both, cultivar and ripening stage affected fruit choice in the free-choice bioassay ( $p < 0.001$ ). Sweeter and less firm fruits were more oviposited. However, in the no-choice bioassay neither the cultivar nor the ripening stage affected the oviposition choice ( $p = 0.998$ ). Total amount of volatiles did not explain the oviposition choice, suggesting the relevance of specific volatiles. Linalool produced a significant behavioral response in *D. suzukii* females ( $p = 0.0053$ ) and deserves further investigation for being used as an attractant in mass-capture traps, monitoring and toxic baits and assisting in oviposition control.

Keywords: *Fragaria x ananassa*, Albion, Monterrey, San Andreas, spotted wing drosophila, linalool.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Nativa da Ásia, *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae), também conhecida como drosófila-da-asa-manchada, é uma praga de importância econômica em frutas de epiderme fina (BOLDA et al., 2010), e atualmente, se encontra presente em todos os continentes (EPPO, 2020). Diferentemente de outros drosofilídeos que tem como alvo frutos em processo de decomposição, as fêmeas de *D. suzukii* possuem ovipositor serrilhado e esclerotizado, o qual permite a oviposição em frutos sadios; na sequência, as larvas provocam ligeira desintegração dos frutos, tornando-os não comercializáveis (WALSH et al., 2011).

A espécie *D. suzukii* é altamente polífaga e dentre os hospedeiros, os frutos de morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne), framboesa (*Rubus idaeus* L.), cereja (*Prunus avium* L.), amora (*Morus nigra* L.) e mirtilo (*Vaccinium* spp.) são os mais preferidos para a oviposição da praga (LEE et al., 2011). Contudo, essa praga também já foi registrada em uma ampla gama de hospedeiros não cultiváveis (ARNÓ et al., 2016). Isto contribui para o estabelecimento e desenvolvimento de *D. suzukii* quando o hospedeiro preferencial não estiver disponível (LEE et al., 2015; ARNÓ et al., 2016. KENIS et al., 2016).

A suscetibilidade hospedeira à *D. suzukii*, está intimamente relacionada aos atributos físico-químicos particulares de cada espécie. Características como firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e coloração da epiderme são constantemente relacionadas com a seleção do hospedeiro (IORIATTI et al., 2015; BERNADI et al., 2016; LEE et al., 2016; RODRIGUEZ-SAONA et al., 2019; SOUZA et al., 2020).

De maneira recorrente, esses atributos qualitativos inerentes às frutas variam com a cultivar e estágio de maturação (MISZEZAK et al., 1995; CORDENUNSI et al., 2002; MÉNAGER et al., 2004; ORNELAS-PAZ et al., 2013; HANG et al., 2019) e interferem na suscetibilidade hospedeira a *D. suzukii* (ENTLING et al., 2019; TONINA et al., 2020). Para as cultivares de morango Hood e Totem, os frutos de epiderme parcial e totalmente vermelha, mais doces e menos firmes, apresentaram maior número de ovos e larvas desenvolvidas em relação aos frutos verdes, menos doces e mais firmes (LEE et al., 2011). Frutos de morango maduros e menos firmes da cultivar Candonga também tiveram maior quantidade de larvas, todavia, a cultivar Albion

apresentou número expressivo de larvas no estágio de maturação verde, com frutos mais firmes (ARNÓ et al., 2016). Essas informações sugerem que a preferência de *D. suzukii* pelo estágio de maturação pode estar relacionada a cultivar e necessitam serem melhor investigadas.

Outro fator importante são os compostos orgânicos voláteis emitidos pelos frutos que são utilizados na orientação da praga para os locais de oviposição (CAI et al., 2019). Os voláteis liberados ao longo do amadurecimento dos frutos de morango, por exemplo, são altamente atrativos para *D. suzukii* (KESSEY et al., 2015).

Portanto, um entendimento de qual estágio de maturação é o mais suscetível dentre as cultivares de morango mais plantadas pelos produtores nacionais, facilitaria o controle de *D. suzukii* (SWARD et al., 2016), principalmente em áreas de produção em que a praga está bem estabelecida (ANDREAZZA et al., 2017; WOLLMANN et al., 2020). Ademais, a identificação de compostos orgânicos voláteis liberados pelos frutos de morango e que são atrativos para *D. suzukii*, auxiliaria o monitoramento e captura dessa praga (ABRAHAM et al., 2015; KESSEY et al., 2015).

Nesse contexto, os objetivos desta pesquisa foram comparar a suscetibilidade de infestação de *D. suzukii* de três cultivares de morango colhidas em diferentes estágios de maturação e determinar quais compostos voláteis liberados por essas cultivares que são mais atrativos por fêmeas de *D. suzukii* para oviposição.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 PROCEDÊNCIA DO MATERIAL EXPERIMENTAL

Fêmeas e machos de *D. suzukii* foram coletados em frutos de morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne), no período de fevereiro a maio de 2018, em Curitiba (25 ° 26'59" S, 49 ° 13'48 " W), Paraná, Brasil. Grupos de adultos de ambos os sexos foram formados e mantidos em garrafas de vidro de 300 mL (14,9 cm de altura e 6,0 cm de diâmetro) com dieta artificial a base de levedo, farinha de milho e açúcar (SCHLESENER et al., 2018) e fechadas com tampão confeccionado de algodão hidrofílico e gaze. Foram isolados diariamente insetos adultos recém-emergidos para padronização de idade.

Para os experimentos foram utilizados insetos (430 fêmeas e 150 machos) com idade entre 5 e 7 dias (CAI et al., 2019). A criação foi mantida a temperatura  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ; umidade relativa do ar a  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 14 horas.

Os frutos de morango das cultivares Albion; San Andreas e Monterrey, neutras ao fotoperíodo, foram colhidos de plantio comercial localizado no município de São José dos Pinhais ( $25^\circ 37'57'' \text{ S}$ ,  $49^\circ 13'36'' \text{ O}$ ), Paraná, Brasil. A ausência da praga na área foi confirmada por meio de armadilhas iscadas com uma mistura de fermento (20 g), açúcar (50 g) e água (1000 mL) conforme metodologia proposta por Santos (2014), foi um dos fatores para a escolha como local de coleta de frutos. Foram colhidos no total 1207 frutos em diferentes estágios de maturação (50%, 75% e 100% de epiderme de coloração vermelha) para uso nos testes de oviposição, nas análises físico-químicas e coleta de voláteis. Vale elencar que é recomendada a colheita do morango, quando os frutos apresentarem 75% de coloração vermelha na epiderme (ANTUNES et al., 2006). Foi considerado assim, um ponto de maturação acima (frutos 100% vermelhos) e abaixo (frutos 50% vermelhos) da ideal para a realização desse estudo.

### 3.2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS

As características avaliadas foram firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT) e TSS/AT.

A firmeza da polpa foi determinada com duas medições na parte central de cada fruto (50%, 75% e 100% de epiderme vermelha) com o uso de Texturômetro Brookfield CT3 com ponteira de 2 mm, profundidade de penetração a 5 mm e velocidade de penetração de 1 mm/ segundo, conforme recomendado por Antunes et al. (2014).

A seguir foram mensurados o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável conforme recomendado por Zenebon et al. (2008). A relação dos sólidos solúveis e acidez titulável foi obtida através da relação entre as duas variáveis. Para as análises qualitativas do morango foram realizadas 18 repetições utilizando dois frutos de cada cultivar e estágio de maturação.

### 3.2.3 BIOENSAIOS DE PREFERÊNCIA PARA OVIPOSIÇÃO de *D. suzukii* em FRUTOS DE MORANGO

Para tanto foram realizados dois tipos de bioensaios: com e sem chance de escolha utilizando frutos de morango de diferentes cultivares (Albion, Monterrey e San Andreas) e estágios de maturação (50%, 75% e 100% vermelhos). Os frutos de morango foram obtidos diretamente do campo. Em laboratório, os frutos foram examinados sob um estéreo microscópio Zeiss Stemi 508 (40x) para avaliar a integridade da epiderme e ausência de ovos e larvas de *D. suzukii*.

Para o bioensaio com chance de escolha, dois frutos de morango (para cada uma das cultivares avaliadas e estágio de maturação) foram acondicionados de forma equidistante na base de uma gaiola. A gaiola foi constituída por um recipiente plástico transparente (35,0 cm de diâmetro e 12,0 cm de altura) e a base recipiente plástico preto de mesmo diâmetro. Para a ventilação e evitar excesso de umidade, foi feito um orifício de 6 cm<sup>2</sup> e selado com tecido *voile* na parte superior. Foi fornecido água destilada para os adultos por meio de capilaridade de algodão hidrofílico em microtubo tipo Eppendorf de 1,5 mL. Posteriormente, sete fêmeas acasaladas de *D. suzukii* (5-7 dias de idade) foram liberadas no centro da gaiola para permitir oviposição. Esse número de insetos foi escolhido para proporcionar uma relação de 2,5 frutos para cada inseto. Decorrido 24 horas, os insetos foram retirados e foi realizada a contagem do número de ovos por fruto, com auxílio do estéreo microscópio Zeiss Stemi 508 (40x). Feito isso, os frutos foram colocados em recipiente plástico de 220 mL (8,0 cm de diâmetro e 4,8 cm de altura) e fechado na parte superior com tampa (10 cm de diâmetro) perfurada para permitir o desenvolvimento larval dos insetos. Após 72 horas da contagem de ovos, foi quantificado o número de larvas segundo a metodologia proposta por Santos (2014).

Para o teste sem chance de escolha, foi utilizado a mesma metodologia proposta para com chance de escolha. Entretanto, foram dispostos dois frutos de morango com mesmo estágio de maturação e cultivar, ofertados para sete fêmeas de *D. suzukii*.

Ambos bioensaios foram conduzidos em sala climatizada, com temperatura a  $25 \pm 2$  °C; umidade relativa do ar a  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 14 horas.

Em todos os experimentos (escolha e não escolha), o desenho experimental foi inteiramente casualizado com 80 frutos por tratamento (cultivar e estágio de maturação). Foram realizadas 20 repetições no total, sendo cada repetição composta por uma gaiola.

### 3.2.4 COLETA E ANÁLISE DE VOLÁTEIS EM FRUTOS DE MORANGO

A quantificação e identificação dos compostos voláteis foram realizadas para identificar as diferenças entre as cultivares, considerando que as mesmas tiveram influência sobre a escolha de oviposição. Para tanto, foram utilizados apenas frutos totalmente maduros, que apresentaram nesse estágio de maturação, a maior preferência por *D. suzukii*, independentemente da cultivar.

Neste bioensaio, 47 amostras de frutos de morango (15 de 'Albion', 20 de 'Monterrey' e 12 de 'San Andreas') com epiderme 100% vermelha foram colhidos a campo conforme descrito acima. Foram selecionados frutos livres de qualquer injúria aparente (danos mecânicos, causados por alimentação e/ou oviposição de insetos ou ataque por fungos, conforme explicado anteriormente no item 3.2.3). Após a coleta, os frutos foram levados imediatamente para o Laboratório de Semioquímicos da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Em laboratório, a coleta dos compostos voláteis emitidos pelos frutos foi realizada pelo método de aeração (ZARBIN et al., 1999). Nesse método foram utilizadas câmaras cilíndricas verticais de vidro (12 cm de comprimento x 7 cm de diâmetro) onde foram acondicionados aproximadamente 50 g de frutos (4-5 frutos) de morango.

Para coleta dos voláteis no *headspace*, foi utilizado um fluxo contínuo de 1 L min<sup>-1</sup> de ar, filtrado em carvão ativado e umidificado, para carrear os voláteis liberados pelos frutos a uma coluna contendo 20 mg de polímero adsorvente *HayeSep D*<sup>®</sup> (ZARBIN et al., 1999). Após 24 horas de aeração, foi realizada a dessorção dos compostos retidos no polímero adsorvente utilizando 400 µL do solvente hexano bidestilado. Os extratos obtidos foram concentrados à 100 µL e uma alíquota de 1 µL foi analisada por Cromatografia em fase Gasosa com Detecção por Ionização em Chama (CG-DIC 2010 – Shimadzu) e/ou por Espectrometria de Massas (CG-EM 2010 Plus – Shimadzu) no modo *splitless*. Em ambas as análises, foi utilizada uma coluna cromatográfica RTX-5 (30 m x 0,25 mm d.i. x 0,25 µm de espessura de filme; J&W

Scientific, Folsom, California, EUA). O método para as análises cromatográficas teve a temperatura inicial de 50 °C, mantida durante 1 minuto e então foi aquecido a uma taxa de 7 °C min<sup>-1</sup> até 250 °C, mantida por 10 minutos. A temperatura do injetor e detector foi mantida a de 250 °C, com pressão de 200 kPa por um minuto no injetor. A determinação do Índice de Kovats (KI) foi realizada utilizando cromatogramas também obtidos por CG-EM. Mediante a isso, foram quantificados os compostos voláteis conhecidos como identificáveis pelos insetos, já descritos na literatura como ativos em antenas de *D. sukuzii* por Cromatografia Gasosa acoplada à Detecção Eletroantegráfica (GC-EAD) (Kessey et al., 2015; Abraham et al., 2015; Revadi et al., 2015).

### 3.2.5 RESPOSTA COMPORTAMENTAL EM OLFATÔMETRO

Após isolamento, os compostos voláteis, já descritos como ativos em antenas de *D. sukuzii*, foram utilizados para avaliação comportamental de adultos dessa praga. Para isso, foi utilizado um olfatômetro de dupla escolha do tipo “Y”, constituído de um tubo principal (40 cm de comprimento x 4 cm de diâmetro) e dois tubos laterais de vidro (20 cm de comprimento x 4 cm de diâmetro). O fluxo de ar contínuo foi mantido a 0,250 L min<sup>-1</sup>, previamente filtrado em carvão ativo e umidificado. Como fonte de odor foram utilizados pedaços de papel filtro (2 x 2 cm) impregnados com 10 µL do extrato em avaliação ou hexano (controle), colocado na base de cada braço do olfatômetro. Machos e fêmeas foram introduzidos individualmente na base do tubo principal do olfatômetro, observando seu comportamento por até 15 minutos. A resposta foi registrada quando o inseto caminhou contra o fluxo de ar e tocou o papel filtro que continha a fonte de odor (extrato ou controle). Como não-resposta foi considerada quando o inseto não caminhou contra o fluxo de ar e/ou não tocou em nenhuma das fontes de odor durante o tempo de observação (até 15 minutos). A cada 5 insetos testados, o olfatômetro foi limpo com álcool e mantido em um fluxo de ar por 5 minutos, sendo a posição dos braços do olfatômetro invertida para evitar qualquer interferência externa. Para a avaliação da atratividade dos compostos, conduziu-se experimentos de: (i) resposta de machos para extrato bruto do fruto; (ii) resposta de fêmeas acasaladas para extrato bruto do fruto; (iii) resposta de machos para a mistura sintética de acetato de butila, acetato de hexila e linalol; (iv) resposta de fêmeas

acasaladas para a mistura sintética de acetato de butila, acetato de hexila e linalol; (v) resposta de machos para cada composto individualmente e (vi) resposta de fêmeas acasaladas para cada composto individualmente.

Para cada repetição foi confrontado o tratamento vs controle (solvente Hexano). Em todos os experimentos foram testados 30 insetos, considerando cada indivíduo como uma repetição. A fonte de odor foi trocada a cada indivíduo testado e cada inseto foi testado apenas uma vez.

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O número total de ovos e larvas de *D. sukii* procedentes dos bioensaios com e sem chance de escolha, assim como as características físico-químicas dos frutos de morango foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguindo um delineamento completamente aleatorizado com cultivar, estágio de maturação e a sua interação como fatores. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ). As hipóteses de normalidade dos resíduos e de homocedasticidade foram conferidas mediante a visualização de gráficos q-q e o teste de Bartlett.

As correlações entre o número de ovos e de larvas e os parâmetros físico-químicos dos frutos foram realizadas utilizando modelos lineares e potenciais. A potência destas regressões foi quantificada pelo coeficiente de regressão.

As concentrações de compostos voláteis identificados como ativos para *D. sukii* nos diferentes cultivares de morango foram analisadas mediante ANOVA com delineamento completamente aleatorizado empregando o cultivar como fator explicativo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ). As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R Core Team, 2019). Os cromatogramas obtidos das cultivares de morango foram submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA) usando o software Matlab® versão 7.0.1 (Math work Inc., MA, USA). Os dados de respostas do teste de olfatómetro de dupla escolha, nos diferentes tratamentos foram analisados utilizando a técnica de qui-quadrado no software BioEstat® 5.0, com a exclusão dos testes sem resposta.

### 3.4 RESULTADOS

No bioensaio com chance de escolha, os fatores considerados (cultivar × estágio de maturação, bem como sua interação) exerceram efeito significativo (valor  $p < 0,001$ ) sobre o número total de ovos e larvas de *D. suzukii* encontrados nos morangos (Tabela 3.1).

