

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



**Drosofilídeos (Insecta, Diptera) associados a três áreas cultivadas do Distrito
Federal**

JOSÉ PEDRO CAVALCANTE VIANA

Orientador: Profa. Rosana Tidon

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção de título de mestre em Ecologia.

Brasília/DF
Março de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço por todos, que de diferentes formas contribuíram para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Agradeço minha família, pelo apoio nos momentos difíceis durante todo o período dedicado a essa dissertação. Em especial meu irmão Matheus, que me auxiliou durante os períodos de coleta e, minha noiva Andreza, que esteve comigo durante todas as etapas, me mantendo sempre tranquilo e focado, vocês foram os meus pilares durante os momentos difíceis.

À Lylla, que esteve comigo durante quase todo o período do mestrado, mantendo minha alegria e sanidade, você foi meu alívio em momento de stress e cansaço mental, nunca te esquecerei.

À Rosana, a mais incrível orientadora que um aluno poderia ter. Obrigado por tudo, por todas as oportunidades e cuidados que teve comigo durante todo esse tempo. Você extrapolou todas as atribuições que um orientador possui, foi uma verdadeira amiga e por muitas vezes, uma mãe.

Aos Colegas de laboratório, Angie, Fábio, Fred, Gabriel, Keven, Laís, Lara e Veida pela sincera amizade e conhecimentos compartilhados.

À Embrapa pela excelente parceria durante a realização desse estudo. Especialmente meu orientador durante a época de graduação Marcelo, e a pesquisadora Renata, que sempre estiveram dispostos a contribuir com o possível para meu crescimento acadêmico.

À Secretária de Agricultura do Distrito Federal, pela parceria e apoio fornecidos durante as coletas.

À Emater de Brazlândia e do núcleo Alexandre Gusmão, por proporcionar o contato com os produtores.

Aos produtores Sr. Divino e José Reinaldo, por cederem suas propriedades para a realização desse estudo.

À CAPES por fornecer a bolsa de estudos e FAP-DF por fornecer os recursos necessários para a execução do projeto.

ÍNDICE

	RESUMO	
1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Invasões biológicas.....	3
1.2	Drosofilídeos.....	4
1.3	<i>Drosophila suzukii</i>	6
1.4	Fruticultura no Distrito Federal.....	7
2.	OBJETIVOS	9
3.	METODOLOGIA	10
3.1	Áreas de estudo e amostragem.....	10
3.2	Coleta e identificação das moscas.....	13
3.3	Análise de dados.....	14
3.3.1	Análises temporais.....	15
3.3.2	Análises entre assembleias	16
3.3.3	Análise de <i>Drosophila suzukii</i>	16
4.	RESULTADOS	17
4.1	Caracterização das assembleias.....	17
4.2	Padrões de diversidade.....	19
4.3	Riqueza e abundância temporal.....	21
4.4	Composição de assembleias.....	25
5.	DISCUSSÃO	27
5.1	Distribuição temporal.....	29
5.2	Assembleia de drosofilídeos.....	31
5.3	<i>Drosophila suzukii</i>	31
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICES	50

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização das áreas de cultivos onde foram realizadas as coletas mensais de drosofilídeos nas cidades de Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), no Distrito Federal, entre julho de 2019 a junho de 2020..... 12
- Figura 2.** Áreas cultivadas onde foram realizadas as coletas de drosofilídeos nas cidades de Brazlândia e Gama no Distrito Federal, Brasil. (A) Cultivo orgânico de morangos, (B) Cultivo convencional de morangos e (C) cultivo misto de frutos, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020)..... 12
- Figura 3.** Armadilha utilizada durante a coleta drosofilídeos nas cidades de Brazlândia e Gama no Distrito Federal, durante os meses de julho de 2019 a junho de 2020. 14
- Figura 4.** Curva de rarefação para assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). As linhas tracejadas correspondem ao intervalo de confiança de 95 %..... 19
- Figura 5.** Perfis de diversidade de Rényi para assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). O eixo X representa a riqueza de espécies quando $\alpha = 0$, o índice de diversidade de Shannon quando $\alpha = 1$, o índice de Simpson quando $\alpha = 2$ e o índice Berger-Parker para a dominância das espécies mais abundantes quando $\alpha = \text{inf}$ 20
- Figura 6.** Variação temporal na riqueza de espécies das assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020)..... 21
- Figura 7.** Variação temporal na abundância absoluta das assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em

Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).....	22
Figura 8. Variação temporal da abundância e absoluta (valores no interior das barras) e relativa (proporções ilustradas pelas cores azul e alaranjado) de drosofilídeos neotropicais e exóticos coletados em cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). (A) Cultivo orgânico de morangos, (B) Cultivo convencional de morangos e (C) cultivo misto de frutos.....	23
Figura 9. Variação temporal das espécies exóticas coletadas nos cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).....	24
Figura 10. PCoA criada a partir dos resultados obtidos da PERMADISP para os cultivos, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição, abundância relativa e absoluta de espécies drosofilídeos coletados no cultivo orgânico de morangos, convencional de morangos e mistos de frutos, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).....	18
Tabela 2: PERMANOVA e PERMADISP mostrando as diferenças na estrutura das comunidades de drosofilídeos coletados no cultivo orgânico de morangos, convencional de morangos e mistos de frutos, o valor de <i>p</i> foi obtido através de 999 permutações usando a similaridade de Bray-curtis. (DF) graus de liberdade, (SS) soma dos quadrados, (MS) média dos quadrados, (R2) proporção de explicação, (F) resultado do teste F e (P) resultado obtido através das permutações. <i>p</i> significativa <0,05.	25