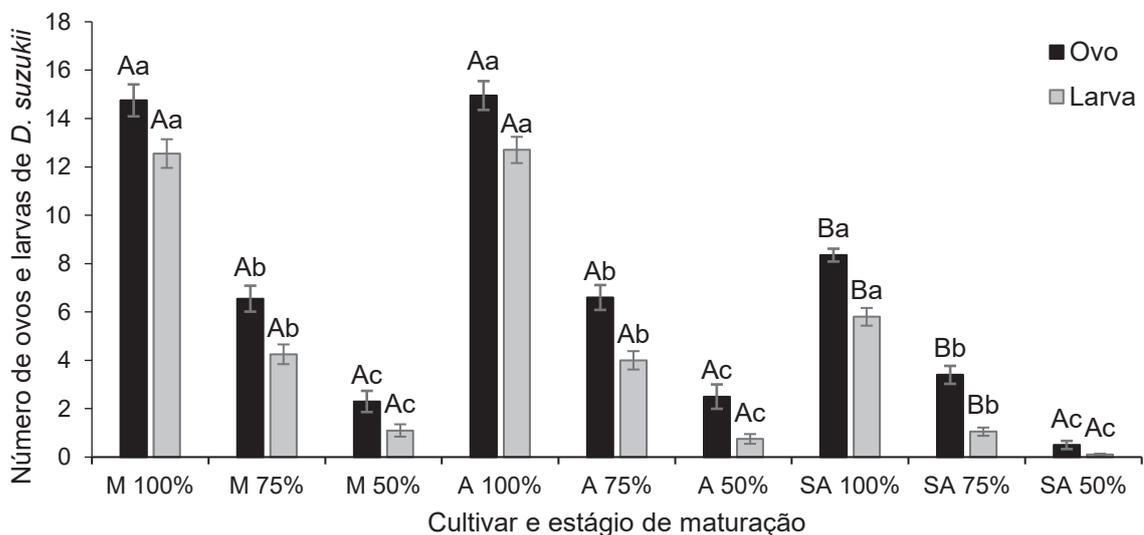
Além disso, o estágio de maturação teve efeito significativo sobre todos os parâmetros físico-químicos dos frutos de morango (Tabela 3.1). No entanto, o fator cultivar não afetou a firmeza dos frutos ( $p$ -valor = 0,188) (Tabela 3.1). A interação cultivar x estágio de maturação não foi significativa sobre o pH do fruto ( $p$ -valor = 0,150) (Tabela 3.1).

No bioensaio sem escolha, os efeitos da cultivar ( $p$ -valor = 0,229) e a interação cultivar x estágio de maturação ( $p$ -valor = 0,993) não tiveram efeito significativo sobre o número total de ovos e larvas de *D. suzukii* em frutas (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1** Efeitos da cultivar, estágio de maturação e a interação entre estes fatores ( $p$ -valores) sobre as variáveis analisadas.

Variável	Cultivar	Estágio de maturação	Cultivar × Estágio de maturação
Chance de escolha			
Ovos	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Larvas	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Parâmetros físico-químicos dos frutos			
TSS	< 0.001	< 0.001	< 0.001
AT	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Firmeza	0.188	< 0.001	0.002
Ratio	< 0.001	< 0.001	0.006
Sem chance de escolha			
Ovos	0.942	< 0.001	0.998
Larvas	0.229	< 0.001	0.993

Fêmeas de *D. suzukii* ovipositaram em todos os estágios de maturação e todas cultivares de morango. No teste com chance de escolha, as cultivares Albion e Monterrey foram mais ovipositadas ( $7,87 \pm 1,35$  e  $8,02 \pm 1,37$  ovos por fruto, respectivamente) ( $p < 0,001$ ) em relação a San Andreas ( $4,08 \pm 0,82$  ovos por fruto). Um número maior de ovos e larvas foi encontrado nos frutos mais maduros para todas as cultivares ( $12,68 \pm 0,99$  ovos e  $10,35 \pm 0,99$  larvas por fruto). Contudo, verificou-se que para o estágio de maturação com frutos de epiderme 50% vermelha, não houve diferença no número de ovos e larvas entre as cultivares de morango (Figura 3.1).

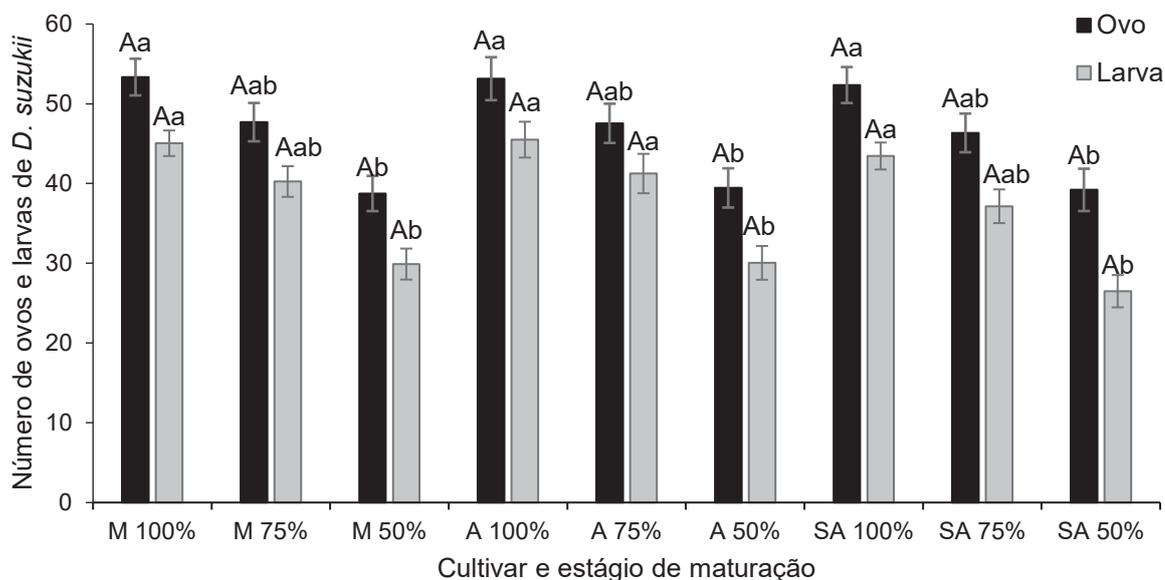


**Figura 3.1** Número total de ovos e larvas de *Drosophila suzukii* (média  $\pm$  erro padrão) em cultivares de morango Monterrey (M), Albion (A) e San Andreas (SA) com diferentes estágios de maturação (extensão da coloração vermelha da epiderme de 100%, 75% e 50%) em teste com chance de escolha.

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, maiúscula entre cultivares no mesmo estágio de maturação e minúscula entre estágio de maturação para a mesma cultivar, de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Para o teste sem chance de escolha, não foi verificada diferença na preferência entre as cultivares ( $p = 0,948$ ). Novamente, os frutos mais maduros foram preferidos, apresentando um número de ovos e larvas significativamente maior que os frutos menos maduros (Figura 3.2). Não houve diferença significativa no número de ovos

ovipositados nos frutos de maturação intermediária com os depositados nos frutos mais maduros ( $p = 0,998$ ) (Figura 3.2).



**Figura 3.2** Número total de ovos e larvas de *Drosophila suzukii* (média  $\pm$  erro padrão) em cultivares de morango Monterrey (M), Albion (A) e San Andreas (SA) com diferentes estágios de maturação (extensão da coloração vermelha da epiderme de 100%, 75% e 50%) em teste sem chance de escolha.

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, maiúscula entre cultivares no mesmo estágio de maturação e minúscula entre estágio de maturação para a mesma cultivar, de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Para as características físico-químicas dos morangos (Tabela 3.2), o teor de sólidos solúveis (TSS) nos frutos com epiderme 50% vermelha, não apresentou diferença significativa entre as cultivares. Entretanto, nos estágios subsequentes, 'Albion' e 'Monterrey' apresentam teor mais elevado de TSS que 'San Andreas'. A cultivar 'San Andreas' apresentou AT dos frutos superior a 'Albion' e 'Monterrey' em todos os estágios de maturação, exceto quando os frutos tinham 100% de epiderme vermelha. Com isso, a relação entre teor de açúcares solúveis e acidez titulável foi superior para 'Albion' e 'Monterrey', em comparação com 'San Andreas'.

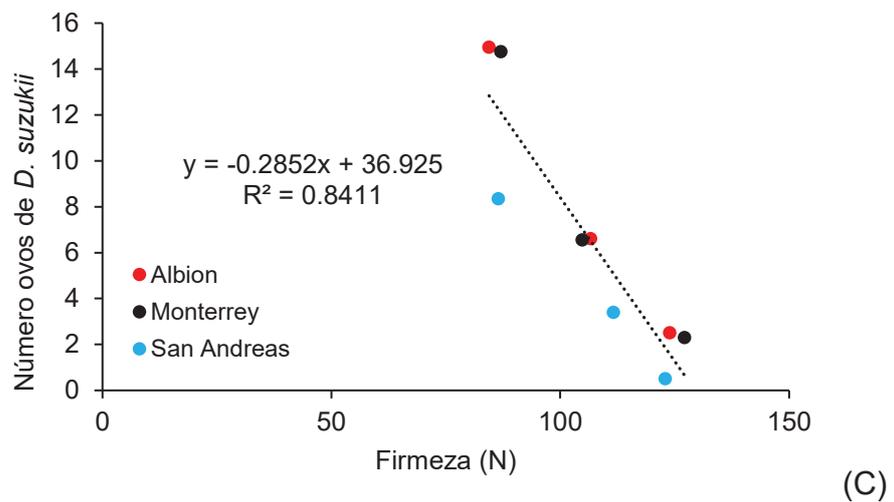
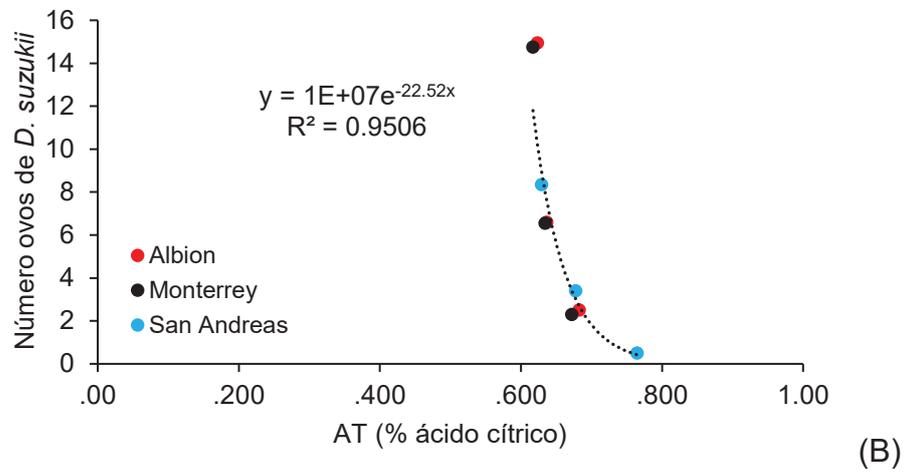
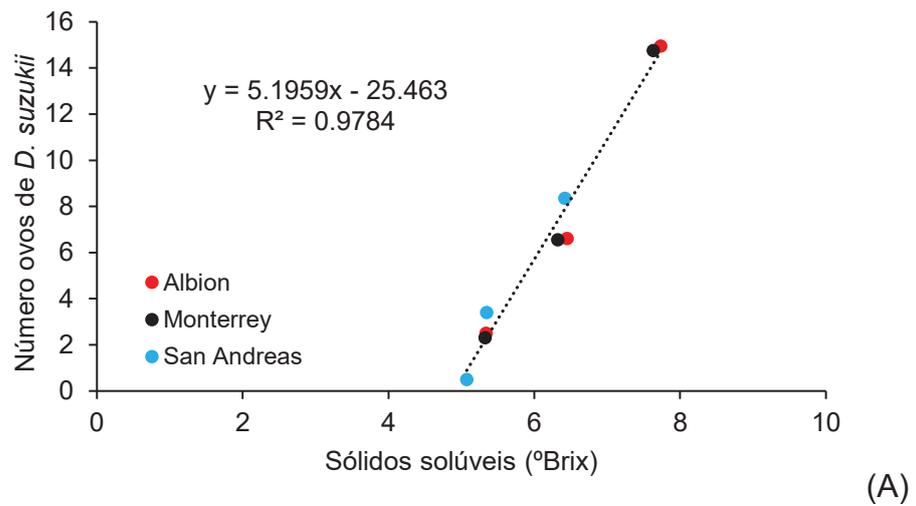
Para a firmeza dos frutos, foi verificada diferença significativa entre os estágios de maturação, mas não entre as cultivares de morango, exceto nos frutos com 75% de epiderme vermelha, onde o cultivar ‘Monterrey’ apresentou maior firmeza que a cultivar ‘San Andreas’ (Tabela 3.2).

**Tabela 3.2** Características dos frutos de morango das cultivares Albion, Monterrey e San Andreas colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 50% - M<sub>1</sub>, 75% - M<sub>2</sub> e 100% - M<sub>3</sub>), teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT), firmeza e ratio (média ± erro-padrão).

Características dos frutos	Estágio de maturação	Cultivares		
		‘Albion’	‘Monterrey’	‘San Andreas’
TSS	M <sub>1</sub>	5.34 ± 0.09 Ac	5.32 ± 0.11 Ac	5.07 ± 0.05 Ac
	M <sub>2</sub>	6.45 ± 0.11 Ab	6.32 ± 0.09 Ab	5.34 ± 0.06 Bb
	M <sub>3</sub>	7.73 ± 0.04 Aa	7.63 ± 0.05 Aa	6.42 ± 0.06 Ba
AT	M <sub>1</sub>	0.68 ± 0.01 Ba	0.67 ± 0.01 Ba	0.76 ± 0.01 Aa
	M <sub>2</sub>	0.64 ± 0.00 Bb	0.63 ± 0.00 Bb	0.68 ± 0.01 Ab
	M <sub>3</sub>	0.62 ± 0.00 Ab	0.62 ± 0.00 Ab	0.63 ± 0.00 Ac
Firmeza (N)	M <sub>1</sub>	123.9 ± 0.9 Aa	122.9 ± 1.0 Aa	127.1 ± 0.8 Aa
	M <sub>2</sub>	106.7 ± 1.4 ABb	111.6 ± 0.8 Ab	104.8 ± 1.9 Bb
	M <sub>3</sub>	84.5 ± 0.8 Ac	86.4 ± 0.5 Ac	87.0 ± 0.8 Ac
Ratio (TSS/AT)	M <sub>1</sub>	7.84 ± 0.13 Ac	7.94 ± 0.17 Ac	6.68 ± 0.09 Bc
	M <sub>2</sub>	10.15 ± 0.21 Ab	9.98 ± 0.17 Ab	7.92 ± 0.13 Bb
	M <sub>3</sub>	12.41 ± 0.08 Aa	12.37 ± 0.08 Aa	10.21 ± 0.11 Ba

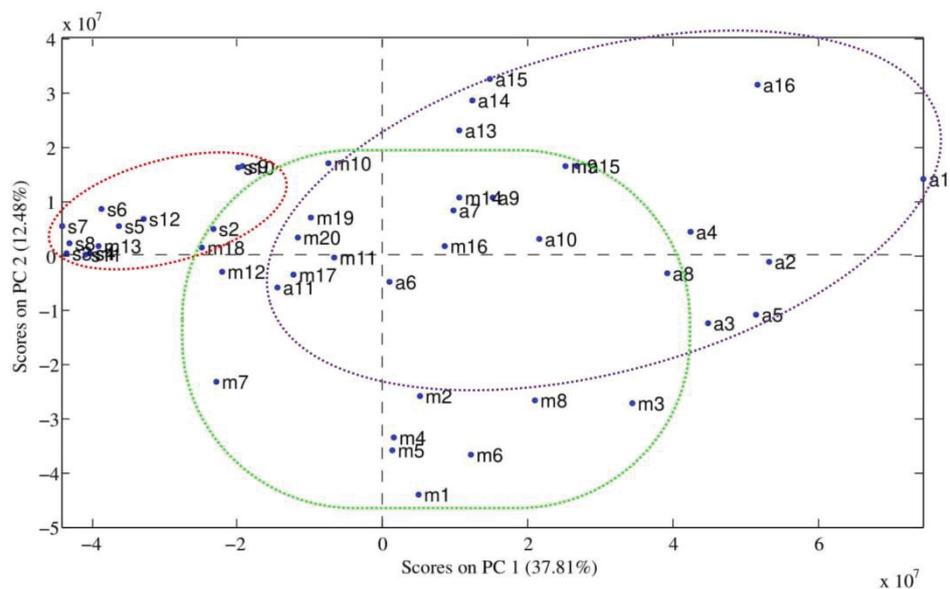
\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, maiúscula entre cultivares no mesmo estágio de maturação e minúscula entre estágio de maturação para a mesma cultivar de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

*Drosophila suzukii* efetuou maior oviposição nos frutos de morango quando houve a elevação do TSS e decréscimo da AT e firmeza (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Regressões entre o número de ovos ovipositados por *Drosophila suzukii* em ensaio com chance de escolha e (A) teor em sólidos solúveis (TSS), (B) acidez titulável (AT) e (C) firmeza dos frutos de morango.

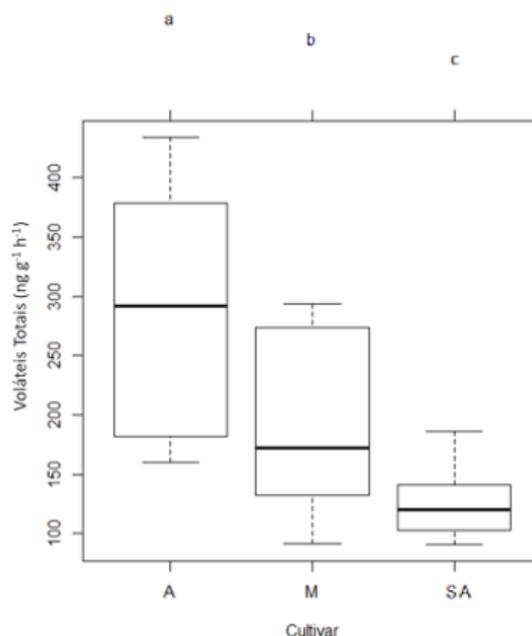
Com relação a diferença dos compostos voláteis entre as cultivares, a análise de componentes principais (PCA) resultou em um modelo com duas PCs, o qual explica 50,29% da variância total dos voláteis avaliados. Na PC 1, que explica 37,81% da variância, há uma separação entre de 'San Andreas' de 'Albion' e 'Monterrey', enquanto a PC 2, que explica 12,48% da variância, não resultou em uma melhor separação entre as cultivares, com uma sobreposição entre 'Albion' e 'Monterrey' (Figura 3.4). Esse resultado obtido com o perfil total de voláteis (*fingerprint*) destacou a presença de compostos comuns nas três cultivares. Além disso, a análise de componentes principais corrobora aos resultados observados nos testes de oviposição com escolha para o estágio de maturação avaliado, em que as cultivares Albion e Monterrey apresentam semelhança entre si, e se diferem da cultivar San Andreas.



**Figura 3.4** Scores da PCA. Albion - grupo azul, Monterrey - grupo verde e San Andreas - grupo vermelho.

Os voláteis totais liberados foram quantificados em nanogramas liberados por grama de pseudofruto a cada hora, sendo  $282,72 (\pm 95,71) \text{ ng g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para a cultivar Albion,  $195,87 (\pm 71,21) \text{ ng g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para Monterrey e  $126,99 (\pm 29,33) \text{ ng g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para San Andreas. Esses resultados mostraram uma variação entre os voláteis totais liberados para cada cultivar não apresentaram a mesma relação observada no ensaio de preferência de oviposição, pois, as cultivares Albion e Monterrey apresentaram

diferenças entre si (Figura 3.5). Com isso, verifica-se que nem todos os voláteis liberados pelos frutos são identificados pelos insetos e, possivelmente um grupo específico de compostos pode ser responsável pela atração e preferência observada no teste de oviposição.



**Figura 3.5** Quantificação dos voláteis totais liberados em  $\text{ng g}^{-1} \text{h}^{-1}$  pelas cultivares Albion (A), Monterrey (M) e San Andreas (SA).

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Os compostos voláteis presentes nos extratos coletados e descritos como ativos em antenas de *D. sukii* por GC-EAD apresentaram diferenças entre as cultivares de morango (Tabela 3.3). Morangos ‘Albion’ apresentaram maiores concentrações de butanoato de etila, butanoato de isopropila e octanoato de metila. Enquanto ‘Monterrey’ e ‘San Andreas’ apresentaram maior concentração de acetato de benzila e acetato de (Z)-hex-3-en-1-ila, respectivamente. Não se observaram diferenças significativas entre as cultivares de morango para acetato de isoamila, hexanoato de metila e hexanoato de etila. Os compostos acetato de butila, acetato de hexila e linalol exibiram quantidade análoga entre ‘Albion’ e ‘Monterrey’ e apresentaram diferença significativa de ‘San Andreas’ (Tabela 3.3).

**Tabela 3.3** Compostos orgânicos voláteis (média ± erro padrão) identificados em três cultivares de morango ('Albion', 'Monterrey' e 'San Andreas') como ativos em GC-EAD por *D. suzukii*.

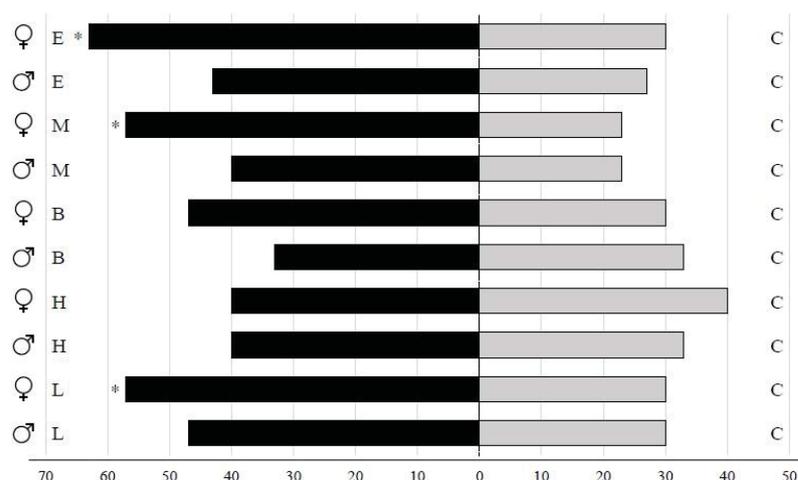
T <sub>R</sub> <sup>1</sup>	IK <sup>2</sup>	Composto volátil	Cultivares de morango (ng g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )		
			'Albion'	'Monterrey'	'San Andreas'
4,53	814	Butanoato de etila	3,24 ± 0,83 a	0,73 ± 0,15 b	0,64 ± 0,11 b
4,77	825	Acetato de butila	3,09 ± 0,70 a	3,25 ± 0,45 a	0,46 ± 0,04 b
5,30	849	Butanoato de isopropila	6,45 ± 1,67 a	1,42 ± 0,24 b	0,84 ± 0,16 b
5,98	880	Acetato de isoamila	2,98 ± 0,69 a	2,16 ± 0,31 a	2,99 ± 0,37 a
6,94	924	Hexanoato de metila	13,46 ± 1,85 a	10,12 ± 1,10 a	9,98 ± 0,76 a
8,63	1000	Hexanoato de etila	5,12 ± 0,74 a	2,69 ± 0,48 a	2,63 ± 0,42 a
8,73	1005	Acetato de (Z)-hex-3-en-1-ila	1,62 ± 0,16 ab	1,22 ± 0,12 b	1,84 ± 0,12 a
8,91	1013	Acetato de hexila	9,44 ± 0,90 a	10,74 ± 0,71 a	1,96 ± 0,19 b
10,93	1104	Linalol	14,56 ± 0,80 a	12,61 ± 0,70 a	9,30 ± 0,44 b
11,34	1124	Octanoato de metila	0,92 ± 0,10 a	0,47 ± 0,05 b	0,33 ± 0,03 b
12,26	1168	Acetato de benzila	0,92 ± 0,10 b	1,44 ± 0,24 a	0,57 ± 0,09 b

<sup>1</sup>TR, tempo de retenção.

<sup>2</sup>IK, Índice de Kovats.

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Nos testes utilizando olfâmetro de dupla escolha (Figura 3.6), pelo teste  $\chi^2$ , foi obtido diferenças nas respostas das fêmeas de *D. suzukii* para o extrato bruto ( $\chi^2 = 11.71$ ;  $p = 0.0009$ ); para a mistura sintética constituída de acetato de butila, acetato de hexila e linalol ( $\chi^2 = 14.45$ ;  $p = 0.0002$ ) e para o teste com linalol ( $\chi^2 = 8.379$ ;  $p = 0.0053$ ) isolado.



**Figura 3.6** Porcentagem de escolha de fêmeas e machos de *D. sukukii* em bioensaios com olfatômetro de tubo em Y. E, extrato de morango; M, acetato de butila, acetato de hexila e linalol (1:2, 4:5, 2); B, acetato de butila; H, acetato de hexila; L, linalol e C, controle.

### 3.4 DISCUSSÃO

Neste estudo, confirmou-se que mudanças que ocorrem durante o amadurecimento e as cultivares de morangueiro influenciaram na decisão de escolha hospedeira por *D. sukukii*. Ambos os testes, com e sem chance de escolha demonstraram que as fêmeas de *D. sukukii* ovipositaram em todos os estágios de maturação (Figura 3.1 e 3.2). Nos testes com escolha, no entanto, as fêmeas apresentaram preferência pelos frutos de maturação mais avançada, sugerindo que nesse estágio encontrem condições mais adequadas em relação aos frutos mais verdes (Figura 3.1). Esses resultados corroboram com os estudos anteriores relatando uma maior taxa de oviposição de *D. sukukii* em frutos maduros de morango, mirtilo, cereja, framboesa, amora e caqui (LEE et al.; 2011; BERNARDI et al.; 2016; ARNÓ et al., 2016; KAMIYAMA; GUÉDOT, 2019; SOUZA et al., 2020).

Tanto as cultivares, quanto os estágios de maturação, em ambos os testes, exibiram eclosão de larvas coerente com o número de ovos ovipositados para a espécie. Esse fato pode ser explicado pelo estágio de maturação avaliado neste estudo, frutos com no mínimo de 50% de coloração vermelha asseguraram substrato

adequado para o desenvolvimento larval. Apesar da baixa mobilidade, as larvas são capazes de selecionar a porção do fruto mais adequada o que garante o acesso as porções mais maduras e nutritivas (CRESONI-PEREIRA; ZUCOLOTO, 2009).

Sabe-se que com a evolução da maturação, há um aumento na concentração de açúcares no fruto até atingir seu completo amadurecimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Simultaneamente, a alteração da cor da polpa acontece com o aumento dos açúcares e acidez, levando a uma maior relação de açúcar/ácido, que é um dos atributos indispensáveis pelo sabor da fruta (ZHANG et al., 2011; MÉNAGER et al., 2004), concordando com os resultados observados nessa pesquisa (Tabela 3.2).

À medida que se elevou o teor de sólidos solúveis (°Brix) durante o progresso de maturação dos frutos, aumentou a suscetibilidade destes à *D. suzukii* (Figura 3.3). Esses resultados explicam o maior número de ovos encontrados nas cultivares Albion e Monterrey, as quais apresentaram maiores teores de sólidos solúveis, nos frutos com epiderme 75 e 100% vermelha, em comparação a cultivar San Andreas (Tabela 3.2). Com isso, pode-se afirmar que o teor de açúcar dos frutos, quando há disponibilidade simultânea de diferentes cultivares de morango, afetam a escolha de oviposição de fêmeas de *D. suzukii*. Assim, os maiores teores de carboidratos encontrados nas frutas de morango 100% maduras parecem contribuir para decisão de oviposição de *D. suzukii*, encontrando um substrato mais adequado para o melhor desenvolvimento dos estágios imaturos. No que se refere a isso, Lee et al. (2011) verificaram que as fêmeas de *D. suzukii* preferiram ovipositar em frutos mais maduros que continham um maior teor de açúcar quando comparados aos frutos mais verdes. Isso também foi verificado para dieta artificial, em que fêmeas de *D. suzukii* preferiram ovipositar nos substratos contendo elevado teor de carboidrato (SILVA-SOARES et al., 2017). Uma das principais funções dos carboidratos é ser usado como fonte energética durante o ciclo de vida e manutenção corporal dos insetos. Os carboidratos amplamente encontrados em frutos maduros são os mais utilizados pelos insetos (CRESONI-PEREIRA; ZUCOLOTO, 2009). Essas informações consolidam os resultados em que os frutos com maturação completa apresentaram alta concentração de carboidratos e por isso foram os preferidos para oviposição. Esses resultados são consistentes com descobertas de outros estudos em frutos de epiderme fina, como mirtilo (Lee et al., 2016) e morango 'Candongá' (Arnó et al., 2016) que também

mostraram um aumento no número de ovos de *D. suzukii* conforme aumento do teor de açúcares. Nesse contexto, é plausível que as fêmeas de *D. suzukii* utilizem de estratégias para reconhecimento e escolha dos hospedeiros que serão mais adequados para o desenvolvimento dos estágios imaturos (ARNÓ et al., 2016).

Em relação à textura, os frutos de estágio de maturação mais avançado apresentaram menor firmeza, ou seja, menor resistência a penetração (Tabela 3.2). A redução de firmeza é um processo natural que ocorre devido as transformações durante o amadurecimento dos frutos e está associada a degradação de componentes da lamela média e parede celular (TOIVONEN; BRUMMELL, 2008; VILLAREAL et al., 2008).

Em relação às características avaliadas, observou-se que a preferência de *D. suzukii* entre as cultivares, está mais relacionada principalmente a fatores químicos, uma vez que a firmeza não diferiu entre 'Albion', 'Monterrey' e 'San Andreas', com exceção do estágio de maturação 75% na qual 'Monterrey' apresentou firmeza superior a 'San Andreas'. Isso sugere que a firmeza está intimamente relacionada com o estágio de maturação e que essa característica foi fundamental para a escolha de hospedeiro de fêmeas grávidas (Tabela 3.2 e Figura 3.3).

Com relação aos voláteis, a quantidade total de compostos liberados foi maior para 'Albion', seguida de 'Monterrey' e 'San Andreas' (Figura 3.5). Isso indica que o total de voláteis não apresentou a mesma tendência observada nos testes de oviposição e aparentemente não influenciou na escolha pela cultivar. Isso sugere que alguns componentes voláteis exercem maior influência na decisão hospedeira e explicaria a maior preferência por 'Albion' e 'Monterrey'.

Foi possível observar que os compostos acetato de butila, acetato de hexila e linalol, descritos como ativos nas antenas de *D. suzukii* (KESSEY et al., 2015; ABRAHAM et al., 2015; REVADI et al., 2015), apresentaram concentrações semelhantes entre 'Albion' e 'Monterrey' e distintas para 'San Andreas' (Tabela 3.3). Desse modo, se propôs que estes compostos, isolados ou em conjunto pudessem ser responsáveis pela preferência de oviposição. Essa diferença encontrada entre as cultivares de morango nesse estudo, também pode ser observada entre os hospedeiros de *D. suzukii*. Por exemplo, Abraham et al. (2015) verificaram que frutos de framboesa e morango são mais preferidos, para *D. suzukii*, que mirtilo e cereja. Isso indica diferença na quantidade de compostos voláteis entre os diferentes tipos de

frutas (REVADI et al., 2015) e sugere que nem todos os hospedeiros liberem uma quantidade de compostos voláteis que seja atrativa para a praga (ABRAHAM et al., 2015), assim como encontrado para as cultivares de morango. Portanto, sugere-se que os compostos presentes em menor proporção em 'San Andreas' não apresentem quantidade suficiente para atrair *D. suzukii* quando existe possibilidade de escolha das outras cultivares.

Com base nos resultados comportamentais (Figura 3.6), fêmeas de *D. suzukii* tiveram maior preferência pelo extrato da fruta do que o controle, quando comparada com os machos. Isso também foi verificado para a mistura sintética contendo os três compostos (acetato de butila, acetato de hexila e linalol). Destaca-se que a preferência das fêmeas observada no teste anterior pode estar relacionada aos compostos utilizados na mistura. Embora o acetato de butila e acetato de hexila não tenham exibido resposta comportamental para adultos de *D. suzukii*, diversos estudos apontam esses compostos como ativos em antenas de *D. suzukii* e outras espécies, como *Drosophila melanogaster* e *Drosophila biarmipes* (KESSEY et al., 2015). No entanto, de acordo com os autores, *D. suzukii* os identifica primeiro, devido às diferenças existentes nas sensilas de antenas dessa espécie. Além, disso, em estudo realizado por Revadi et al. (2015), o acetato de hexila também provocou resposta em antena de *D. suzukii*, sendo que este composto foi encontrado especificamente no fruto de morango, dentre diferentes hospedeiros, evidenciando a importância desse composto para a atração do inseto no fruto. Assim como neste estudo, Bolton et al. (2019) verificaram que o acetato de butila e acetato de hexila também não exibiram resposta comportamental significativa em fêmeas e machos de *D. suzukii*. Portanto, sugere-se que esses compostos estariam mais relacionados a alimentação do que oviposição das fêmeas. O composto linalol exibiu resposta comportamental superior à dos outros compostos para as fêmeas de *D. suzukii*. Assim esse composto poderia estar associado à orientação das mesmas para os locais de oviposição, necessitando ser melhor investigado. As iscas atrativas atualmente utilizadas para *D. suzukii* atraem outras espécies, o qual dificulta o monitoramento da praga (REVADI et al., 2015). Desse modo, torna-se necessário o desenvolvimento de iscas específicas para *D. suzukii*. Abraham et al. (2015) e Kirkpatrick et al. (2018) constataram que o linalol provoca forte resposta antenal para *D. suzukii*. Pelo que se sabe, esse é o primeiro estudo comparando os voláteis ativos em antenas de *D. suzukii* que poderiam

contribuir para a preferência de oviposição de fêmeas de *D. suzukii* dentre diferentes cultivares de um de seus principais hospedeiros.

Durante a seleção hospedeira, sugere-se que fêmeas de *D. suzukii* utilizem de algumas estratégias para reconhecimento dos locais de oviposição. No que diz respeito, adultos dispõem de mecanismos sensoriais para isso, como o olfato por meio de sensilas localizadas nas antenas, funções gustativas, através de contato do tarso e/ou do abdômen (YAMOLINSKY et al., 2009; GAO et al., 2020) com o substrato e a visão.

Pode-se sugerir, portanto, que em campo onde se encontram frutos em diferentes estágios de maturação, a cor pode influenciar diretamente na escolha hospedeira, uma vez que adultos de *D. suzukii* apresentam preferência pela coloração vermelha (KIRKPATRICK et al., 2016) e dessa maneira, frutos com epiderme vermelha poderiam ser mais atraentes do que frutos verdes. Além do mais, as sensilas presentes no corpo permitem o reconhecimento de componentes como açúcar e acidez (YAMOLINSKY et al., 2009). Por essa percepção, os adultos poderiam localizar hospedeiros mais nutritivos para alimentação e oviposição. No decorrer do processo de amadurecimento do morango, por exemplo, adultos de *D. suzukii* manifestam respostas aos voláteis liberados com o início da maturação do fruto. Essas respostas aumentam até o processo de decomposição do fruto (KESSEY et al., 2015). Isso sugere que frutos de estágio de maturação mais avançado que apresentam composição e/ou liberação de voláteis mais eminentes são mais atrativos que frutos verdes. Portanto, *D. suzukii* poderia utilizar dessas pistas olfativas para encontrar plantas hospedeiras adequadas.