RESUMO

A conversão de áreas naturais para a agricultura impacta negativamente a biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos. Isso ocorre devido, principalmente, à perda de habitat de espécies nativas e, conseqüentemente, dos serviços prestados por elas. Associado a isso, a introdução de espécies exóticas invasoras pode aumentar a pressão sobre as espécies nativas, mediante interações como competição e predação. *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera) foi recentemente introduzida no Brasil e vem ampliando sua ocorrência no país. É uma praga que causa danos a diversas frutíferas, principalmente em regiões temperadas. No Cerrado, ela tem sido registrada em vegetação natural em baixa abundância. Neste estudo, nós monitoramos assembleias de drosofilídeos em três regimes de cultivo do Distrito Federal (orgânico de morango, convencional de morango, e misto de frutos) durante um ano, para verificar a influência das espécies exóticas nas assembleias de drosofilídeos em áreas cultivadas. Analisamos a variação espacial e temporal entre assembleias, com foco em *D. suzukii*, pois o aumento na abundância dessa espécie pode impactar negativamente espécies nativas e cultivos. Foram coletadas 23 espécies de drosofilídeos entre os 9.034 espécimes capturados (1.543 no cultivo orgânico, 1.966 no cultivo convencional e 5.525 no cultivo misto), sendo a maioria das espécies exóticas para a Região Neotropical. Em todos os cultivos, a riqueza e abundância de drosofilídeos foram geralmente mais altas nos meses chuvosos. *Drosophila suzukii* foi registrada em todos os cultivos, principalmente na estação chuvosa. Em abril, sua abundância relativa no cultivo misto atingiu 3,5% e o índice mosca/armadilha/dia (MAD) foi calculado em 1,38, alertando sobre a necessidade de seu monitoramento na região. Nossos resultados confirmam a dominância de espécies exóticas e neotropicais generalistas em ambientes cultivados. Isso sugere que essas espécies são mais eficientes do que a maioria das espécies neotropicais para explorar recursos e suportar estresses fisiológicos em ambientes simplificados de cultivo. Além disso, sugerimos que *D. suzukii* está estabelecida no cultivo misto de frutas, onde seu crescimento populacional ocorre durante os meses chuvosos, quando as condições ambientais são menos estressantes. Dessa forma recomendamos que sejam realizados monitoramentos de *D. suzukii* a fim de entender se o comportamento de suas populações no Distrito Federal poderá impactar negativamente as populações nativas de drosofilídeos e a cadeia de produção de frutos locais. Os resultados obtidos nesse estudo fornecem subsídios para a criação de um plano de manejo coordenado entre autoridades sanitárias e produtores rurais, visando a identificação e controle das populações de *D. suzukii* em áreas cultivadas do Distrito Federal.

Palavras-chave: Cerrado, espécies invasoras, pomar, pragas, *Drosophila suzukii*.

ABSTRACT

The conversion of natural areas to agriculture negatively impacts biodiversity and the provision of ecosystem services. This is mainly due to the loss of habitat of native species and, consequently, the services provided by them. Associated with this, the introduction of invasive alien species can increase the pressure on native species through interactions such as competition and predation. *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera) was recently introduced in Brazil, and its occurrence has been increasing in the country. It is a pest that causes damage to several fruit trees, mainly in temperate regions. In the Cerrado, it has been recorded in natural vegetation at low abundance. In this study, we monitored drosophilid assemblages in three cultivation regimes in the Federal District (organic strawberry, conventional strawberry, and mixed fruit) for one year to verify the influence of exotic species on drosophilid assemblages in cultivated areas. We analyzed the spatial and temporal variation among assemblages, focusing on *D. suzukii* because an increase in the abundance of this species can negatively impact native species and crops. We collected 23 species of drosophilids among the 9,034 specimens captured (1,543 in organic cultivation, 1,966 in conventional cultivation, and 5,525 in mixed cultivation), most of the species being exotic to the Neotropical Region. In all crops, the richness and abundance of drosophilids were generally higher in the rainy months. *Drosophila suzukii* was recorded in all crops, especially in the rainy season. In April, its relative abundance in mixed cultivation reached 3.5% and the fly/trap/day index (FTD) was calculated at 1.38, warning about the need for its monitoring in the region. Our results confirm the dominance of exotic and neotropical generalist species in cultivated environments. This suggests that these species are more efficient than most Neotropical species to exploit resources and withstand physiological stresses in simplified cultivated environments. Furthermore, we suggest that *D. suzukii* is established in mixed fruit culture, where its population growth occurs during the rainy months when environmental conditions are less stressful. Thus, we recommend that monitoring of *D. suzukii* be conducted to understand if the behavior of its populations in the Distrito Federal could negatively impact native drosophilid populations and the local fruit production chain. The results obtained in this study provide the initial basis for creating a management plan coordinated between health authorities and farmers, aiming to identify and control populations of *D. suzukii* in cultivated areas of the Distrito Federal.

Keywords: Cerrado, invasive species, orchard, pest establishment, *Drosophila suzukii*.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, a demanda por produtos e alimentos está cada vez mais acentuada (Tilman *et al.*, 2001). Para garantir que as necessidades da população sejam supridas, é esperado um grande incremento nas áreas destinadas a agricultura (Tilman *et al.*, 2001), implicando em uma pressão cada vez maior aos recursos naturais e biodiversidade (Myers & Kent, 2003). A conversão e ampliação do uso da terra para atividades agropecuárias alteram a disponibilidade de recursos e interações bióticas dos ecossistemas (Matson *et al.*, 1997), podem modificar a composição das comunidades residentes nesses locais (Dias *et al.*, 2016), reduzir a riqueza de espécies em muitos táxons (Flynn *et al.*, 2009), e promover homogeneização das comunidades (Rodrigues *et al.*, 2013).

A intensificação das áreas cultivadas afeta a biodiversidade em diferentes escalas. Na escala da paisagem, o efeito dessa expansão é a simplificação dessas áreas, tornando-as cada vez mais semelhantes e homogêneas (Tschardtke *et al.*, 2005). Como resultado da homogeneização das áreas naturais, baseada na remoção de espécies raras que não conseguiram se adaptar as novas condições, diminui a diversidade de espécies, suas interações biológicas e serviços ambientais (Cardoso *et al.*, 2020). Além disso, a fragmentação de habitat natural causa a extinção de populações devido a sua diminuição e isolamento (Tilman *et al.*, 2002; Benton *et al.*, 2003). Esses cenários evidenciam os impactos negativos sobre a biodiversidade e serviços ecossistêmicos prestados pelas espécies que residiam anteriormente em áreas convertidas (Tilman *et al.*, 2002).

Os insetos fornecem serviços ecossistêmicos importantes aos ambientes em que estão inseridos, entre eles estão a polinização, controle biológico, fornecimento de alimento e reciclagem de nutrientes (Noriega *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2020). Possuem

um importante papel em agroecossistemas devido, principalmente, as funções que exercem como polinizadores, predadores, parasitoides, herbívoros e decompositores (Noriega *et al.*, 2018). A perda dessas características funcionais resulta em mudanças nos processos ecológicos exercidos por esses insetos (Saunders, 2018). Os agroecossistemas se modificam ao longo do tempo para atender as necessidades de mercado, fazendo com que as espécies de insetos que o exploram se movam entre os ambientes cultivados, áreas naturais e seminaturais que compõe a paisagem (Bianchi *et al.*, 2013). De forma geral, as espécies mais vulneráveis a extinção são as mais especializadas em recursos alimentares e com capacidade mais limitada de dispersão (Chichorro *et al.*, 2019).

A expansão agrícola no Brasil proporcionou crescimento econômico para o país (The Economist, 2010), no entanto, é crescente a preocupação sobre as ameaças causadas por essa expansão à biodiversidade de espécies nativas (Sano *et al.*, 2010). Estima-se que somente no Cerrado, que possui uma área de 204 milhões de hectares, a conversão de terra ocasionou a perda de 45,4% da área total do bioma, sendo 60 milhões de hectares em pastagens, 23,8 milhões de hectares em plantio de culturas anuais e 3 milhões de hectares em plantio de pinheiros e eucaliptos (Scaramuzza *et al.*, 2017). A alteração na composição de uma comunidade pode resultar na oferta de uma única ou poucas espécies vegetais, o que implica no crescimento populacional de poucas espécies de animais que as exploram como alimento de forma eficaz. Essa previsibilidade de recursos disponíveis nesses locais torna seu acesso mais fácil em relação as áreas naturais, favorecendo espécies cosmopolitas oportunistas (Oro *et al.*, 2013). Entre esses animais estão os insetos, que devido a ampla disponibilidade de alimento, e geralmente vulnerabilidade a poucos predadores, se reproduzem ativamente tornando-se pragas desses cultivos (Medeiros *et al.*, 2011).

1.1 Invasões biológicas

Como resultado da globalização, o aparecimento de espécies fora de sua distribuição natural é cada vez mais relatado (Perrings *et al.*, 2005). O surgimento de novas rotas de comércio, assim como o aumento no volume de mercadorias, contribui para a disseminação de espécies invasoras (Lodge *et al.*, 2006). Dessa forma, o crescimento do mercado internacional torna-se determinante no processo de invasão de espécies (Costello *et al.*, 2007; Westphal *et al.*, 2008), ampliando a frequência de introduções repetidas (Perrings *et al.*, 2005). Após a introdução em uma nova área, as espécies potencialmente invasoras podem se dispersar por mecanismos naturais ou pelo intermédio de ações humanas e ampliar ainda mais sua distribuição geográfica (Hulme *et al.*, 2008). Quando já estabelecidas em uma nova região, essas espécies podem ou não causar danos variados à região invadida.

Os impactos mais mencionados na literatura são: extinção de espécies nativas (Clavero & Garcia-Berthou, 2005), alterações em padrões de comportamento (Mooney & Cleland, 2001), na riqueza e abundância de espécies (Hejda *et al.*, 2009), na composição de comunidades, hibridização, e interações com espécies nativas, além de efeitos indiretos (Simberloff *et al.*, 2013). Também tem sido amplamente relatados impactos dessas espécies à saúde humana (Daszak *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 2008), produção agrícola e segurança alimentar (Gregory *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2014; Savary *et al.*, 2019). Diante desse panorama, muitos cientistas e organizações conservacionistas mundiais têm se empenhado para conhecer potenciais fontes de pragas e patógenos, assim como seu possível estabelecimento e impactos (Hill *et al.*, 2012; McLaughlan *et al.*, 2014).

Em agroecossistemas, espécies invasoras podem levar à extinção local de espécies nativas de insetos, pois estas últimas são geralmente, mais vulneráveis, possuem

distribuição geográfica mais restrita e hábitos alimentares mais específicos (Wagner & Van Driesche, 2010). Além disso, a competição entre espécies não nativas e nativas por recursos pode resultar na extinção local de espécies nativas (Havel *et al.*, 2015). Como exemplo de espécie invasora bem sucedida, apontamos a espécie de joaninha *Harmonia axyridis*, considerada responsável pela extinção de joaninhas endêmicas na Grã Bretanha (Comont *et al.*, 2014).

1.2 Drosophilídeos

A família Drosophilidae, que inclui o gênero *Drosophila* Fällén, inclui atualmente mais que 4500 espécies (Bächli, 2021). Trata-se de um grupo morfológicamente diverso, com espécies distribuídas globalmente em vários ecossistemas (Powell, 1997; Bächli, 2021). A maioria delas ocorre em uma região biogeográfica única (Bächli, 2021), mas algumas se dispersaram pelo mundo e se estabeleceram em novas áreas (David & Tsacas, 1981).

Essas moscas são atualmente um dos grupos de organismos mais estudados em diversas áreas das ciências biológicas (Powell, 1997; Narayanan & Rothenfluh, 2016; Morimoto & Pietras, 2020), incluindo a ecologia (Mata *et al.*, 2010a). As moscas desse táxon geralmente possuem 2-5 mm de comprimento. Sua cor pode ser amarela, marrom ou preta, e podem possuir diferentes padrões de manchas e faixas no abdômen e tórax, dependendo da espécie. As asas são geralmente claras, no entanto, algumas espécies apresentam asas escurecidas ou com áreas escuras, os olhos são geralmente vermelhos durante toda sua vida (Wheeler, 1981, 1987). Seus hábitos de oviposição variam entre espécies, sendo a postura dos ovos preferencialmente em materiais orgânicos em decomposição, como compostos, frutos maduros em decomposição; fungos vivos ou em decomposição, excrementos, limos e seiva de árvores, cactos ou plantas com flores (Carson, 1971; Markow & O'Grady, 2008). Além de materiais em decomposição,

espécies como *Drosophila suzukii* podem ovipositar em frutos sem injúrias e causar prejuízos à fruticultura devido a alimentação das da polpa dos frutos pelas larvas dessa mosca (Matsumura, 1931).

Os drosofilídeos são muito sensíveis às alterações ambientais, o que os tornam excelentes indicadores ambientais (Mata *et al.*, 2008a). Em ambientes antropizados, como grandes centros urbanos, a riqueza de espécies de drosofilídeos tende a ser menor que em áreas pouco antropizadas ou em ambientes naturais (Parsons, 1991, 1995; Saavedra *et al.*, 1995; Avondet *et al.*, 2003; Mata *et al.*, 2008a, 2010a). A maioria das espécies neotropicais, por outro lado, é mais restrita a tipos específicos de vegetação em áreas naturais (Tidon, 2006). Espécies exóticas invasoras, por outro lado, são geralmente generalistas e se adaptam facilmente a áreas que sofreram algum tipo de distúrbio, inclusive as cultivadas. *Drosophila melanogaster* e *D. simulans*, por exemplo, exploram uma grande variedade de recursos (Valadão *et al.*, 2019), adaptando-se facilmente a diferentes fitofisionomias, inclusive as cultivadas, e propiciando sua ampla distribuição geográfica, (Powell, 1997). A diversidade de drosofilídeos, portanto, é fortemente relacionada a heterogeneidade ambiental (Brown, 1997). Embora existam muitos estudos sobre comunidades desses insetos estabelecidas em vegetação natural (Medeiros & Klaczko, 2004; Mateus *et al.*, 2006; Tidon, 2006; Torres & Madi-Ravazzi, 2006; Döge *et al.*, 2008; Poppe *et al.*, 2012; Monteiro *et al.*, 2016; Mendes *et al.*, 2017) e áreas urbanas (Goñi *et al.*, 1998; Ferreira & Tidon, 2005; Silva *et al.*, 2005; Gottschalk *et al.*, 2007; Garcia *et al.*, 2012), as assembleias desses insetos que habitam pomares e sistemas agroflorestais são relativamente menos conhecidas (Nunney, 1990; Emerich *et al.*, 2012; Roque *et al.*, 2017). Dessa forma, o conhecimento das espécies de drosofilídeos que residem em áreas cultivadas pode permitir o manejo de espécies nesses sistemas, visando

minimizar os impactos negativos que algumas espécies invasoras podem causar á espécies nativas e cultivos.