No que diz respeito à produção das cultivares de morango avaliadas nesse estudo, vale elencar também que, considerando uma relação entre teor de açúcares solúveis e acidez titulável mínima de 8,75 recomendado para a comercialização do morango (KADER, 1999). O produtor tem basicamente duas opções. A primeira é a escolha de plantio das cultivares 'Albion' e 'Monterrey' que apresentam frutos mais doces e bem aceitos no mercado. Entretanto, por serem as cultivares mais suscetíveis a *D. suzukii*, seria recomendada a colheita dos frutos mais precocemente para evitar maiores infestações a campo com frutos muito maduros. Isso afeta diretamente a qualidade do fruto devido a redução do acúmulo de açúcar. A segunda opção seria o plantio de 'San Andreas', a qual apresentou menor suscetibilidade. Por outro lado,

frutos dessa cultivar possuem menores teores de açúcares e os produtores terão que colher os frutos mais tardiamente para garantir o acúmulo de açúcar e maior relação de açúcares/acidez. Todavia, os frutos de colheita mais tardia possuem uma menor resistência ao transporte e tempo de comercialização. Isto significa que, os produtores, caso optem por esta cultivar para diminuir a infestação por *D. suzukii* terão que investir em infraestrutura para o armazenamento e comercialização com o objetivo de não comprometer a vida de prateleira.

Nesse estudo, confirmou-se que alguns fatores podem estar envolvidos na preferência de escolha de *D. suzukii* pelo estágio de maturação e cultivar de morango. O teor açúcar demonstrou contribuir significativamente na decisão de oviposição das fêmeas. Da mesma forma, os compostos voláteis emitidos pelos frutos de morango parecem contribuir para direcionamento dos adultos de *D. suzukii*. Sugere-se que o composto volátil linalol pode ser melhor investigado, uma vez que esse composto apresentou resposta comportamental significativa em fêmeas de *D. suzukii* e pode estar envolvido na orientação de fêmeas dessa espécie para os locais de oviposição. Os resultados dessa pesquisa podem contribuir para o manejo integrado de pragas (MIP), na qual o composto linalol, um dos componentes atrativos para fêmeas de *D. suzukii*, pode ser utilizado como atrativos em armadilhas de captura massal, de monitoramento e em iscas tóxicas e auxiliar no controle da oviposição da praga.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, J.; ZHANG, A.; ANGELI, S.; ABUBEKER, S.; MICHEL, C.; FENG, Y.; RODRIGUEZ-SAONA, A. Behavioral and antennal responses of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to volatiles from fruit extracts. **Environmental Entomology**, v. 44, p. 356-367, 2015.
- ANDREAZZA, F.; BERNARDI, D.; DOS SANTOS, R.; GARCIA, F. R. M.; BOTTON, M.; NAVA D. E. *Drosophila suzukii* in Southern Neotropical Region: current status and future perspectives. **Neotropical Entomology**, v. 74, p.591-60, 2017.
- ANTUNES, M. C.; CUQUEL, F. L.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MÓGOR, A. F.; RESENDE, J. T. V. Postharvest quality of strawberry produced during two consecutive seasons. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 168-173, 2014.
- ANTUNES, O. T.; CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; NIENOW, A. A.; MARIANI, F.; WESP C. L. Floração, frutificação e maturação de frutos de morangueiro cultivados em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 426-430, 2006.
- ARNÓ, J.; SOLÀ, M.; RIUDAVETS, G.; GABARRA, R. Population dynamics, non-crop hosts, and fruit susceptibility of *Drosophila suzukii* in Northeast Spain. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 713-726, 2016.
- BELLAMY, D. E.; SISTERTON, M. S.; WALSE, S. S. Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **PLOS ONE**, v. 8, p. 1-10, 2013.
- BERNARDI, D.; ANDREAZZA, F.; NAVA, D. E.; BARONIO, C. A.; BOTTON, M. Susceptibility and interactions of *Drosophila suzukii* and *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in damaging Strawberry. **Neotropical Entomology**, v. 46, p. 1-7, 2016.
- BOLDA M. P.; GOODHUE R. E.; ZALOM F. G. Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest. **University of California Giannini Foundation of Agricultural Economics**, v. 13, p. 5-8, 2010.
- BOLTON, L. G.; PIÑERO, J. C.; BARRET, B. A. Electrophysiological and behavioral responses of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) towards the leaf volatile  $\beta$ -cyclocitral and selected fruit-ripening volatiles. **Chemical Ecology**, v. 48, p. 1049-1055, 2019.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de Frutas e Hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CAI, P.; SONG, Y.; YI, C.; ZHANG, Q.; XIA, H.; LIN, J.; ZHANG, H.; YANG, J.; JI, Q.; CHEN, J. Potential host fruits for *Drosophila suzukii*: olfactory and oviposition preferences and suitability for development. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, p. 880–890, 2019

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. R. O.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2581-2586, 2002.

CRESONI-PEREIRA, C.; ZUCOLOTO, F. S. Moscas-das-frutas (Diptera). In: PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. (Ed.). *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. cap. 18, p. 733-766.

DEPRÁ, M., POPPE, J.L., SCHMITZ, H.J., DE TONI, D.C., VALENTE, V.L.S. The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in South American Continent. **Journal of Pest Science**, v. 87, p. 379-383, 2014.

ENTLING, W.; ANSLINGER, S.; JARAUSCH, B.; MICHL, G.; HOFFMANN, C. Berry skin resistance explains oviposition preferences of *Drosophila suzukii* at the level of grape cultivars and single berries. **Journal of Pest Science**, v. 92, p. 477-484, 2019.

GAO, H.; LAI, S.; ZHAI, Y.; ZHAOYUN, L.; ZHENG, L.; YU, Y.; REN, F. Comparison of the antennal sensilla and compound eye sensilla in four *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) species. **Florida Entomologist**, v. 102, p. 747-754, 2020.

HWANG, H.; KIM, Y. J.; SHIN, Y. Influence of ripening stage and cultivar on physicochemical properties, sugar and organic acid profiles, and antioxidant compositions of strawberries. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, p. 1659-1667, 2019.

IORIATII, C.; WALTON, V.; DALTON, D.; ANFORA, G.; MEISTRI, A.; MAZZONI, V. *Drosophila Suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its potential impact to wine grapes during harvest in two cool climate wine grape production regions. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 1148-1154, 2015.

KADER, A.A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. **Acta Horticulturae**, v.485, p. 203-208. 1999.

KAMIYAMA, M. T.; GUÉDOT, C. Varietal and Developmental Susceptibility of Tart Cherry (Rosales: Rosaceae) to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 112, p. 1-9, 2019.

KESSEY, I, W.; KNADEN, M.; HANSSON, B. S. Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit. **Journal of Chemical Ecology**, v. 41, p. 121–128, 2015.

KENIS, M.; TONINA, L.; ESCHEN, R.; SLUIS, B.; SANCASSANI, M.; MORI, N.; HAYE, T.; HELSEN, H. Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 735-748, 2016.

KIRKPATRICK, D. M.; MCGHEE, P. S.; HERMANN, S.L.; GUT, L. J.; MILLER, J. R. Alightment of spotted wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) on odorless disks varying in color. **Environmental Entomology**, v. 45, p. 185–191, 2016.

LEE, J. C.; DALTON, D. T.; SWOBODA-BHATTARAI, K. A.; BRUCK, D. J.; BURRACK, H. J.; STRIK, B. C.; WOLTZ, J. M.; WALTON, V. M. Characterization and manipulation of fruit susceptibility to *Drosophila suzukii*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 771-780, 2016.

LEE, J. C.; BRUCK, D. J.; CURRY, H.; EDWARDS, D.; HAVILAND, D. R.; STEENWYK, R. A. V.; YORGEY, B. M. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1358-1367, 2011.

LEE, J. C.; DREVES, A. J.; CAVE, A. M.; KAWAI, S.; ISAACS, R. MILLER, J. C.; TIMMEREN, S. V.; BRUCK, A. J. Infestation of Wild and Ornamental Noncrop Fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Annals of the Entomology Society of America**, v. 108, p. 117-129, 2015.

LITTLE, C. M.; CHAPMAN, T. W.; HILLIER, N. K. Plasticity is key to success of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) invasion. **Journal of Insect Science**, v. 20, p. 1-8, 2020.

MACÍAS-RODRIGUEZ, L.; QUERO, E.; LÓPEZ, M. G. Carbohydrate differences in strawberry crowns and fruit (*Fragaria x ananassa*) during plant development. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 3317-3321, 2002.

MÉNAGER, I.; JOST, M.; AUBERT, C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (cv. Cigaline) during maturation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1248-1254, 2004.

MISZCZAK, A.; FORNEY, C. F.; PRANGE, R. K. Development of Aroma Volatiles and Color during Postharvest Ripening of 'Kent' Strawberries. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, p. 650-655, 1995.

ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; RAMIREZ-BUSTAMANTE, N.; PEREZ-MARTINEZ, J. D.; ESCALANTE-MINAKATA, M. P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUNIS, C.; GUERRERO-PRIETO, V.; OCHOA-REYES, E. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. **Food Chemistry**, v. 138, p. 372–381, 2013.

REVADI, S. H.; VITAGLIANO, S.; STACCONI, M. V. R.; RAMASAMY, S.; MANZOURIAN, S.; CARLIN, S.; VRHOVSEK, U.; BECHER, P. G.; MAZZONI, V.; ROTA-STABELLI, O.; ANGELI, S.; DEKKER, T.; ANFORA, G. Olfactory responses of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. **Physiological Entomology**, v. 40, p. 54–64, 2015.

SANTOS, R. S. S. *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) atacando frutos de morangueiro no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 4005, 2014.

SANTOS, R. S. S. **Método rápido para estimar a infestação de ovos e larvas de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) em frutos.** Embrapa Uva e Vinho, p. 1-4, 2014.

SANTOS, R. S. S. Ocorrência de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera, Drosophilidae) atacando frutos de morango no Brasil. Comunicado Técnico Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, (Infoteca-e). p.1-4, 2014.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; TEIXEIRA, C. M.; NUNES, A. M.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, R. M. ***Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera, Drosophilidae): Biologia, Ecologia e Controle.** Pelotas: UFPel, p. 187, 2017.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; KRÜGER, A. P.; NUNES, A. M.; BERNARDI, D.; GARCIA, F. R. M. Biology and fertility life table of *Drosophila suzukii* on artificial diets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.166, p. 932-936, 2018.

SILVA-SOARES, N. F.; NOGUEIRA-ALVES, A.; BELDADE, P.; MIRTH, C. K. Adaptation to new nutritional environments: larval performance, foraging decisions, and adult oviposition choices in *Drosophila suzukii*. **BMC Ecology**, v. 17, p. 1-13, 2017.

SOUZA, M. T. de.; SOUZA, M. T. de.; BERNARDI, D.; RAKES, M.; VIDAL, H. R.; ZAWADNEAK, M. A. C. Physicochemical characteristics and superficial damage modulate persimmon infestation by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and *Zaprionus indianus*. **Environmental Entomology**, v. 49, p. 1290-1299, 2020.

SWARD, G. F. H.; GLASS, S. E.; PHILIPS, C. R. The phenology of infestations and the impacts of different varieties of cold hardy red raspberries on *Drosophila suzukii*. Adv. Entomol. 04: 183–190. **Advances in Entomology**, v. 4, p. 183-190, 2016.

TOIVONEN; P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 1-14, 2008.

TONINA, L.; GIOMI, F.; SANCASSANI, M.; AJELLI, M.; MORI, N. Texture features explain the susceptibility of grapevine cultivars to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) infestation in ripening and drying grapes. **Scientific Reports**, v. 10, p. 102-145, 2020.

VILLARREAL, N. M.; ROSLI, H.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 141-150, 2008.

WALSH, D. B.; BOLDA, M. P.; GOODHUE, R. E.; DREVES, A. J.; LEE, J. C.; BRUCKD, J.; WALTON, V. M.; O'NEAL, S. D.; ZALOM, F. G. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 2, p. 1-7, 2011.

WOLLMANN, J.; SCHLESENER, D. C. H.; MENDES, S. R.; KRUGER, A. P.; MARTINS, L. N.; BERNARDI, D.; GARCIA, M. S.; GARCIA, F. R. M. Infestation index of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in small fruit in southern Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, p. 1-9, 2020.

YARMOLINSKY, D. A.; ZUKER, C, S.; RYBA, N. J. P. Common sense about taste: from mammals to insects. **Cell**, v. 139, p. 234-244, 2009.

ZARBIN, P.H.; FERREIRA, J.T.B. e LEAL, W. Metodologias gerais empregadas no isolamento e identificação estrutural de feromônios de insetos. **Química Nova**, v. 22, p. 263-268, 1999.

ZENEBO, O.; PASCUOT, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ZHANG, J.; WANG, X.; YU, O.; TANG, J.; GU, X.; WAN, X.; FANG, C. Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) during fruit development and maturation. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 1103-1118, 2011.

#### 4. USO DE BAIXA TEMPERATURA PARA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE FRUTOS DE MORANGO INFESTADOS POR *Drosophila suzukii* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE)

##### RESUMO

*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) é uma praga polífaga que tem causado severos danos em morangos e perdas durante a pós-colheita. Para reduzir perdas nessa etapa, estudos sobre a interferência da cadeia de frio durante a comercialização dos frutos infestados por *D. suzukii* são necessários. Nesta pesquisa, foi avaliada a influência do armazenamento refrigerado na manutenção dos morangos infestados por *D. suzukii* e na redução de sobrevivência de estágios imaturos da praga. Frutos com epiderme 75% e 100% vermelha, com presença de ovos e larvas de primeiro ínstar de *D. suzukii*, respectivamente, foram submetidos ou não a baixas temperaturas, simulando as temperaturas usuais durante a cadeia de distribuição. Morangos submetidos a cadeia de frio apresentaram melhor manutenção das características físico-químicas (firmeza, teor de sólidos solúveis e acidez) e aspecto visual, independente do estágio de maturação em relação aos frutos não submetidos ao armazenamento refrigerado. O uso da cadeia de frio foi eficiente na redução de sobrevivência de ovos e larvas de *D. suzukii* a pupação (mortalidade = 100% e 75,85%, respectivamente). Uma vez que existe dificuldade na identificação e separação de frutos infestados por *D. suzukii* em um lote de frutos aparentemente sadios, a utilização de cadeia de frio é uma alternativa para comercializá-los e reduzir perdas durante a comercialização. Pelo que se sabe, esse é o primeiro estudo sobre o efeito do sistema de cadeia de frio em frutos infestados por *D. suzukii*.

Palavras-chave: *Fragaria* x *ananassa*, drosófila-da-asa-manchada, cadeia de frio, estágio de maturação, sobrevivência

## LOW-TEMPERATURE USE FOR QUALITY MAINTENANCE OF STRAWBERRY FRUITS ATTACKED BY *Drosophila suzukii* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE)

### ABSTRACT

*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) is a polyphagous pest that has been causing severe damages to strawberries and losses during post-harvest. To reduce losses at this stage, studies on the interference of the cold chain during the commercialization of the fruits infested by *D. suzukii* are necessary. In this research, the influence of cold storage on the maintenance of strawberries infested by *D. suzukii* and reduction of survival of immature stages of the pest was evaluated. Fruits with epidermis 75% and 100% red, with the presence of *D. suzukii* eggs and larvae of the first instar, respectively, were submitted or not to low temperatures, simulating the normal temperatures during the distribution chain. Strawberries submitted to the cold chain presented better maintenance of physicochemical characteristics (firmness, soluble solids contents, acidity) and visual aspect, regardless of the stage of ripeness in relation to fruits not submitted in the cold storage. The use of the cold chain was efficient in reducing the survival of eggs and larvae of *D. suzukii* pupation (mortality = 100% and 75.85%, respectively). Once there is difficulty in identification and separation of fruits infested by *D. suzukii* in a lot of apparently healthy fruits, the use of cold chain is an alternative to market them and reduce losses during the marketing. As far as we know, this is the first study on the effect of the cold chain system on fruits infested by *D. suzukii*.

Keywords: *Fragaria x ananassa*, spotted wing Drosophila, cold chain, maturation stage, survival.

## 4.1 INTRODUÇÃO

*Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) é uma praga importante em frutas de epiderme fina, como o morango. O ataque de *D. suzukii* em frutíferas causa perdas significativas que dependem da cultura hospedeira e dos níveis de infestação da praga a campo. As fêmeas possuem ovipositor serrilhado, o qual permite a oviposição em frutos com a epiderme intacta (CINI et al., 2012; LEE et al., 2015). As larvas abrem galerias durante alimentação da polpa do fruto, tornando-o não comercializável (WALSH et al., 2011; ALY et al., 2016). Estimam-se perdas de 20 e 30% para a produção de morango ocasionadas por *D. suzukii*, nos Estados Unidos e no Brasil, respectivamente (BOLDA et al., 2010; GOOGHUE et al., 2011; SANTOS, 2014).

As fêmeas de *D. suzukii* ovipositam preferencialmente em frutos maduros (LEE et al., 2011; BERNARDI et al., 2016), período em que é realizada a colheita. Com isso, o ponto de maturação em que o fruto é colhido, deve ser considerado para reduzir os danos provocados por *D. suzukii* e aumentar a vida útil dos mesmos, uma vez que frutos colhidos tardiamente se deterioram mais rápido (RAHMAN et al., 2014).