1.3 *Drosophila suzukii*

Drosophila suzukii (Matsumura, 1931), conhecida como mosca-da-asa-manchada (Hauser *et al.*, 2009), tornou se conhecida mundialmente como uma praga de culturas, especialmente pequenos frutos (Van Timmeren & Isaacs 2014; Steck *et al.*, 2015). Essa espécie possui elevada capacidade de dispersão – suas populações chegam a se movimentar 1.400 km por ano (Calabria *et al.*, 2012) - as fêmeas são capazes de ovipositar em frutos de epicarpo delgado (casca fina) sem injúrias (Andreazza *et al.*, 2017). *Drosophila suzukii* é uma espécie polífaga, utilizando cerca de 52 espécies de plantas hospedeiras de 23 famílias vegetais na Região Neotropical, a maioria desses hospedeiros são exóticos (66,8%) (Garcia, 2020). No Japão e na China, seus danos concentram-se principalmente em culturas de cerejas e mirtilos (Guo, 2007; Kawase *et al.*, 2008; Sasaki & Sato, 1995). Nos Estados Unidos, essa espécie vem sendo considerada a principal praga entre os pequenos frutos, não apenas cerejas e mirtilos, mas também framboesas e amoras (Bellamy *et al.*, 2013). Na Itália, os danos causados às culturas de morango e cerejas chegaram a 100% da produção (Weydert & Mandrin, 2013) e estimativas indicam que, se não for controlada na Califórnia, pode gerar prejuízos de até US\$ 500 milhões anuais (Goodhue *et al.*, 2011).

Drosophila suzukii ocorre na Ásia, Europa, América do Norte e do Sul (Santos *et al.*, 2017), e recentemente foi detectada também na África (Boughdad *et al.*, 2020; Kwadha *et al.*, 2021). Além disso, tem capacidade para se adaptar as condições ambientais da Oceania (Santos *et al.*, 2017). Na América do Sul, *D. suzukii* foi registrada na Argentina (Santadino *et al.*, 2015), Uruguai (González *et al.*, 2015), Chile (Medina-Muñoz *et al.*, 2015) e Brasil (Andreazza *et al.*, 2017). No Brasil, foi coletada pela primeira

vez em fevereiro de 2013, por armadilhas de banana utilizadas para o levantamento da diversidade de uma área subtropical (28°38'S, 49°29'W) na Mata Atlântica (Deprá *et al.*, 2014). Dez meses depois, foi coletada por armadilhas de banana que faziam o levantamento da diversidade no Cerrado, em uma área (15°56'S; 47°53'W) localizada na região central do Brasil (Paula *et al.*, 2014). Esta espécie também foi registrada na Mata Atlântica no Rio de Janeiro (Bitner-Mathé *et al.*, 2014), em um grande armazém de frutas (23°34'S, 46°43'W) em São Paulo (Vilela & Mori, 2014), em plantações de morangos em Minas Gerais (31°46'S, 52°20'W), e no Rio Grande do Sul (28°23'S; 50°51'W), onde afetou até 30% da produção de morangos (Santos, 2014; Andreatza *et al.*, 2016), no estado do Paraná (Geisler *et al.*, 2015) e no Espírito Santo (Zanúncio *et al.*, 2018). A *Drosophila suzuki* também foi registrada colonizando novos hospedeiros no Distrito Federal (*Miconia albicans*, *M. fallax* e *Blepharocalyx salicifolius*) (Ramos *et al.*, 2017).

Utilizando modelos de distribuição potencial de espécies, Benito *et al.*, (2016) estimaram a possibilidade de ocorrência de *D. suzukii* na região sul e algumas áreas da região central do Brasil como sendo entre 75% e 100%. Esses dados geraram uma crescente preocupação em relação aos potenciais prejuízos ecológicos e econômicos causados pela espécie, e alertaram sobre a necessidade de monitorar áreas cultivadas, principalmente em culturas que já sofreram algum dano por essa mosca, como é o caso do morango

1.4 Fruticultura no Distrito Federal

Em decorrência do clima, o Distrito Federal produz quase todos os tipos de frutas tropicais e subtropicais (Faleiro *et al.*, 2017). Sua área cultivada é de 251.320 hectares, destes, 1.691,90 hectares correspondem as plantações de frutos, principalmente goiaba, poncã, limão, laranja, morango, maracujá, banana e manga (Codeplan, 2015). Entre a regiões com maior produção agrícola do Distrito Federal está a cidade de Brazlândia,

considerada a capital do morango no Centro-Oeste, que possui aproximadamente 180 hectares de plantio e cerca de 150 produtores (Lopes *et al.*, 2019). Para atender as demandas na produção, foi necessário a implementação de tecnologias que permitissem o cultivo do morango durante todo o ano. Entre as tecnologias utilizadas estão os modernos sistema de irrigação, o uso de micro túneis para a proteção dos morangos, além da introdução de novos cultivares indiferentes ao fotoperíodo, que permitiam boa produção durante os meses com variações nos períodos de luz – principalmente no verão (Lopes *et al.*, 2019). Essas modificações aumentaram a necessidade de mão de obra, gerando empregos e movimentando a economia da região administrativa (Conceição *et al.*, 2015). Devido a importância da cultura do morango para a economia regional o combate de insetos praga se mostra essencial para a manutenção desses cultivos e os benefícios que ele gera para a população (Henz *et al.*, 2009).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho foi analisar a influência de espécies de drosofilídeos invasores nas assembleias de drosofilídeos em ambientes cultivados.

Os objetivos específicos foram:

-Inventariar os drosofilídeos encontrados em três regimes de cultivo diferentes do Distrito Federal: cultivo orgânico de morangos, cultivo convencional de morangos e cultivo misto de frutos.

-Analisar a composição de espécies de drosofilídeos encontrados em cada cultivo e suas respectivas abundâncias absolutas e relativas.

-Analisar a variação temporal na composição de espécies em cada área cultivada, e possíveis diferenças de composição entre as áreas.

-Verificar se a espécie invasora *D. suzukii* ocorre nas áreas de cultivo e, caso ocorra, se sua abundância justifica preocupação para os produtores locais.

3. METODOLOGIA

Áreas de estudo e amostragem

O presente estudo foi conduzido em três áreas cultivadas do Distrito Federal (**Figura 1**), as quais diferem principalmente com relação ao uso de pesticidas e herbicidas, sistema de irrigação, uso de terra e rendimentos sobre os frutos coletados.

Na primeira área, localizada na região rural da cidade de Brazlândia (15° 40' S 48° 09' W), há uma monocultura de morangueiros (Rosaceae: *Fragaria spp*) orgânicos com fins comerciais (**Figura 2a**), em uma área plantada de cerca três hectares. Em sua matriz externa há uma área aberta que também é utilizada como plantio por outros produtores vizinhos. Esse cultivo utiliza a prática de rotação de cultura com plantas leguminosas que servem como adubação verde e aumentam a disponibilidade de nutrientes no solo, sistema de controle biológico através da utilização de inimigos naturais (ácaros), além de sua produção ser quase exclusivamente manual, com exceção do sistema de irrigação (Oehl *et al.*, 2002). Esse tipo de cultivo oferece aos produtores boa rentabilidade com baixo custo ao meio ambiente, pois em sua produção são utilizados apenas fertilizantes naturais, como o estrume.

Na segunda área, também localizada na região rural da cidade de Brazlândia (15° 37' S 48° 06' W), há uma monocultura convencional de morangueiros, para fins comerciais (**Figura 2b**), com cerca de cinco hectares de área plantada e, assim como o cultivo orgânico, sua matriz externa é constituída principalmente por área aberta utilizada por produtores vizinhos como plantações de diferentes espécies vegetais. Esse cultivo utiliza a prática de rotação de cultura, assim como no cultivo orgânico, para que a produção de morangos ocorra durante todo o ano; dessa forma, quando a plantação voltar para a área anterior haverá mais nutrientes no solo. Esse cultivo emprega fertilizantes

químicos, agrotóxicos para controle de espécies com status de praga, e a preparação da terra e irrigação são mecanizadas. Esse tipo de cultivo oferece aos produtores uma colheita de frutos mais numerosa, a qual eleva o rendimento da sua produção (Asami *et al.*, 2003).

A terceira área está localizada na região rural da Ponte Alta do Gama (16° 00' S ;48° 12' W) e é um cultivo misto de frutos. O cultivo misto localiza-se entre a transição da área urbana e natural e é caracterizado, principalmente, pelo plantio de diversas espécies frutíferas sem fins comerciais (**Figura 2c**), divergindo assim dos outros dois tratamentos. Sua matriz externa - por se tratar de uma área de transição entre área natural e área antropizada - é caracterizada por dezenas de propriedades particulares utilizadas para recreação e pequenas plantações, cercadas por áreas de cerrado e próximas de uma mata de galeria. Além das características mencionadas anteriormente, esse tipo de cultivo não utiliza nenhum tipo de fertilizante natural ou químico, agrotóxicos ou sistema de irrigação. As espécies frutíferas que foram identificadas nesse cultivo foram: *Anacardium occidentale* (Cajú), *Annona muricata* (Graviola), *Artocarpus heterophyllus* (Jaca), *Campomanesia xanthocarpa* (Gabirola), *Carica papaya* (Mamão), *Citrus latifolia* (Limão), *Citrus reticulata* (Mexerica), *Eugenia brasiliensis* (Grumixama), *Genipa americana* (Jenipapo), *Hylocereus polyrhizus* (Pitaia), *Inga edulis* (Ingá), *Malpighia emarginata* (Acerola), *Mangifera indica* (Manga), *Morus nigra* (Amora-preta), *Musa spp* (Banana), *Plinia cauliflora* (Jabuticaba), *Psidium guajava* (Goiaba), *Punica granatum* (Romã), *Spondias purpurea* (Seriguela).

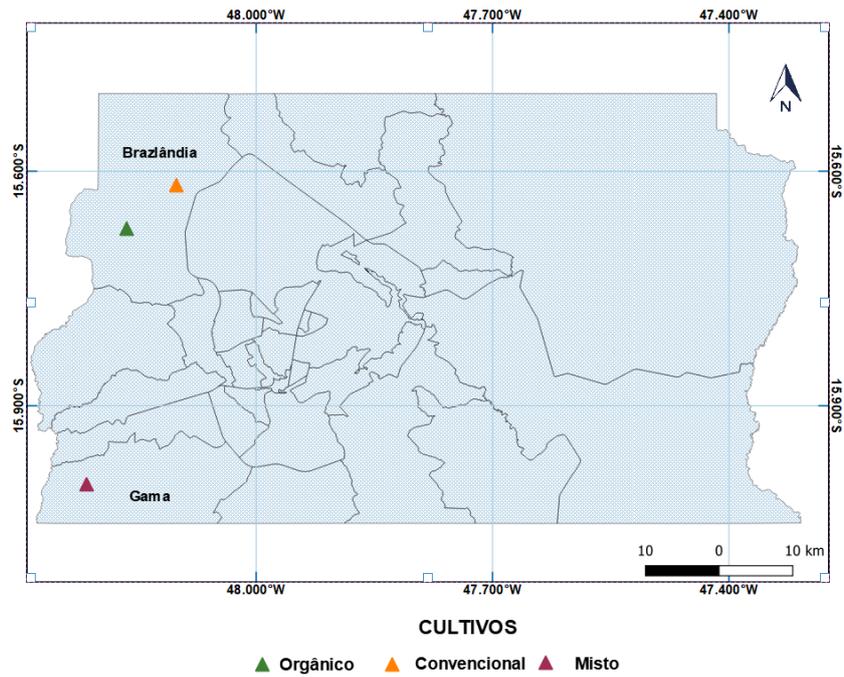


Figura 1: Localização das áreas de cultivos onde foram realizadas as coletas de drosofilídeos nas cidades de Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), no Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020.



Figura 2. Áreas cultivadas onde foram realizadas as coletas de drosofilídeos nas cidades de Brazlândia e Gama no Distrito Federal, Brasil. (A) Cultivo orgânico de morangos, (B) Cultivo convencional de morangos e (C) cultivo misto de frutos, entre julho de 2019 e junho de 2020.

Em cada área cultivada foram selecionados três pontos de amostragem, distantes 100 m um do outro para garantir independência amostral (Mata *et al.*, 2014) e dispostos em formato de triângulo visando aumentar a área de alcance e atratividade das armadilhas. Em cada ponto de amostragem, foram instaladas três armadilhas em estacas de PVC, distantes 1m uma da outra e dispostas também em formato triangular. Nas monoculturas as armadilhas foram instaladas a 50 centímetros do solo, altura aproximada da maioria dos frutos dos morangueiros. No cultivo misto as armadilhas foram instaladas a 1,5 metros do solo, altura aproximada do maior número de frutos disponíveis nas frutíferas. A escolha por instalar três armadilhas em cada ponto de amostragem se deu para evitar a perda de dados desses pontos em caso de incidentes (e.g. queda de alguma das armadilhas por ventania, outros fenômenos naturais, ou deslocamento da armadilha por algum funcionário das propriedades durante colheita de frutos). Ao todo, foram instaladas 27 armadilhas em nove pontos de coleta.

3.2 Coleta e identificação das moscas

As armadilhas utilizadas neste estudo foram confeccionadas a partir de copos plásticos transparentes, com volume de 500 ml, cobertos com fita amarela fosca em seu terço inferior (**Figura 3**), para garantir maior atratividade de *D. suzukii* (Lee *et al.*, 2013). Cada armadilha continha três orifícios com meio centímetro de diâmetro, visando a passagem das moscas. O atrativo utilizado para atrair drosofilídeos foi feito à base de vinagre de maçã e vinho tinto Merlot na proporção de 1/2 de vinagre para 1/2 de vinho (Landolt *et al.*, 2012). Essa metodologia foi escolhida por apresentar boa atratividade para a captura de *D. suzukii* (Landolt *et al.*, 2012), além de ter se mostrado eficaz nos testes pilotos realizados.