Sabe-se que o uso de baixas temperaturas na pós-colheita favorece a manutenção da qualidade de frutos e prolonga sua vida de prateleira (PAULL, 1999; BOGATAJ et al., 2005; MALAGRIM et al., 2006; PELLETIER et al., 2011; HONG et al., 2018; BARIKLOO; AHMADI, 2018). Frutos de morango são delicados e possuem baixa durabilidade, por isso necessitam ser comercializados sob baixa temperatura.

A cadeia de frio se refere a um processo da logística de uso ininterrupto de baixas temperaturas indicadas para cada alimento, a fim de manter a qualidade dos mesmos (CARULLO et al., 2009). A utilização da cadeia de frio é recomendada durante toda a pós-colheita e comercialização de morango. Entretanto, essa prática é pouco realizada.

Adicionalmente aos benefícios da baixa temperatura para os frutos, estudos elucidam a influência da temperatura sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *D. suzukii*. Baixas temperaturas reduzem a sobrevivência (JAKOBS et al., 2015; ENRIQUEZ; COLINET, 2017) e impedem a emergência de adultos (RYAN et al., 2016). Na pós-colheita, para o grupo das pequenas frutas, baixas temperaturas têm sido exploradas com a finalidade de reduzir a sobrevivência de *D. suzukii*, e impedir o

declínio da qualidade visual dos frutos infestados durante a comercialização (SAEED et al., 2019). Em frutos de mirtilo e framboesa, o armazenamento dos frutos em temperatura de 1,67°C durante 72 horas afetou sobrevivência dos estágios imaturos de *D. suzukii* (ALY et al., 2016). Da mesma forma, temperatura de 0,5 °C por 24 horas mostrou resultados satisfatórios na redução da emergência de adultos de *D. suzukii* em frutos de morango 'Irma' e mirtilo 'Brigitta' (SAEED et al., 2019). Embora a exposição sob períodos curtos de baixas temperaturas indique redução na sobrevivência de *D. suzukii*, o sistema de cadeia de frio deve ser investigado, uma vez que o uso ininterrupto de baixas temperaturas durante toda comercialização, poderia proporcionar benefícios para a manutenção da qualidade dos frutos infestados por *D. suzukii*.

Posto isso, um maior entendimento sobre o ponto de maturação em que o morango é colhido e do sistema de comercialização da cadeia de frio em que ele é submetido, é necessário para fornecer diretrizes de manejo de colheita e de pós colheita para diminuir as perdas ocasionadas por *D. suzukii*. Os objetivos desta pesquisa foram avaliar a interferência do uso do sistema da cadeia de frio em frutos de morangos atacados por *D. suzukii*.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 PROCEDÊNCIA DOS INSETOS

Fêmeas e machos de *D. suzukii* foram coletados em frutos de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne), no período de fevereiro a maio de 2018, em Curitiba (25 ° 26'59" S, 49 ° 13'48 " W), Paraná, Brasil. Grupos de adultos de ambos os sexos foram formados e mantidos em recipientes de vidro de fundo plano (14,9 cm de altura e 6,0 cm de diâmetro) com dieta artificial a base de levedo (40 g), farinha de milho (80) e açúcar (100 g), ágar (8 g), ninpagim (8 mL) e ácido propiônico (3 mL), conforme metodologia proposta por Schlesener et al. (2018) e fechadas com tampão confeccionado de algodão hidrofílico e gaze. A criação de insetos foi mantida a temperatura 25 ± 2°C; umidade relativa do ar a 70 ± 10% e fotofase de 14 horas. Foram isolados diariamente insetos adultos recém-emergidos para padronização de

idade. Para os experimentos foram utilizados insetos sexados com idade entre 5 e 7 dias (Cai et al., 2019).

#### 4.2.2 LOCAL DO ESTUDO E INTRODUÇÃO DAS GAIOLAS

Para esse teste, foram utilizados morangos “Monterrey”, provenientes de plantação localizada no município de Pinhais, PR (25° 25'S; 49° 06'O), no período de janeiro a setembro de 2020.

A gaiola foi constituída por um copo plástico transparente (220 mL) (4,8 cm de altura e 8,0 cm de diâmetro) e fechado com tampa de mesmo material (10 cm de diâmetro), perfurada com agulha 0.01 mm e tecido *voil* para permitir troca gasosa e impedir a saída dos insetos. Uma abertura (1,0 cm) foi feita em uma das extremidades da tampa para permitir a colocação do pecíolo e o desenvolvimento do fruto.

Para a pesquisa, foram selecionadas plantas-mãe contendo frutos verdes no estágio fenológico 05, caracterizado pelo desenvolvimento de um pequeno “fruto múltiplo” (ANTUNES et al., 2006). Estes frutos foram previamente desinfestados com hipoclorito de sódio (2,0%) e inseridos individualmente na gaiola. Quando os frutos apresentaram 50% de sua superfície vermelha, foram colocados dentro da gaiola três casais de adultos de *D. suzukii*. Depois de 24 horas de exposição, os insetos foram retirados das gaiolas.

Os frutos de morangos expostos aos insetos foram mantidos ligados às plantas-mãe pelo período de 24 ou 72 horas, neste momento os frutos apresentavam aproximadamente 75% ou 100% de sua superfície vermelha (estágio fenológico 09), para a obtenção de frutos com a presença de ovos ou de larvas de *D. suzukii*. Após esse período, as gaiolas foram retiradas, os frutos foram colhidos e encaminhados para o Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas da Universidade Federal do Paraná para armazenamento refrigerado.

#### 4.2.3 TRATAMENTO PÓS-COLHEITA A FRIO

Previamente ao armazenamento refrigerado, foi realizada a contagem de ovos em cada fruto com auxílio de um estéreo microscópio Zeiss Stemi 508 (40x), através

da identificação da presença de orifícios respiratórios e/ou cavidades ocasionados no local de oviposição.

Como o objetivo foi simular uma infestação de *D. suzukii* em condições de campo, não foi possível realizar a colheita dos frutos 100% maduros e posterior contagens, uma vez que os frutos de morangos se decompõem rapidamente, o que comprometeria a avaliação ao longo dos dias de armazenamento. Dessa forma, a quantificação de larvas de primeiro ínstar foi determinada através do número de pupas encontradas nos frutos 100% maduros armazenados em 23 °C.

Posteriormente, foram dispostos dois frutos por embalagem plástica transparente (100 mL) (4,7 cm de altura e 6,7 cm de diâmetro) que foi coberta por filme plástico. Em 62 embalagens, foram colocados os frutos com 75% de epiderme vermelha (presença de ovos) (M1) e em outras 62, frutos 100% maduros (presença de larvas de primeiro ínstar) (M2), totalizando 124 embalagens.

Visando simular a utilização de cadeia de frio em frutos infestados por *D. suzukii*, e a influência das baixas temperaturas na redução de sobrevivência desta praga, morangos foram submetidos a uma sequência de baixas temperaturas. Aproximadamente 62 embalagens plásticas (metade contendo morangos 75% vermelhos e outra metade contendo morangos 100% maduros) foram armazenadas em BOD a 0,5°C durante 24 horas (1º dia), a 3°C durante 8 horas e 12,5°C por mais 5 dias. A temperatura de 0,5°C foi utilizada por ser a recomendada para o armazenamento do morango (CANTILLANO; SILVA, 2010; SHIN et al., 2008). A temperatura de 3°C é recomendada para o transporte dos frutos (CANTILLANO; SILVA, 2010; ALY et al., 2016), havendo sido considerado um período de 8 horas supondo uma distribuição terrestre de no máximo 500 km. A temperatura de 12,5°C é a média encontrada em gôndolas durante a comercialização do morango (CUNHA JÚNIOR et al., 2012). Adicionalmente, outras 62 embalagens (metade contendo morangos 75% vermelhos e outra metade contendo morangos 100% maduros) foram armazenadas em temperatura de 23°C, visando simular a ausência de cadeia de frio.

#### 4.2.4 ANÁLISE DOS FRUTOS

As características avaliadas foram firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT), relação de sólidos solúveis e acidez titulável (TSS/AT) e

qualidade visual dos frutos infestados por *D. suzukii*. Todos os atributos foram determinados 1°, 3°, 5° e 7° dias de armazenamento.

A firmeza da polpa foi determinada com duas medições na parte central de cada fruto (50%, 75% e 100% de epiderme vermelha) com o uso de Texturômetro Brookfield CT3 com ponteira de 2 mm, profundidade de penetração a 5 mm e velocidade de penetração de 1 mm/ segundo, conforme recomendado por Antunes et al. (2014).

A seguir foram mensurados o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável conforme recomendado por Zenebon et al. (2008). A relação dos sólidos solúveis e acidez titulável foi obtida através da relação entre as duas variáveis. Para as análises qualitativas do morango foram realizadas 18 repetições utilizando dois frutos de cada cultivar e estágio de maturação. Os testes físico-químicos foram replicados seis vezes para cada tratamento.

Para avaliação da qualidade visual, a qual reflete a deterioração dos frutos ocasionada pelo processo de senescência e pelos danos de *D. suzukii*, foi utilizado o método proposto por Shin et al. (2008) de acordo com a porcentagem de área de superfície do morango danificado, na qual 5 = excelente (frutos sem danos aparentes), 4 = bom (até 5% da superfície afetada), 3 = aceitável (5-20% da superfície afetada), 2 = ruim (20-50% da superfície afetada) e 1 = inaceitável (> 50% da superfície afetada). Para essa avaliação, outra amostra de dois frutos foi utilizada. Cada amostra foi avaliada desde o primeiro até o último dia do armazenamento, quanto a sua aparência. Para a classificação visual, grupos de oito morangos foram formados e a média dos frutos, designou uma repetição. Essa análise foi repetida seis vezes. A qualidade visual dos morangos foi realizada de maneira subjetiva por um único avaliador.

#### 4.2.5 SOBREVIVÊNCIA DE *Drosophila suzukii* NO FRUTO

Posteriormente a análise dos frutos, os morangos usados para classificação da qualidade visual, foram utilizados para contabilizar a sobrevivência de *D. suzukii* nos frutos submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio.

Para tanto, foi realizada a contagem do número de pupas de *D. suzukii* através da dissecação dos frutos, ou seja, o número de ovos e de larvas que sobreviveram à pupação.

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. As características físico-químicas dos morangos foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ). Os dados de sobrevivência foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis. As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R Core Team, 2019).

### 4.4 RESULTADOS

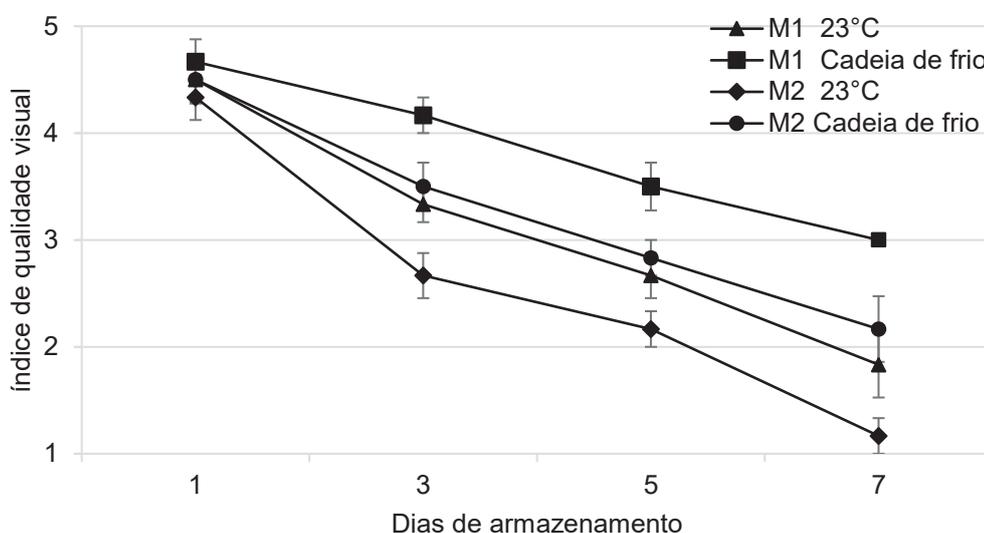
Os frutos de morangos 100% maduros apresentaram menor firmeza, menor acidez titulável (AT), maior teor de sólidos solúveis (TSS) e maior relação açúcar/acidez em comparação aos frutos 75% vermelhos (Tabela 4.1). A firmeza decresceu ao longo do armazenamento, independente do estágio de maturação. Entretanto, esse decréscimo foi atrasado nos frutos mantidos sob cadeia de frio. Da mesma maneira, o TSS reduziu durante o período de armazenamento, principalmente nos frutos armazenados a 23°C, ao passo que no último dia de armazenamento, o TSS foi igual nos morangos 75% vermelhos submetidos a cadeia de frio e para os frutos 100% maduros com ausência de baixas temperaturas. A AT também diminuiu ao longo do armazenamento, mas não apresentou diferença entre frutos colhidos no mesmo estágio de maturação. Em consequência, a relação açúcar/ acidez diminuiu ao longo do período de armazenamento, especialmente nos frutos 75% maduros armazenados a 23°C.

**Tabela 4.1** Características dos frutos de morango 'Monterrey' infestados por *Drosophila suzukii* e colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 75% - M1 e 100% - M2) submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio, teor de sólidos solúveis (TSS), acidez titulável (AT), firmeza e *ratio* (média  $\pm$  erro-padrão).

Características dos frutos	Dias de armazenamento	Estágio de maturação			
		M1		M2	
		23 °C	Cadeia de Frio	23 °C	Cadeia de Frio
Firmeza	1	83,5 $\pm$ 1,9 Aa	84,8 $\pm$ 1,9 Aa	75,0 $\pm$ 1,4 Ba	75,5 $\pm$ 1,0 Ba
	3	77,0 $\pm$ 2,6 ABb	80,5 $\pm$ 3,4 Aab	70,2 $\pm$ 1,6 Cb	73,8 $\pm$ 2,0 BCa
	5	72,8 $\pm$ 2,6 ABC	76,0 $\pm$ 3,0 Abc	64,7 $\pm$ 1,9 Cc	70,2 $\pm$ 1,5 Bb
	7	69,3 $\pm$ 0,8 Bd	73,5 $\pm$ 2,6 Ac	61,5 $\pm$ 1,6 Cd	69,0 $\pm$ 1,5 Bb
TSS	1	7,28 $\pm$ 0,10 Ba	7,32 $\pm$ 0,19 Ba	8,05 $\pm$ 0,24 Aa	8,13 $\pm$ 0,31 Aa
	3	6,77 $\pm$ 0,19 Cb	7,10 $\pm$ 0,21 BCab	7,30 $\pm$ 0,34 Bb	7,87 $\pm$ 0,43 Aab
	5	6,25 $\pm$ 0,19 Cc	6,92 $\pm$ 0,13 Bb	6,68 $\pm$ 0,26 BCc	7,32 $\pm$ 0,40 Abc
	7	5,87 $\pm$ 0,12 Cd	6,53 $\pm$ 0,15 Bc	6,52 $\pm$ 0,17 Bc	7,12 $\pm$ 0,19 Ac
AT	1	0,75 $\pm$ 0,02 Aa	0,75 $\pm$ 0,03 Aa	0,69 $\pm$ 0,02 Ba	0,69 $\pm$ 0,01 Ba
	3	0,74 $\pm$ 0,02 Aab	0,73 $\pm$ 0,03 Aab	0,67 $\pm$ 0,02 Bab	0,68 $\pm$ 0,02 Bab
	5	0,73 $\pm$ 0,01 Ab	0,71 $\pm$ 0,03 Ab	0,65 $\pm$ 0,02 Bab	0,66 $\pm$ 0,03 Bb
	7	0,70 $\pm$ 0,01 Ab	0,70 $\pm$ 0,03 Ab	0,64 $\pm$ 0,04 Bb	0,65 $\pm$ 0,03 Bb
Ratio (TSS/AT)	1	9,67 $\pm$ 0,23 Ba	9,79 $\pm$ 0,47 Ba	11,62 $\pm$ 0,51 Aa	11,76 $\pm$ 0,45 Aa
	3	9,21 $\pm$ 0,21 Bb	9,80 $\pm$ 0,44 Ba	10,85 $\pm$ 0,62 Aab	11,63 $\pm$ 0,74 Aa
	5	8,63 $\pm$ 0,36 Cc	9,70 $\pm$ 0,32 Bb	10,27 $\pm$ 0,50 ABb	11,20 $\pm$ 0,95 Aa
	7	8,44 $\pm$ 0,14 Dc	9,39 $\pm$ 0,42 Cb	10,26 $\pm$ 0,55 Bb	11,03 $\pm$ 0,55 Aa

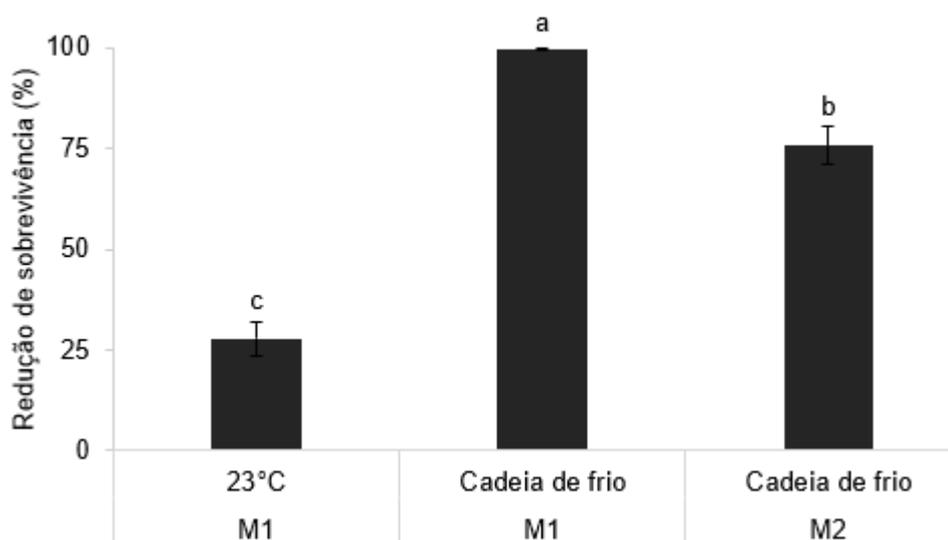
\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, maiúscula entre estágios de maturação para o mesmo dia e minúscula entre os dias de armazenamento para o mesmo estágio de maturação de acordo com o Teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Os morangos colhidos com a superfície 75% vermelha e armazenados sob o sistema de cadeia de frio apresentaram índice de qualidade visual mínimo recomendado para o fruto (índice 3) durante todo o período de armazenamento (Figura 4.1). Os frutos 75% e 100% vermelhos armazenados a 23°C e no sistema de frio, respectivamente, exibiram o índice mínimo de qualidade para comercialização atingido antes dos cinco dias. Contudo, os morangos 100% maduros não submetidos a cadeia de frio apresentaram a pior qualidade visual no decorrer do armazenamento, atingindo o índice mínimo para comercialização aos três dias.