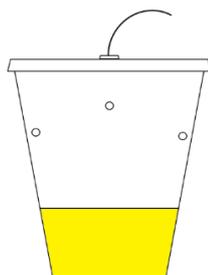


Figura 3: Armadilha utilizada durante a coleta drososfilídeos nas cidades de Brazlândia e Gama no Distrito Federal, durante os meses de julho de 2019 a junho de 2020.

As coletas foram realizadas mensalmente, no período de julho de 2019 a junho de 2020. Entretanto, no mês de março de 2020 foi realizada rotação de culturas no cultivo convencional de morangos e não havia plantas crescidas onde pudessem ser colocadas as armadilhas, o que impossibilitou que a coleta fosse realizada nessa área. Para fins de análise de dados, optamos por remover os dados coletados do mês de março de 2020 nos cultivos orgânicos de morangos e misto de frutos para equilibrar o número de coletas entre os três cultivos. Cada armadilha ficou no campo durante sete dias.

Após coletados, os indivíduos foram levados ao laboratório de Biologia Evolutiva da UnB, onde foram separados por sexo e quantificados. As espécies foram determinadas com base em sua morfologia com auxílio de chaves de identificação, e quando necessário, mediante a análise da terminália masculina externa (Val, 1982; Vilela, 1983; Vilela *et al.*, 1990, 2002; Markow & O'Grady, 2008; Poppe *et al.*, 2016; Yuzuki & Tidon, 2020). Após determinações das espécies, os espécimes foram mantidos na coleção do laboratório de Biologia Evolutiva da UnB.

3.3 Análise de dados

Após as determinações taxonômicas, os dados brutos foram tabelados, registrando a abundância de cada espécie por armadilha. Em seguida os dados obtidos nas três armadilhas de cada ponto de coleta foram somados para a realização das análises. Esses dados foram utilizados para estimar os seguintes parâmetros das comunidades em

cada área: composição de espécies, riqueza de espécies, abundância relativa e absoluta das espécies, diversidade de espécies, e proporção entre espécies neotropicais e exóticas (i. e., não neotropicais).

Para verificar a suficiência amostral e comparar a riqueza entre os cultivos, foram calculadas curvas de rarefação baseadas em indivíduos no software Past 4.03 (Hammer & Harper, 2008), que utiliza em seu cálculo o algoritmo retirado de "Krebs" (1989) e aplicada função "log Gamma" para o cálculo dos termos combinatórios. Os resultados obtidos foram então implementados e depois tratados no software R-3.5.1.

A diversidade de espécies de drosofilídeos entre os cultivos foi avaliada por perfis de diversidade de Renyi (Kindt *et al.*, 2006). Esses perfis englobam vários índices com pesos diferentes para a riqueza e equitabilidade das espécies que compõem a assembleia, permitindo uma interpretação mais precisa na comparação da diversidade entre locais (Melo, 2008). O eixo X retrata métricas de diversidade: a riqueza de espécies é demonstrada quando $\alpha = 0$, o índice de diversidade de Shannon quando $\alpha = 1$, o índice de Simpson quando $\alpha = 2$ e o índice Berger-Parker para a dominância das espécies mais abundantes quando $\alpha = \text{inf}$. O teste foi realizado pelo software R-3.5.1 com os pacotes "vegan" (Oksanen *et al.*, 2019) e "BiodiversityR" (Kindt & Coe, 2005) e depois gerado o gráfico com o pacote "ggplot2" (Wickham, 2016).

3.3.1 Análises temporais

Variações temporais na riqueza, abundância, e proporção de indivíduos classificados em espécies neotropicais e exóticas foram avaliadas visualmente, em gráficos construídos para esse fim.

3.3.1 Análises entre comunidades

Para investigar se há diferenças nas estruturas das comunidades de drosofilídeos foi utilizada a PERMANOVA (*Permutation Multivariate Analysis of Variance*), que verifica as matrizes de distância entre as amostras e demonstra quais variáveis mais influenciaram a dissimilaridade entre comunidades. O tipo de cultivo (orgânico, convencional e misto) e mês de coleta, assim como a interação entre eles, foram adotados como variáveis preditoras, e a composição de espécies foi adotada como variável resposta. Também foi aplicada a PERMADISP (*Analysis of Multivariate Homogeneity of Group Dispersions*), em conjunto a PERMANOVA, para elucidar se haviam possíveis efeitos de posição ou dispersão dos dados e esclarecer a homogeneidade das amostras. Para a PERMANOVA foi utilizada a função “*adonis2*” e para a PERMADISP a função “*betadisp*”, ambas disponíveis no pacote “*vegan*” (Oksanen *et al.*, 2019) no software R-3.5.1.

3.3.3 Análise de *Drosophila suzukii*

Para verificar se a abundância de *Drosophila suzukii* pode ser um fator de preocupação para os produtores, foi estimado o índice MAD (mosca/armadilha/dia), mês a mês durante o período de estudo. Esse índice tem sido utilizado para medir a taxa de tolerância do mercado ao nível de infestação *D. suzukii* (Lasa *et al.*, 2019; Papanastasiou *et al.*, 2020). Além disso, a métrica fornecida pelo MAD é utilizada a fim de padronizar a variação no número de armadilhas ou períodos de coleta entre diferentes localidades, fornecendo um valor comparável entre elas (Aluja *et al.*, 2012). Ele é calculado pela quantidade de moscas capturadas nas armadilhas (M), dividido pelo número de armadilhas inspecionadas (A), multiplicado pelo número de dias de exposição das armadilhas (D). Esse índice é expresso pela equação:

$$\text{MAD} = \frac{M}{A \times D}$$

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização das assembleias

Durante o período de estudo, foram coletados 9.034 indivíduos pertencentes a 23 espécies de drosofilídeos, considerando os três tipos de cultivo. A abundância de indivíduos foi maior no cultivo misto (n = 5.525). Nos cultivos de morangos orgânico e convencional foram coletadas respectivamente 1.966 e 1.543 moscas (**Tabela 1**). A riqueza de espécies foi muito semelhante entre as três áreas: 20 espécies de drosofilídeos no cultivo misto e 18 em cada monocultura. Indivíduos classificados em espécies exóticas corresponderam a 78% do total de moscas. Essa proporção também foi semelhante quando analisada nos três cultivos individualmente (78%~79%).

Dentre as três espécies mais abundantes coletadas no cultivo misto de frutos, duas são exóticas: *Drosophila marlerkotliana* (representando 47.51% dos indivíduos coletados) e *Zaprionus indianus* (15.26 %), e a terceira é neotropical (*Rhinopeucophenga lopesi*, 11.02%). No cultivo orgânico de morangos, as três espécies mais abundantes coletadas são espécies exóticas (*D. simulans* com 37.01%, *D. busckii* com 15.62 % e *Z. indianus* com 13.93%). No cultivo convencional, das três espécies mais abundantes duas são exóticas (*D. simulans* 55.90%, *Scaptodrosophila latifasciaeformis* com 12.26%) e uma neotropical (*D. cardini* com 9.77%).

Tabela 1: Composição, abundância relativa e absoluta de espécies drosofilídeos coletados no cultivo orgânico de morangos, convencional de morangos e mistos de frutos, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

Espécies	Abundância total	Abundância relativa de drosofilídeos (%)		
		Cultivo orgânico de morangos	Cultivo convencional de morangos	Cultivo misto de frutos
<i>Drosophila simulans</i> *	3.043	37.01	55.90	4.96
<i>Drosophila marlerkotliana</i> *	2.659	0.91	0.51	47.51
<i>Zaprionus indianus</i> *	1.117	13.93	3.00	15.26
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i> *	686	9.14	12.26	5.50
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i>	624	0.45	0.41	11.02
<i>Drosophila cardini</i>	430	11.34	9.77	1.14
<i>Drosophila nasuta</i> *	326	1.10	3.15	4.47
<i>Drosophila busckii</i> *	325	15.62	4.12	0.05
<i>Drosophila nebulosa</i>	276	3.24	1.88	3.42
<i>Drosophila paranaensis</i>	219	2.01	0.41	3.26
<i>Drosophila mercatorum</i>	172	2.59	2.29	1.57
<i>Drosophila paraguayensis</i>	124	2.10	5.13	0.11
<i>Drosophila suzukii</i> *	55	0.39	0.46	0.72
<i>Drosophila repleta</i>	37	0.00	0.00	0.67
<i>Drosophila hydei</i>	25	0.65	0.25	0.18
<i>Drosophila flexa</i>	7	0.13	0.20	0.02
<i>Rhinoleucophenga obesa</i>	6	0.13	0.00	0.07
<i>Drosophila cuaso</i>	5	0.13	0.15	0.00
<i>Drosophila buzzati</i>	2	0.00	0.05	0.02
<i>Drosophila mediosignata</i>	2	0.13	0.00	0.00
<i>Drosophila atrata</i>	1	0.00	0.00	0.02
<i>Drosophila polymorpha</i>	1	0.00	0.05	0.00
<i>Drosophila stutervanti</i>	1	0.00	0.00	0.02
Espécies exóticas	7.102	78.09	79.40	78.48
Espécies neotropicais	1.932	21.91	20.60	21.52
Total	9.034	1.543	1.966	5.525

* Espécies exóticas

4.2 Padrões de diversidade

A curva de rarefação demonstrou que o cultivo misto, apesar de possuir maior abundância de indivíduos, possui uma riqueza de espécies semelhante aos demais cultivos (**Figura 4**). Perfis de diversidade de Rényi mostraram que, entre os três cultivos estudados, o cultivo orgânico foi o mais diverso, seguido pelo cultivo misto e cultivo convencional (**Figura 5**).

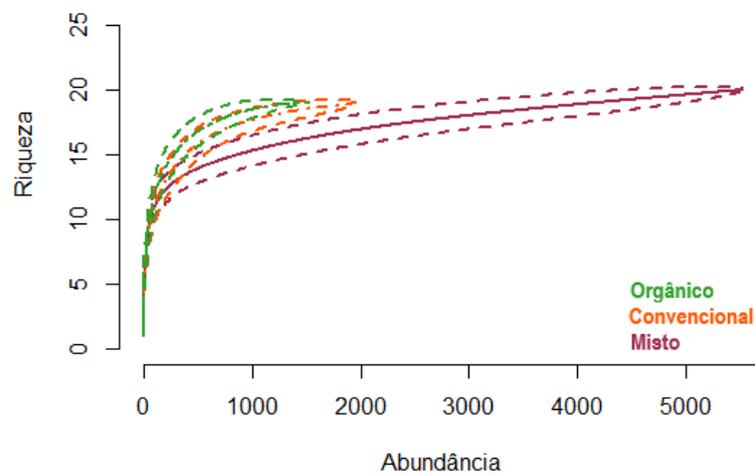


Figura 4. Curva de rarefação para assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). As linhas tracejadas correspondem ao intervalo de confiança de 95 %.

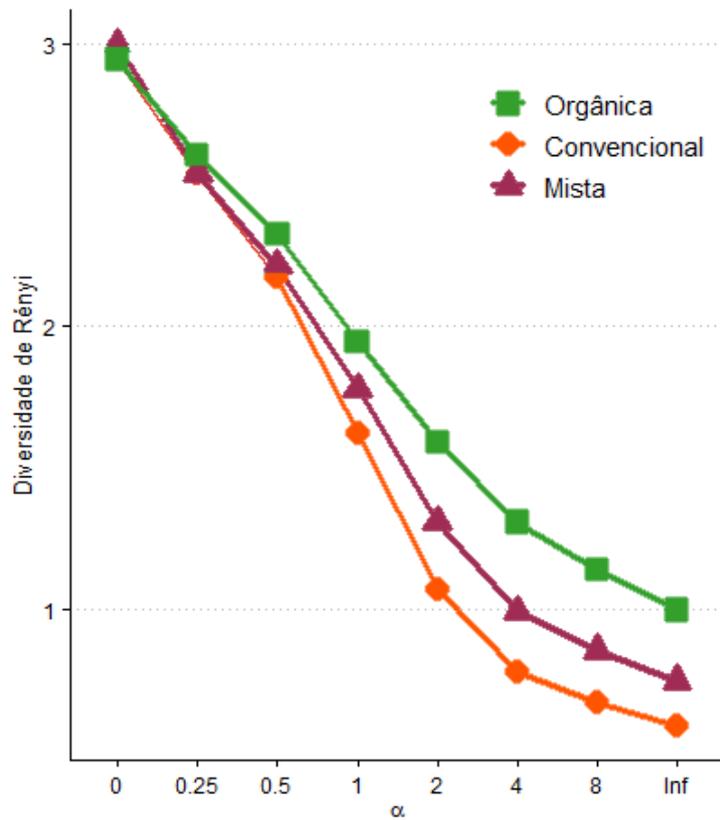


Figura 5. Perfis de diversidade de Rényi para assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). O eixo X representa a riqueza de espécies quando $\alpha = 0$, o índice de diversidade de Shannon quando $\alpha = 1$, o índice de Simpson quando $\alpha = 2$ e o índice Berger-Parker para a dominância das espécies mais abundantes quando $\alpha = \text{inf}$.

4.3 Riqueza e abundância temporal

A riqueza de espécies variou ao longo dos meses, em todos os cultivos alcançou seu valor máximo entre dezembro e abril (**Figura 6**). É possível observar que a curva na flutuação da riqueza é mais estável no cultivo misto de frutos, apresentando acréscimos e decréscimos de espécies de forma mais uniforme em relação aos demais cultivos.