**Figura 4.1** Índice de qualidade visual dos frutos de morango colhidos em diferentes estágios de maturação (epiderme com coloração vermelha de 75% - M1 e 100% - M2) submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio.

Nos frutos de morango, o sistema da cadeia de frio apresentou impacto efetivo na redução de sobrevivência dos estágios imaturos de *D. suzukii* ( $p < 0.001$ ) (Figura 4.2). A viabilidade dos ovos foi nula quando os frutos foram submetidos a cadeia de frio. Para larvas de primeiro ínstar, ocorreu mortalidade superior a 75% sob baixas temperaturas. Em comparação, frutos armazenados na ausência de frio, permitiram que mais de 75% dos ovos completassem o ciclo até a fase de pupa.



**Figura 4.2** Redução de sobrevivência dos estágios imaturos de *D. sukukii* a pupação em morangos com epiderme 75% (M1, presença de ovos) ou 100% vermelha (M2, presença de larvas de primeiro instar), submetidos a cadeia de frio e 23°C (controle). \*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, de acordo com o Teste de Kruskal-Wallis a 1% de probabilidade.

#### 4.5 DISCUSSÃO

Neste estudo, confirmou-se que os estágios de maturação em que os morangos são colhidos e o uso da cadeia de frio influenciam diretamente a vida de prateleira dos frutos infestados por *D. sukukii*. Frutos de morango colhidos com 75% da coloração vermelha apresentaram maior firmeza que os frutos totalmente maduros (Tabela 4.1). No processo de amadurecimento do morango, ocorrem alterações na estrutura celular. Quando os frutos ainda estão verdes, apresentam células menores e parede celular densa, o que resulta em uma textura mais firme (PERKINS-VEAZIE, 1995). Enquanto frutos maduros exibem relação inversa, a qual contribui para a fragilidade de sua estrutura (NUNES et al., 2002). No decorrer do armazenamento, a firmeza reduziu em todos os estágios de maturação, tanto nos frutos submetidos a baixas temperaturas, quanto naqueles armazenados a 23 °C (Tabela 4.1). A redução de firmeza é um processo natural que ocorre e está associado a degradação de componentes da lamela média e parede celular (TOIVONEN; BRUMMELL, 2008; VILLAREAL et al., 2008). Contudo, os frutos com epiderme 75 e 100% vermelha que

não foram submetidos a cadeia de frio, apresentaram amolecimento mais pronunciado (Tabela 4.1). Esses resultados são consistentes com os estudos anteriores, na qual foi evidenciado que o armazenamento em menores temperaturas, retardou o amolecimento da epiderme dos frutos de morango (ALI et al., 2011). Além do mais, os morangos armazenados a 23 °C permitiram o desenvolvimento dos estágios imaturos de *D. suzukii*, os quais ao se alimentarem da polpa do fruto contribuiu para desintegração acelerada da polpa.

O TSS dos frutos variou de acordo com o ponto de maturação em que foram colhidos. Frutos totalmente vermelhos apresentaram maiores TSS (Tabela 4.1). Isto ocorreu porque esses frutos ficaram ligados a planta-mãe por um período maior, acumulando maior quantidade de açúcar (NUNES et al., 2006). Os frutos 75 ou 100% maduros, submetidos ou não ao sistema de cadeia de frio apresentaram redução no TSS no decorrer dos dias de armazenamento (Tabela 4.1). O declínio do TSS pode ser explicado pela hidrólise de açúcares, com a finalidade de manter a respiração (ZHAO et al., 2019). Entretanto, os morangos mantidos a 23 °C apresentaram declínio acentuado no TSS, ao qual pode ter ocorrido por uma maior taxa respiratória (AYALA-ZAVALA et al., 2004). Em comparação, nesse estudo, baixas temperaturas utilizadas durante o sistema da cadeia de frio diminuem a degradação de carboidratos nos frutos de morango em decorrência do decréscimo da respiração (AYALA-ZAVALA et al., 2004). Resultados semelhantes foram encontrados por Zhao et al. (2019) que verificaram que os frutos de morango submetidos a temperaturas mais altas apresentaram maior taxa respiratória e redução no TSS.

Da mesma maneira, a acidez titulável dos frutos variou de acordo com o estágio de maturação em que foram colhidos. Morangos 75% vermelhos apresentaram maior acidez em comparação com os frutos 100% maduros (Tabela 4.1). Ménager et al. (2014) verificaram que a acidez titulável do morango reduz drasticamente conforme o progresso de maturação do fruto. No entanto, diferentes temperaturas de armazenamento podem não interferir na redução de acidez ao longo dos dias, como observado por Ayala-Zavala et al. (2004).

A relação sólidos solúveis/ acidez titulável foi maior nos frutos 100% maduros, uma vez que nesses frutos houve maior acúmulo de açúcares que nos frutos de morangos 75% vermelhos (Tabela 4.1). No entanto, em ambos os estágios de maturação essa relação foi superior a recomendada para comercialização de frutos

de morango (KADER, 2002). Contudo, os frutos parcialmente ou totalmente maduros, quando submetidos ao sistema de frio, tiveram menor redução do *ratio*, provavelmente ocasionado por uma menor taxa respiratória. Com isso, os frutos mantidos em baixa temperatura mantiveram a qualidade por maior período do que os mantidos a 23 °C.

Em relação aos índices de qualidade visual dos morangos, os frutos com 75% de epiderme vermelha (presença de ovos) apresentaram a melhor qualidade visual, quando submetidos a cadeia de frio (Figura 4.1). Esses frutos mantiveram a qualidade mínima indicada conforme Ayala-Zavala et al. (2014), durante todo o período de armazenamento. Em comparação, os frutos 75% vermelhos armazenados sob 23 °C, exibiram deterioração em um nível não comercializável antes dos 5 dias de armazenamento. Saeed et al. (2019) também submeteram frutos de morango infestados com ovos de *D. suzukii* a 0,5 °C por um período máximo de 24 horas. Nessas condições, os frutos atingiram um nível de qualidade ruim ou inaceitável após 6 dias de armazenamento. Isso indica que o uso da cadeia de frio preserva mais a qualidade dos frutos de morango infestados por *D. suzukii* durante todo o período de comercialização. Contudo, os morangos 100% maduros (presença de larvas de primeiro ínstar) apresentaram deterioração mais acelerada (Figura 4.1). Isso demonstra que a colheita de frutos muito maduros com presença de estágios imaturos mais avançados contribuem para redução da sua vida de prateleira e perdas na etapa de pós-colheita.

Com relação a sobrevivência de *D. suzukii*, o uso da cadeia de frio apresentou redução de sobrevivência, tanto para o estágio de ovo (morangos 75% vermelhos), quanto para larvas de primeiro ínstar (morangos 100% vermelhos) (Figura 4.2). Aly et al. (2016), também verificaram redução de sobrevivência pupal, quando ovos e larvas foram submetidos a baixas temperaturas em frutos de framboesa e mirtilo. No entanto, segundo os autores, as larvas de primeiro ínstar apresentaram maior resistência ao frio, quando comparadas aos outros estágios imaturos. Isso pode ter ocorrido por dois motivos. O primeiro é que larvas de primeiro ínstar conseguem se abrigar mais internamente no fruto, diferente de larvas de segundo e terceiro ínstars que ficam mais expostas no decorrer da decomposição dos frutos (ALY et al., 2016). O segundo motivo seria que o período de exposição a baixa temperatura em que os estágios imaturos foram submetidos, pode não ter sido suficiente para reduzir a sobrevivência

de larvas de primeiro ínstar, evidenciando a importância do uso interrupto de baixa temperatura durante toda a comercialização dos frutos.

Contudo, Wang et al. (2020) relataram que sob temperatura de 0°C por 12 horas, o estágio mais resistente de *D. suzukii* em frutos de uva foi o ovo, se comparado com outros estágios (larvas de primeiro, segundo e terceiro ínstar e pupas de estágio inicial e tardio). Esses resultados diferem do encontrado nesse estudo em que os ovos foram suscetíveis ao frio. Essa diferença encontrada em relação a esse estudo pode ser justificada pelo hospedeiro utilizado, fonte de colônia dos insetos ou método de infestação distintos (WANG et al., 2020), necessitando de estudos futuros para explicitar esta questão.

Outro fator que deve ser considerado é o tipo de hospedeiro em que os estágios imaturos de *D. suzukii* estão presentes. Em uma classificação de hospedeiros potenciais para *D. suzukii*, Bellamy et al. (2013) classificaram de forma decrescente, frutos de framboesa, morango, amora, cereja, pêsego, mirtilo e uva. Neste estudo, foram avaliados frutos de morango, os quais estão entre os hospedeiros mais preferidos para oviposição de fêmeas e favoráveis para o desenvolvimento da praga (BELLAMY et al., 2013). Em relação a isso, Jiménez-Padilla et al. (2020) verificaram que os estágios imaturos de *D. suzukii* alimentados com dieta a base de morango e framboesa, apresentaram maior resistência ao frio do que aqueles alimentados com outras frutas. Nesse sentido, Saeed et al. (2019), constataram que baixas temperaturas, 5°C e 0,5°C, proporcionaram maior inibição da sobrevivência de *D. suzukii* em frutos de mirtilo, quando comparados com frutos de morango. Além disso, segundo os autores, a exposição a essas baixas temperaturas por 10 horas não foi tão eficiente quanto a de 24 horas na redução de sobrevivência de *D. suzukii*. Com isso, maior tempo de exposição a baixas temperaturas, através da cadeia de frio pode ser uma alternativa para a comercialização dos frutos de morango, uma vez que baixa temperatura por um período curto de tempo, pode não ser suficiente para reduzir a sobrevivência e garantir a qualidade dos frutos infestados por *D. suzukii*. Kraft et al. (2020) também verificaram que exposição mais longa (120 horas) de baixas temperaturas (0°C, 1,5°C e 2°C) proporcionou menor sobrevivência dos estágios imaturos de *D. suzukii* em relação a curta duração (72 horas) de refrigeração para o grupo das pequenas frutas.

Sabe-se que as fêmeas de *D. suzukii* têm preferência por morangos maduros (LEE et al.; 2011; ARNÓ et al., 2016). Por esse motivo, é recomendado a realização de colheitas mais intensificadas para reduzir a quantidade de frutos muito maduros no campo e facilitar o manejo dessa praga (LEACH et al. 2018). Já na pós-colheita, o uso de baixas temperaturas para o grupo das pequenas frutas, contribui para reduzir a sobrevivência e o risco de entrada em regiões de ausência da praga (ALY et al., 2016; SAEED et al., 2019). Pelo que se sabe, esse é o primeiro estudo sobre o efeito da cadeia de frio em frutos de morango infestados por *D. suzukii*.

Vale elencar que é frequente durante a etapa de comercialização, a recusa de lotes de frutos infestados por *D. suzukii*, devido à dificuldade na identificação e separação de frutos infestados em um lote de frutos sadios, principalmente os frutos com a presença dos primeiros estágios imaturos, na qual apresentam o tamanho médio (comprimento x largura) de 0,62 x 0,18 e 0,67 x 0,17 mm para ovos e larvas de primeiro ínstar, respectivamente (WALSH et al., 2011; SCHLESENER et al., 2015).

Outra questão que deve ser considerada é o período ideal para o resfriamento. É recomendado que o pré-resfriamento dos frutos seja realizado logo após a colheita dos mesmos para garantir a qualidade dos morangos (KELLY et L., 2019). Além disso, o resfriamento imediato poderia assegurar benefícios para os frutos de morango infestados por *D. suzukii* provocando maior mortalidade dos estágios imaturos. Em contrapartida, atrasos na etapa de resfriamento, irão proporcionar o desenvolvimento dos estágios imaturos dentro dos frutos, comprometendo diretamente a degradação dos mesmos e sua comercialização.

Nessa pesquisa, o sistema de cadeia de frio, mostrou-se eficiente quanto a manutenção das características físico-químicas e visuais dos morangos infestados por *D. suzukii*, especialmente frutos de epiderme 75% vermelha. Os frutos nesse estágio, que continham ovos de *D. suzukii* poderiam ser comercializáveis com danos imperceptíveis da praga durante o período de comercialização da fruta, desde que mantidos sob baixa temperatura constante. Dessa maneira, o sistema de frio é uma alternativa para os produtores comercializarem os morangos e reduzir perdas durante o processo de comercialização.

## REFERÊNCIAS

- ALI, A.; ABRAR, M.; SULTAN, M. T.; DIN, A.; NIAZ, B. Post-harvest physicochemical changes um full ripe strawberries during cold storage. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 11, p. 38-41, 2011.
- ALY, M. F. K; KRAUS, D. A.; BURRACK, H. J. Effects of Postharvest Cold Storage on the Development and Survival of Immature *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Artificial Diet and Fruit. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, p. 87-93, 2016.
- ANTUNES, M, C.; CUQUEL, F. L.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MÓGOR, A. F.; RESENDE, J. T. V. Postharvest quality of strawberry produced during two consecutive seasons. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 168-173, 2014.
- ANTUNES, O. T.; CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; NIENOW, A. A.; MARIANI, F.; WESP C. L. Floração, frutificação e maturação de frutos de morangueiro cultivados em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 426-430, 2006.
- ARNÓ, J.; SOLÀ, M.; RIUDAVETS, G.; GABARRA, R. Population dynamics, non-crop hosts, and fruit susceptibility of *Drosophila suzukii* in Northeast Spain. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 713-726, 2016.
- AYALA-ZAVALA, J. F.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; GONZALEZ-AGUIAR, G. A. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 687–695, 2004.
- BARIKLOO, H.; AHMADI, E. Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 496–508, 2018.
- BELLAMY, D. E.; SISTERTSON, M. S.; WALSE, S. S. Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **PLOS ONE**, v. 8, p. 1-10, 2013.
- BERNARDI, D.; ANDREAZA, F.; BOTTON, M.; BARONIO, C. A.; NAVA, D. E. Susceptibility and interactions of *Drosophila suzukii* and *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in damaging strawberry. **Neotropical Entomology**, v. 46, p. 1-7, 2016.
- BOGATAJ, M.; BOGATAJ, L.; VODOPIVEC, R. Stability of perishable goods in cold logistic chains. **International Journal Production Economics**, v. 93, p. 345-356, 2005.
- BOLDA M. P.; GOODHUE R. E.; ZALOM F. G. Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest. **University of California Giannini Foundation of Agricultural Economics**, v. 13, p. 5-8, 2010.

CAI, P.; SONG, Y.; YI, C.; ZHANG, Q.; XIA, H.; LIN, J.; ZHANG, H.; YANG, J.; JI, Q.; CHEN, J. Potential host fruits for *Drosophila suzukii*: olfactory and oviposition preferences and suitability for development. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, p. 880–890, 2019.

CANTILLANO, R. F. F.; SILVA, M. M. **Manuseio pós-colheita de morangos**. Embrapa Clima Temperado, p. 9-33, 2010.

CARULLO, A.; CORBELLINI, S.; PARVIS, M.; VALLAN, A. A wireless sensor network for cold-chain monitoring. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 58, n. 5, p. 1405-1411, 2009.

CINI, A.; IORIATTI, C.; ANFORA, G. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. **Bulletin of Insectology**, v. 65, p. 149-160, 2012.

CUNHA JUNIOR, L. C.; JACOMINO, A. P.; OGASSAVARA, F. O.; TREVISAN, M. J.; PARISI, M., CM. Armazenamento refrigerado de morango submetido a altas concentrações de CO<sub>2</sub>. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 688-694, 2012.

ENRIQUEZ, T.; COLINET, H. Basal tolerance to heat and cold exposure of the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **PeerJ**, v. 5, p. 5-20, 2017.

GOODHUE, R. E.; BOLDA, M.; FARNSWORTH, D.; WILLIAMS, J. C.; ZALON, F. G. Spotted wing drosophila infestation of California strawberries and raspberries: economic analysis of potential revenue losses and control costs. **Pest and Management Science**, v. 67, p. 1396-1402, 2011.

HONG, S. J.; YEOUNG, Y. R.; EUM, H. L. Phytochemical composition of everbearing strawberries and storage quality of strawberry fruit treated by precooling. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, p. 1675-1683, 2018.

JAKOBS, R.; AHMADI, B.; HOUBEN, S.; GARIEPY, T. D.; SINCLAIR, B. J. Cold tolerance of third-instar *Drosophila suzukii* larvae. **Journal of Insect Physiology**, v. 79, p. 45-54, 2017.

JIMÉNEZ-PADILLA, Y.; FERGUSON, L. V.; SINCLAIR, B. J. Comparing apples and oranges (and blueberries and grapes): fruit type affects development and cold susceptibility of immature *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **The Canadian Entomologist**, v. 152, p. 1-14, 2020.

KADER, A.A. Postharvest biology and technology: an overview. **Postharvest technology of horticultural crops**, p.39-47, 2002.

KELLY, K.; MADDEN, R.; EMOND, J. P.; NUNES, M. C. N. A novel approach to determine the impact level of each step along the supply chain on strawberry quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 147, p. 78–88, 2019.

KRAFT, I. J.; YEH, D. A.; GÓMEZ, M. I.; BURRACK, H. J. Determining the effect of postharvest cold storage treatment on the survival of immature *Drosophila suzukii*

(Diptera: Drosophilidae) in small fruits. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, p. 2427-2435, 2020.

LEACH, H.; MOSES, J.; HANSON, E.; FANNING, P.; ISAACS, R. Rapid harvest schedules and fruit removal as non-chemical approaches for managing spotted wing *Drosophila*. **Journal of Pest Science**, v. 91, p. 219-226, 2018.

LEE, J. C.; BRUCK, D. J.; CURRY, H.; EDWARDS, D.; HAVILAND, D. R.; STEENWYK, R. A. V.; YORGEY, B. M. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1358-1367, 2011.

MALGARIM, M. B.; CANTILLANO, R. F. F; ENILTON FICK COUTINHO, R. Sistemas e condições de colheita e armazenamento na qualidade de morangos cv. Camarosa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 185-189, 2006.

MÉNAGER, I.; JOST, M.; AUBERT, C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (cv. Cigaline) during maturation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1248-1254, 2004.

NUNES, M.C.N., MORAIS, A., BRECHT, J.K., SARGENT, S.A. Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, p. 836-842, 2002.

NUNES, M.C.N., MORAIS, A., BRECHT, J.K., SARGENT, S.A. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared to those that occur in harvested fruit during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 180–190, 2006.

PAULL, R. E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 263–277, 1999.

PELLETIER, W.; BRECHT, J. K.; NUNES, M. A. N.; ÉMOND, J. P. Quality of strawberries shipped by truck from California to Florida as influenced by postharvest temperature management practices. **HortTechnology**, v. 21, p. 483–493, 2011.

PERKINS-VEAZIE, P. Growth and ripening of strawberry fruit. **Horticultural Reviews**, v. 17, p. 267–297, 1995.

RAHMAN, M. M.; MONIRUZZAMAN, M.; AHMAD, M. R.; SARKER, B. C.; ALAM, M. K. Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of strawberry genotypes growing in subtropical regions. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 1-10, 2014.

RYAN, G. D.; EMILJANOWICZ, L.; WILKINSON, F.; KORNIA, M.; NEWMAN, J. A. Thermal tolerances of the spotted-wing drosophila *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, p. 1-7, 2016.

SAEED, N.; TONINA, L.; BATTISTI, A.; MORI, N. Postharvest short cold temperature treatment to preserve fruit quality after *Drosophila suzukii* damage. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 1-8, 2019.

SANTOS, R. S. S. *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) atacando frutos de morangueiro no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 4005, 2014.

SANTOS, R. S. S. **Método rápido para estimar a infestação de ovos e larvas de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) em frutos**. Embrapa Uva e Vinho, p. 1-4, 2014.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; NUNES, A. M.; CORDEIRO, J.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, F. R. M. *Drosophila suzukii*: nova praga para a fruticultura brasileira. **Biológico**, v. 77, p. 45-51, 2015.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; TEIXEIRA, C. M.; NUNES, A. M.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, R. M. ***Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera, Drosophilidae): Biologia, Ecologia e Controle**. Pelotas: UFPel, p. 187, 2017.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; KRÜGER, A. P.; NUNES, A. M.; BERNARDI, D.; GARCIA, F. R. M. Biology and fertility life table of *Drosophila suzukii* on artificial diets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.166, p. 932-936, 2018.

SHIN, Y.; LIU, R. H.; NOCK, J. F.; HOLLIDAY, D.; WATKINS, C. B. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 349–357, 2007.

TOIVONEN; P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 1-14, 2008.

VILLARREAL, N. M.; ROSLI, H.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 141-150, 2008.

WALSH, D. B.; BOLDA, M. P.; GOODHUE, R. E.; DREVES, A. J.; LEE, J. C.; BRUCKD, J.; WALTON, V. M.; O'NEAL, S. D.; ZALOM, F. G. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 2, p. 1-7, 2011.

WANG, X.; ZHAN, G.; REN, L.; SUN, S.; DANG, H.; ZHAI, Y.; YIN, H.; LI, Z.; LIU, B. Cold disinfestation for 'Red Globe' grape (Rhamnales: Vitaceae) infested with *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Insect Science**, v. 20, p. 1-6, 2020.

ZENEBON, O.; PASCUCT, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ZHAO, X.; XIA, M.; WEI, X.; XU, C.; LUO, Z.; MAO, L. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains. **LWT - Food Science and Technology**, v. 109, p. 207-215, 2019.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

1. Fêmeas de *D. suzukii* apresentam maior preferência por morangos 'Albion' e 'Monterrey' e menor por 'San Andreas'.
2. Frutos 100% maduros são mais ovipositados por fêmeas de *D. suukii*
3. Frutos mais doces e menos firmes são mais ovipositados por fêmeas de *D. suzukii*.
4. O composto volátil linalol apresenta resposta comportamental superior para fêmeas de *D. suzukii*.
5. O sistema de cadeia de frio durante a distribuição e comercialização é eficiente na manutenção da qualidade de frutos infestados por ovos e larvas de primeiro instar de *D. suzukii*.
6. Baixas temperaturas de armazenamento (0,5°C durante 24 horas, seguida de 3°C e 12,5°C durante 8 horas e 5 dias respectivamente) reduzem a sobrevivência dos estágios imaturos de *D. suzukii*.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados obtidos, faz-se necessário estudos para verificar a viabilidade em relação ao manejo de *D. suzukii*. Dessa forma, estudos a campo utilizando o composto linalol é fundamental para analisar a resposta da praga nas condições de seu habitat. Além disso, é importante a realização de mais estudos sobre o efeito da cadeia de frio utilizando câmaras frias comerciais, certificando as condições em que ocorre o armazenamento e transporte dos frutos e alternativas para viabilizar esse processo pós-colheita em frutos atacados por *D. suzukii*.

## REFERÊNCIAS GERAIS

- ABRAHAM, J.; ZHANG, A.; ANGELI, S.; ABUBEKER, S.; MICHEL, C.; FENG, Y.; RODRIGUEZ-SAONA, A. Behavioral and antennal responses of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to volatiles from fruit extracts. **Chemical Ecology**, v. 44, p. 356-367, 2015.
- ALI, A.; ABRAR, M.; SULTAN, M. T.; DIN, A.; NIAZ, B. Post-harvest physicochemical changes in full ripe strawberries during cold storage. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 11, p. 38-41, 2011.
- ALY, M. F. K.; KRAUS, D. A.; BURRACK, H. J. Effects of Postharvest Cold Storage on the Development and Survival of Immature *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Artificial Diet and Fruit. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, p. 87-93, 2016.
- AMARAL, P. A.; CARVALHO, S. F.; ELOY, J.; ALMEIDA, C. B.; LIMA, T. S.; ANTUNES, L. E. C. **Desempenho de mudas de morangueiro cv. Aromas em substratos com diferentes quantidades de esterco de peru**. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2012. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/939595>. Acesso em: 31/08/2019.
- ANDREAZZA, F.; BARONIO, C. A.; BOTTON, M.; VALGAS, R. A.; RITSCHER, P. S.; MAIA, J. D. G.; NAVA, D. E. Suscetibilidade de bagas de genótipos de videira pela infestação por *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 599-606, 2016.
- ANDREAZZA, F.; BERNARDI, D.; BOTTON, M.; NAVA, D. E. *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in Peaches: is it a problem? **Scientia Agricola**, v.74, p.489-491, 2017.
- ANDREAZZA, F.; BERNARDI, D.; DOS SANTOS, R.; GARCIA, F. R. M.; BOTTON, M.; NAVA, D. E. *Drosophila suzukii* in Southern Neotropical Region: current status and future perspectives. **Neotropical Entomology**, v. 46, p.591-60, 2017.
- ANFORA, G.; GRASSI, A.; REVARDI, S.; GRAIFF, M. *Drosophila suzukii*: a new invasive species threatening European fruit production. **Environmental Change**, p. 1-7, 2012.
- ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. **Morangueiro**. EMBRAPA Clima Temperado, 589p, 2016.
- ANTUNES, M. C.; CUQUEL, F. L.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MÓGOR, A. F.; RESENDE, J. T. V. Postharvest quality of strawberry produced during two consecutive seasons. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 168-173, 2014.
- ANTUNES, O. T.; CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; NIENOW, A. A.; MARIANI, F.; WESP, C. L. Blooming, fruit set, and fruit maturation of strawberry growing in protected environment. **Horticultura Brasileira**, v.24, p. 426-430, 2006.

ANTUNES, L. E. C.; BONOW, S.; REISSER JUNIOR, C. Morango: crescimento constante em área e produção. **Anuário Campo & Negócios HF**, v. 37, p. 88-92, 2020.

ARNÓ, J.; SOLÀ, M.; RIUDAVETS, G.; GABARRA, R. Population dynamics, non-crop hosts, and fruit susceptibility of *Drosophila suzukii* in Northeast Spain. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 713-726, 2016.

AYALA-ZAVALA, J. F.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; GONZALEZ-AGUIAR, G. A. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 687–695, 2004.

BARIKLOO, H.; AHMADI, E. Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 496–508, 2018.

BASER, N.; BROUTOU, O.; VERRASTRO, V.; PORCELLI, F.; IORIATTI, C.; ANFORA, G.; MAZZONI, V.; ROSSI STACCONI, M. V. Susceptibility of table grape varieties grown in south-eastern Italy to *Drosophila suzukii*. **Journal of Applied Entomology**, v. 142, p. 465-472, 2018.

BEERS, E.H.; VAN STEENWYK, R.A.; SHEARER, P.W.; COATES, W.W.; Grant, J.A. Developing *Drosophila suzukii* management programs for sweet cherry in the western United States. **Pest Management Science**, v. 67, n. 11, p. 1386–1395, 2011.

BELLAMY, D. E.; SISTERTON, M. S.; WALSE, S. S. Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **PLOS ONE**, v. 8, p. 1-10, 2013.

BENDER, R. J.; PEZZI, E.; LEÃO, M, L.; CASALI, M. E. Armazenagem de morangos cv. Camarosa e cv. Verão em atmosfera modificada. **Acta Scientiarum**, v. 32, p. 285-292, 2010.

BENITO, N. P.; SILVA, M. L.; SANTOS, R. S. S. Potential spread and economic impact of invasive *Drosophila suzukii* in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 571-578, 2016.

BERNARDI, D.; ANDREAZA, F.; BOTTON, M.; BARONIO, C. A.; NAVA, D. E. Susceptibility and interactions of *Drosophila suzukii* and *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in damaging strawberry. **Neotropical Entomology**, v. 46, p. 1-7, 2016.

BOGATAJ, M.; BOGATAJ, L.; VODOPIVEC, R. Stability of perishable goods in cold logistic chains. **International Journal Production Economics**, v. 93, p. 345-356, 2005.

BOLDA M. P.; GOODHUE R. E.; ZALOM F. G. Spotted wing drosophila: potential economic impact of a newly established pest. **University of California Giannini Foundation of Agricultural Economics**, v. 13, p. 5-8, 2010.

BRECHT, J. K.; LOAZA, F. E.; NUNES, M. C. N.; EMONDA, J. P.; UYSAL, I.; BADIA, F.; WELLS, J.; SAENZ, W. Reducing strawberry waste and losses in the postharvest supply chain via intelligent distribution management. **Acta Horticulturae**, v. 1120, p.253-259, 2016.

BURRACK, H. J.; FERNANDEZ, G. E.; SPIVEY, T.; KRAUS, D. A. Variation in selection and utilization of host crops in the field and laboratory by *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), an invasive frugivore. **Pest Management Science**, v. 69, p. 1173-1180, 2013.

CAB International (2020). Invasive species compendium: *Drosophila suzukii* (spotted wing drosophila). Disponível em <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283>.

CAI, P.; SONG, Y.; YI, C.; ZHANG, Q.; XIA, H.; LIN, J.; ZHANG, H.; YANG, J.; JI, Q.; CHEN, J. Potential host fruits for *Drosophila suzukii*: olfactory and oviposition preferences and suitability for development. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, p. 880–890, 2019.

CALABRIA, G.; MÁCA, J.; BÄCHLI, G.; SERRA, L.; PASCUAL, M. First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. **Journal of Applied Entomology**, v. 136, p. 139-147, 2012.

CANTILLANO, R. F. F.; SILVA, M. M. **Manuseio pós-colheita de morangos**. Embrapa Clima Temperado, p. 9-33, 2010.

CARULLO, A.; CORBELLINI, S.; PARVIS, M.; VALLAN, A. A wireless sensor network for cold-chain monitoring. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 58, n. 5, p. 1405-1411, 2009.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de Frutas e Hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

CINI, A.; IORIATTI, C.; ANFORA, G. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. **Bulletin of Insectology**, v. 65, p. 149-160, 2012.

CLOONAN, K. R.; ABRAHAM, J.; ANGELI, S.; SYED, Z.; RODRIGUEZ-SAONA, C. Advances in the chemical ecology of the spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) and its applications. **Journal of Chemical Ecology**, v. 44, p. 922–939, 2018.

CORDENUNSI, B. R.; NASCIMENTO, J. A. O.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2581-2586, 2002.

CUNHA JUNIOR, L. C.; JACOMINO, A. P.; OGASSAVARA, F. O.; TREVISAN, M. J.; PARISI, M. Armazenamento refrigerado de morango submetido a altas concentrações de CO<sub>2</sub>. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 688-694, 2012.

DALTON, D. T.; WALTON, V. M.; SHEARER, P. W.; WALSH, D. B.; CAPRILE, J.; ISAACS, R. Laboratory survival of *Drosophila suzukii* under simulated winter conditions of the Pacific Northwest and seasonal field trapping in five primary regions of small and stone fruit production in the United States. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1368-1374, 2011.

EBEN, A.; REIFENRATH, M.; BRIEM, F.; PINK, S.; VOG, H. Response of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to extreme heat and dryness. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 20, p. 113-121, 2018.

EMILJANOWICZ, L. M.; RYAN, G. R.; LANGILLE, A.; NEWMAN, J. Development, reproductive output and population growth of the fruit fly pest *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on artificial diet. **Journal of Economic Entomology**, v. 107, p. 1392–1398, 2014.

ENRIQUEZ, T.; COLINET, H. Basal tolerance to heat and cold exposure of the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **PeerJ**, v. 5, p. 5-20, 2017.

ENTLING, W.; ANSLINGER, S.; JARAUSCH, B.; MICHL, G.; HOFFMANN, C. Berry skin resistance explains oviposition preferences of *Drosophila suzukii* at the level of grape cultivars and single berries. **Journal of Pest Science**, v. 92, p. 477-484, 2019.

EPPO 2020. European and mediterranean plant protection organization (EPPO) global database. EPPO, Paris, France. Disponível em em: <https://gd.eppo.int/taxon/DROSSU/distribution>. Acesso em 17/11/2020.

EVANS, R, K.; TOEWS, M. D.; SIAL, A. A. Diel periodicity of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) under field conditions. **Plos One**, v. 12, p. 1-20, 2017.

FARNSWORTH, D.; HAMBY, K. A.; BOLSA, M.; GOODHUE, R. E.; WILLIAMS, J. C.; ZALOM, F. G. Economic analysis of revenue losses and control costs associated with the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura), in the California raspberry industry. **Pest Management Science**, v. 73, p.1083-1090, 2017.

GAO, H.; LAI, S.; ZHAI, Y.; ZHAOYUN, L.; ZHENG, L.; YU, Y.; REN, F. Comparison of the antennal sensilla and compound eye sensilla in four *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) species. **Florida Entomologist**, v. 102, p. 747-754, 2020.

GOODHUE, R. E.; BOLDA, M.; FARNSWORTH, D.; WILLIAMS, J. C.; ZALON, F. G. Spotted wing drosophila infestation of California strawberries and raspberries: economic analysis of potential revenue losses and control costs. **Pest and Management Science**,v. 67, p. 1396-1402, 2011.

HAMBY, K. A.; BELLAMY, D. E.; CHIU, J. C.; LEE, J. C.; WALTON, V. M.; WIMAN, N. G.; YORK, R. M.; BONDI, A. Biotic and abiotic factors impacting development, behavior, phenology, and reproductive biology of *Drosophila suzukii*. **Journal Pest Science**, v. 89, p. 605-619, 2016.

HANG, H.; KIM, Y. J.; SHIN, Y. Influence of ripening stage and cultivar on physicochemical properties, sugar and organic acid profiles, and antioxidant compositions of strawberries. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, p. 1659-1667, 2019.

HONG, S. J.; YEOUNG, Y. R.; EUM, H. L. Phytochemical composition of everbearing strawberries and storage quality of strawberry fruit treated by precooling. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, p. 1675-1683, 2018.

IORIATII, C.; WALTON, V.; DALTON, D.; ANFORA, G.; MEISTRI, A.; MAZZONI, V. *Drosophila Suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its potential impact to wine grapes during harvest in two cool climate wine grape production regions. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 1148-1154, 2015.

JAKOBS, R.; AHMADI, B.; HOUBEN, S.; GARIEPY, T. D.; SINCLAIR, B. J. Cold tolerance of third-instar *Drosophila suzukii* larvae. **Journal of Insect Physiology**, v. 96, p. 45-52, 2017.

JAKOBS, R.; GARIEPY, T. D.; SINCLAIR, B. J. Adult plasticity of cold tolerance in a continental-temperate population of *Drosophila suzukii*. **Journal of Insect Physiology**, v. 79, p. 1-9, 2015.

JIMÉNEZ-PADILLA, Y.; FERGUSON, L. V.; SINCLAIR, B. J. Comparing apples and oranges (and blueberries and grapes): fruit type affects development and cold susceptibility of immature *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **The Canadian Entomologist**, v. 152, p. 532-545, 2020.

KADER, A.A. Postharvest biology and technology: an overview. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**, p.39-47, 2002.

KAMIYAMA, M. T.; GUÉDOT, C. Varietal and Developmental Susceptibility of Tart Cherry (Rosales: Rosaceae) to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 112, p. 1789-1797, 2019.

KELLY, K.; MADDEN, R.; EMOND, J. P.; NUNES, M. C. N. A novel approach to determine the impact level of each step along the supply chain on strawberry quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 147, p. 78–88, 2019.

KENIS, M.; TONINA, L.; ESCHEN, R.; SLUIS, B.; SANCASSANI, M.; MORI, N.; HAYE, T.; HELSEN, H. Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 735-748, 2016.

KESSEY, I. W.; KNADEN, M.; HANSSON, B. S. Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit. **Journal of Chemical Ecology**, v. 41, p. 121–128, 2015.

KIM, M. J.; KIM, J. S.; PARK, J. S.; CHOI, D.; PARK, J.; KIM, I. Oviposition and development potential of the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae), on uninjured Campbell Early grape. **Entomological Research**, v. 45, p. 354-359, 2015.

KINJO, H.; KUNIMI, Y.; BAN, T.; NAKAI, M. Oviposition Efficacy of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on Different Cultivars of Blueberry. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, p. 1767-1771, 2013.

KINJO, H.; KUNIMI, Y.; NAKAI, M. Effects of temperature on the reproduction and development of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 49, p. 297-304, 2014.

KIRKPATRICK, D. M., MCGHEE, P. S.; HERMANN, S.L.; GUT, L. J.; MILLER, J. R. Alignment of spotted wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) on odorless disks varying in color. **Environmental Entomology**, v. 45, p. 185–191, 2016.

KRAFT, I. J.; YEH, D. A.; GÓMEZ, M. I.; BURRACK, H. J. Determining the effect of postharvest cold storage treatment on the survival of immature *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in small fruits. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, p. 2427-2435, 2020.

LASA, R.; TADEO, E.; DINOR, L. A.; LIMA, I.; WILLIAMS, T. Fruit firmness, superficial damage, and location modulate infestation by *Drosophila suzukii* and *Zaprionus indianus*: the case of guava in Veracruz, Mexico. **Entomologia Experimentalis and Applicata**, v. 162, p. 4-12, 2017.

LEACH, H.; MOSES, J.; HANSON, E.; FANNING, P.; ISAACS, R. Rapid harvest schedules and fruit removal as non-chemical approaches for managing spotted wing *Drosophila*. **Journal of Pest Science**, v. 91, p. 219-226, 2018.

LEE, J. C.; DALTON, D. T.; SWOBODA-BHATTARAI, K. A.; BRUCK, D. J.; BURRACK, H. J.; STRIK, B. C.; WOLTZ, J. M.; WALTON, V. M. Characterization and manipulation of fruit susceptibility to *Drosophila suzukii*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 771-780, 2016.

LEE, J. C.; BRUCK, D. J.; CURRY, H.; EDWARDS, D.; HAVILAND, D. R.; STEENWYK, R. A. V.; YORGEY, B. M. The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1358-1367, 2011.

LEE, J. C.; BRUCK, D. J.; DREVES, A. J.; IORIATTI, C.; VOGT, H.; BAUFELD, P. In focus: Spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, across perspectives. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1349-1351, 2011a.

LEE, J. C.; DREVES, A. J.; CAVE, A. M.; KAWAI, S.; ISAACS, R. MILLER, J. C.; TIMMEREN, S. V.; BRUCK, A. J. Infestation of Wild and Ornamental Noncrop Fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Annals of the Entomology Society of America**, v. 108, p. 117-129, 2015.

LEWIS, M. T.; KOIVUNEN, E. E.; SWETT, C. L.; HAMBY, K. A. Associations between *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and fungi in raspberries. **Environmental Entomology**, v. 48, p. 68–79, 2019.

LIBURD, O. E.; INGLESIAS, L. E. **Spotted Wing Drosophila: Pest Management Recommendations for Southeastern Blueberries**. University of Florida. IFAS Extension. 2013.

LIMA, C. P. F.; JESSUP, A. J.; MANSFIELD, E. R.; DANIELS, D. Cold treatment of table grapes infested with Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) and Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) Diptera: Tephritidae. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 39, p. 160-166, 2011.

LITTLE, C. M.; CHAPMAN, T. W.; MOREAU, D. L.; HILLIER, N. K. Susceptibility of selected boreal fruits and berries to the invasive pest *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Pest Management Science**, v. 73, p. 160-166, 2017.

LITTLE, C. M.; CHAPMAN, T. W.; HILLIER, N. K. Plasticity is key to success of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) invasion. **Journal of Insect Science**, v. 20, p. 1-8, 2020.

LIU, Y.; DONG, W.; ZHANG, F.; KENIS, M.; GRIEPINKS, F.; ZHANG, J.; CHEN, L.; XIAO, C. Identification of active components from volatiles of Chinese bayberry, *Myrica rubra* attractive to *Drosophila suzukii*. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, p. 435–442, 2018.

MACÍAS-RODRIGUEZ, L.; QUERO, E.; LÓPEZ, M. G. Carbohydrate differences in strawberry crowns and fruit (*Fragaria x ananassa*) during plant development. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 3317-3321, 2002.

MADAIL, J. C. M. Panorama Econômico. IN: ANTUNES, L. E. C; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. **Morangueiro**. EMBRAPA Clima Temperado, 589p, 2016.

MALGARIM, M. B.; CANTILLANO, R. F. F; ENILTON FICK COUTINHO, R. Sistemas e condições de colheita e armazenamento na qualidade de morangos cv. Camarosa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 185-189, 2006.

MAZZI, D.; BRAVIN, E.; ERANER, M.; FINGER, R.; KUSKE, S. Economic impact of the introduction and establishment of *Drosophila suzukii* on sweet cherry production in Switzerland. **Insects**, v. 8, p. 1-13, 2017.

MÉNAGER, I.; JOST, M.; AUBERT, C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (cv. Cigaline) during maturation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1248-1254, 2004.

MIRZAEI, M.; BISHOP, C.; NAMIT, S. Implication of temperature changes during the strawberry supply chain. **Journal of Agricultural Machinery Science**, v. 4, p. 381-387, 2008.

MISZCZAK, A.; FORNEY, C. F.; PRANGE, R. K. Development of Aroma Volatiles and Color during Postharvest Ripening of 'Kent' Strawberries. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, p. 650-655, 1995.

NAVA, D. E.; BOTTON, M.; BERNARDI, D.; ANDREAZZA, F.; BARONIO, C. A. **Bioecologia, monitoramento e controle de *Drosophila suzukii* na cultura do morangueiro**. Embrapa Uva e Vinho, p. 9-21, 2015.

NUNES, M. C. N.; BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A.; MORAIS, A. M. M. B. Effects of delays to cooling and wrapping on strawberry quality (cv. Sweet Charlie). **Food Control**, v. 6, p. 323-328, 1995.

NUNES, M.C.N., MORAIS, A., BRECHT, J.K., SARGENT, S.A. Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, p. 836-842, 2002.

NUNES, M.C.N., MORAIS, A., BRECHT, J.K., SARGENT, S.A. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared to those that occur in harvested fruit during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 180–190, 2006.

OLSSON, M. E.; EKVALL, J.; GUSTAVSSON, K. E.; NILSSON, J.; PILLAI, D.; SJOHOLM, I.; SVENSSON, U.; AKESSON, B.; NYMAN, M. G. L. Antioxidants, low molecular weight carbohydrates and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria x ananassa*): effects of cultivar, ripening and storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 2490-2498, 2004.

ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; RAMIREZ-BUSTAMANTE, N.; PEREZ-MARTINEZ, J. D.; ESCALANTE-MINAKATA, M. P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUNIS, C.; GUERRERO-PRIETO, V.; OCHOA-REYES, E. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. **Food Chemistry**, v. 138, p. 372–381, 2013.

PAULL, R. E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 263–277, 1999.

PELLETIER, W.; BRECHT, J. K.; NUNES, M. A. N.; ÉMOND, J. P. Quality of strawberries shipped by truck from California to Florida as influenced by postharvest temperature management practices. **HortTechnology**, v. 21, p. 482–493, 2011.

PELTON, E.; GRATTON, C.; GUÉDOT, C. Susceptibility of cold hardy grapes to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 141, p. 644-652, 2017.

PERKINS-VEAZIE, P. Growth and ripening of strawberry fruit. **Horticultural Reviews**, v. 17, p. 267–297, 1995.

PHAN, C. K.; RAY, A. Conservation of olfactory avoidance in *Drosophila* species and identification of repellents for *Drosophila suzukii*. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1-8, 2015.

PRUSKY, D. Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. **Food Security**, v. 3, p. 463–474, 2011.

RAHMAN, M. M.; MONIRUZZAMAN, M.; AHMAD, M. R.; SARKER, B. C.; ALAM, M. K. Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of strawberry genotypes growing in subtropical regions. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 28-37, 201.

REVADI, S. H.; VITAGLIANO, S.; STACCONI, M. V. R.; RAMASAMY, S.; MANZOURIAN, S.; CARLIN, S.; VRHOVSEK, U.; BECHER, P. G.; MAZZONI, V.; ROTA, STABELLI, O.; ANGELI, S.; DEKKER, T.; ANFORA, G. Olfactory responses of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. **Physiological Entomology**, v. 40, p. 54–64, 2015.

RODRIGUEZ-SAONA, C.; CLOONAN, K. R.; SANCHEZ-PEDRAZA, F.; ZHOU, Y.; GIUSTI, M.; BENREY, B. Differential susceptibility of wild and cultivated blueberries to an invasive frugivorous pest. **Journal of Chemical Ecology**, v. 45, p. 286–297, 2019.

RONQUE, E. R. V.; VENTURA, M. U.; SOARES JÚNIOR, D.; MACEDO, R. B.; CAMPOS, B. R. S. Viabilidade da exploração da cultura do morango no Paraná - BR. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 1032-1041, 2013.

ROS, G.; CONCI, S.; PANTEZZI, T.; SAVINI, G. The economic impact of invasive pest *Drosophila suzukii* on berry production in the Province of Trento, Italy. **Journal of Berry Research**, v. 5, p. 89-96, 2015.

RYAN, G. D.; EMILJANOWICZ, L.; WILKINSON, F.; KORNIA, M.; NEWMAN, J. A. Thermal tolerances of the spotted-wing drosophila *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, p. 746-752, 2016.

SAEED, N.; TONINA, L.; BATTISTI, A.; MORI, N. Postharvest short cold temperature treatment to preserve fruit quality after *Drosophila suzukii* damage. **International Journal of Pest Management**, v. 66, p. 1-8, 2019.

SANHUEZA, R. M. V.; HOFFMANN, A.; ANTUNES, L. E. C.; FREIRE, J. M. **Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do Nordeste**. Bento Gonçalves: Embrapa uva e vinho, 2005.

SANTOS, R. S. S. *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) atacando frutos de morangueiro no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 4005, 2014.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; NUNES, A. M.; CORDEIRO, J.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, F. R. M. *Drosophila suzukii*: nova praga para a fruticultura brasileira. **Biológico**, v. 77, p. 45-51, 2015.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; TEIXEIRA, C. M.; NUNES, A. M.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, F. R. M. ***Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera, Drosophilidae): Biologia, Ecologia e Controle**. Pelotas: UFPel, p. 187, 2017.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLMMANN, J.; KRÜGER, A. P.; NUNES, A. M.; BERNARDI, D.; GARCIA, F. R. M. Biology and fertility life table of *Drosophila suzukii*

on artificial diets. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.166, p. 932-936, 2018.

SHIN, Y.; LIU, R. H.; NOCK, J. F.; HOLLIDAY, D.; WATKINS, C. B. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 349–357, 2007.

SHRADER, M. E.; BURRACK, H. J.; PFEIFFER, D. G. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Oviposition and adult emergence in six wine grape varieties grown in Virginia. **Ecology and Behavior**, v. 112, p. 139-148, 2018.

SILVA-SOARES, N. F.; NOGUEIRA-ALVES, A.; BELDADE, P.; MIRTH, C. K. Adaptation to new nutritional environments: larval performance, foraging decisions, and adult oviposition choices in *Drosophila suzukii*. **BMC Ecology**, v. 17, p. 1-13, 2017.

SOUZA, M. T. de. Potencial de óleos essenciais sobre *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) e sua toxicidade ao parasitóide *Trichopria anastrephae* (Hymenoptera: Diapriidae). Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

SOUZA, M. T. de.; SOUZA, M. T. de.; BERNARDI, D.; RAKES, M.; VIDAL, H. R.; ZAWADNEAK, M. A. C. Physicochemical characteristics and superficial damage modulate persimmon infestation by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and *Zaprionus indianus*. **Environmental Entomology**, v. 49, p. 1290-1299, 2020.

SWARD, G. F. H.; GLASS, S. E.; PHILIPS, C. R. The phenology of infestations and the impacts of different varieties of cold hardy red raspberries on *Drosophila suzukii*. **Advances in Entomology**, v. 4, p. 183-190, 2016.

TOCHEN, S.; DALTON, D. T.; WIMAN, N.; HANM, C.; SHEARER, P. W.; WALTON, A. M. Temperature-Related Development and Population Parameters for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on Cherry and Blueberry. **Environmental Entomology**, v. 43, p. 501-510, 2014.

TOCHEN, S.; WOLTZ, J. M.; DALTON, D. T.; LEE, J. C.; WIMAN, N. G.; MALTON, V. M. Humidity affects populations of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberry. **Journal of Applied Entomology**, v. 140, p. 47-57, 2015.

TOIVONEN; P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 1-14, 2008.

TONINA, L.; GIOMI, F.; SANCASSANI, M.; AJELLI, M.; MORI, N. Texture features explain the susceptibility of grapevine cultivars to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) infestation in ripening and drying grapes. **Scientific Reports**, v. 10, p. 102-145, 2020.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA (UC). Disponível em: <https://research.ucdavis.edu/industry/ia/industry/strawberry/cultivars/>. Acesso em: 18/11/2020.

VILLARREAL, N. M.; ROSLI, H.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 141-150, 2008.

WALSH, D. B.; BOLDA, M. P.; GOODHUE, R. E.; DREVES, A. J.; LEE, J. C.; BRUCKD, J.; WALTON, V. M.; O'NEAL, S. D.; ZALOM, F. G. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 2, p. 1-7, 2011.

WANG, X.; ZHAN, G.; REN, L.; SUN, S.; DANG, H.; ZHAI, Y.; YIN, H.; LI, Z.; LIU, B. Cold disinfestation for 'Red Globe' grape (Rhamnales: Vitaceae) infested with *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Insect Science**, v. 20, p. 1-6, 2020.

WOLLMANN, J.; SCHLESENER, D. C. H.; MENDES, S. R.; KRUGER, A. P.; MARTINS, L. N.; BERNARDI, D.; GARCIA, M. S.; GARCIA, F. R. M. Infestation index of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in small fruit in southern Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, p. 1-9, 2020.

YU, D.; ZALOM, F. G.; HAMBY, K. A. Host status and fruit odor response of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to figs and mulberries. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, p.1932-1937, 2013.

ZARBIN, P.H.; FERREIRA, J.T.B. e LEAL, W. Metodologias gerais empregadas no isolamento e identificação estrutural de feromônios de insetos. **Química Nova**, v. 22, p. 263-268, 1999.

ZAWADNEAK, M.A.C.; BOTTON, M.; SCHUBER, J. M.; VIDAL, H. R.; BERNARDI, D. Pragas do morangueiro. IN: ZAWADNEAK, M. A. C.; SCHUBER, J. M; MÓGOR, Á, F. (Orgs.). **Como produzir morangos**. Curitiba: Ed. UFPR, 296p. 2018.

ZENEON, O.; PASCUCT, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ZERULLA, F. N.; AUGEL, C.; ZEBITZ, C. P. W. Oviposition activity of *Drosophila suzukii* as mediated by ambient and fruit temperature. **PloS One**, v. 12, p. 1-12, 2017.

ZHAI, Y.; LIN, O.; ZHANG, J.; ZHANG, F.; ZHENG, L.; YU, Y. Adult reproductive diapause in *Drosophila suzukii* females. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 679-688, 2016.

ZHAO, X.; XIA, M.; WEI, X.; XU, C.; LUO, Z.; MAO, L. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains. **LWT - Food Science and Technology**, v. 109, p. 207-215, 2019.