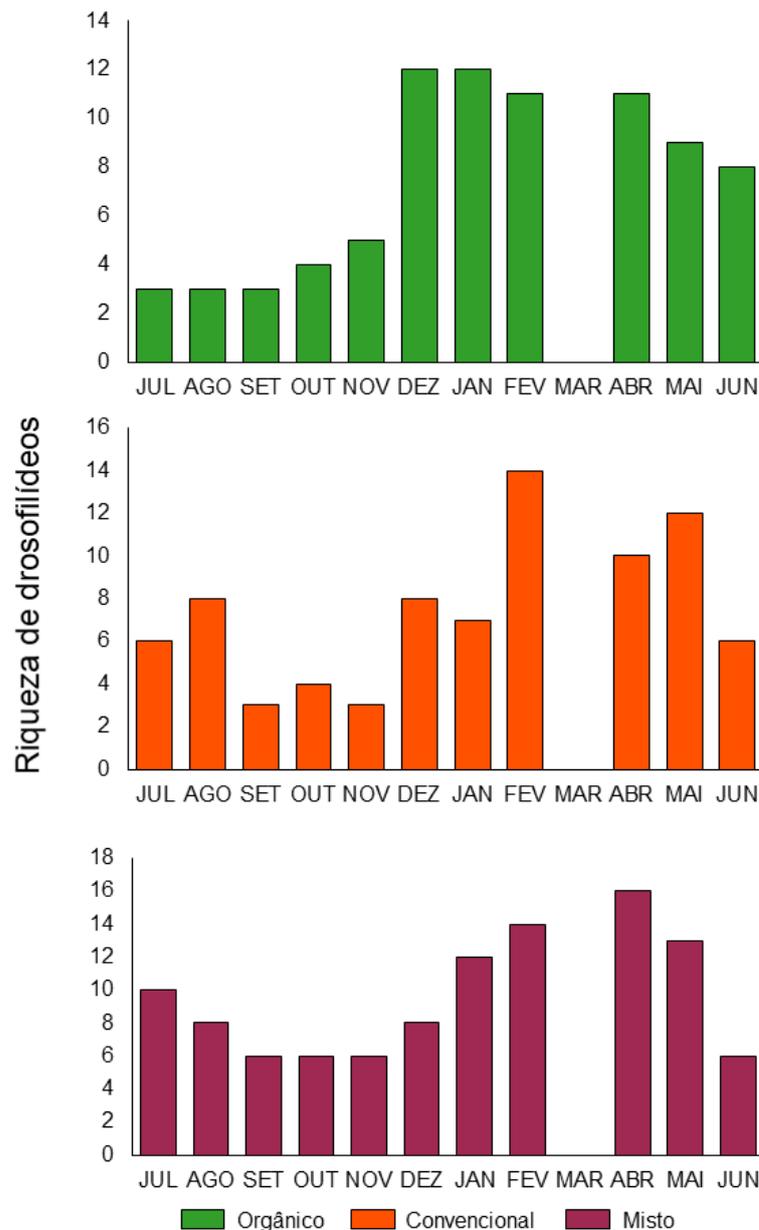


Figura 6. Variação temporal na riqueza de espécies das assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

A abundância de indivíduos variou durante o período de estudo (**Figura 7**). Em ambos os cultivos a maior abundância absoluta foi coletada entre dezembro e abril.

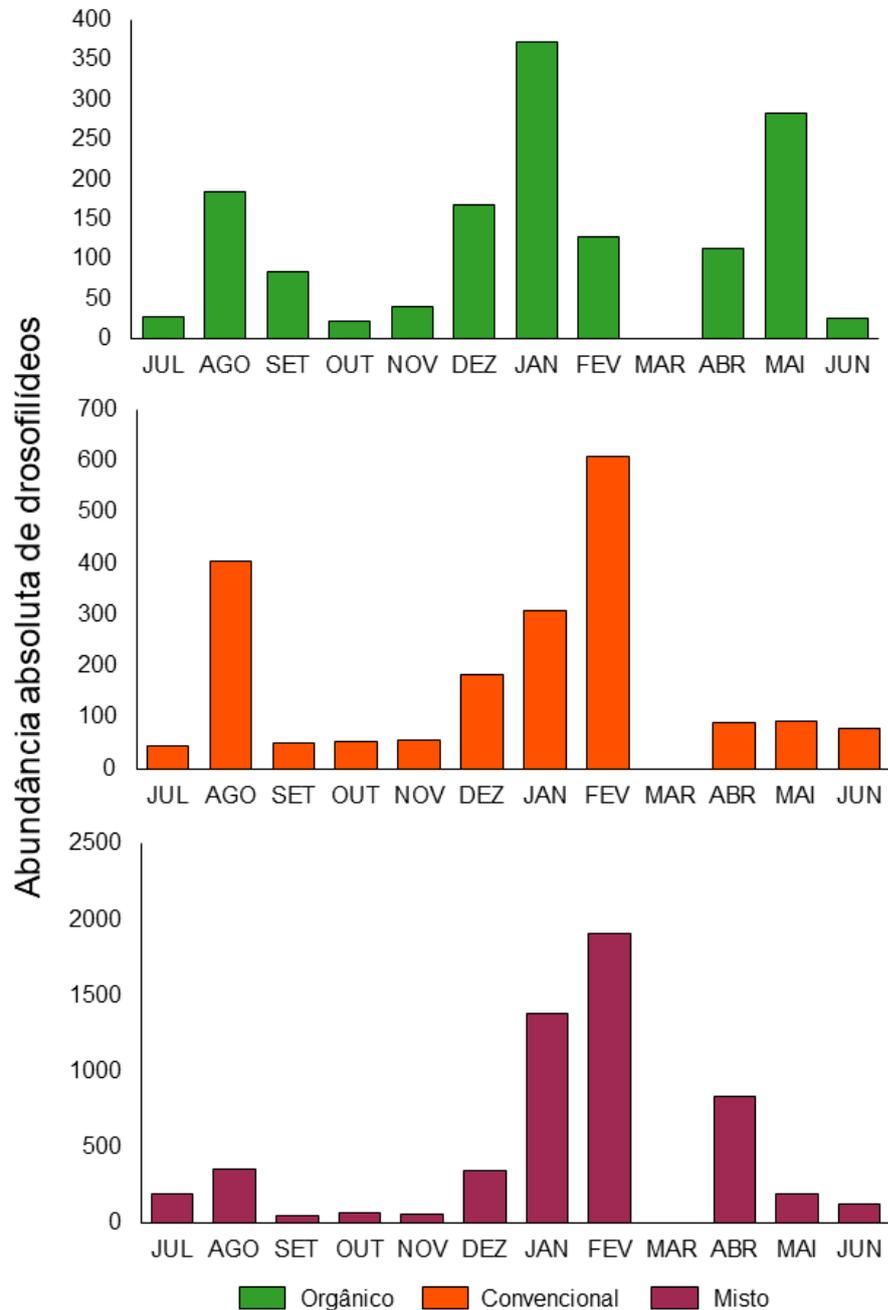


Figura 7. Variação temporal na abundância absoluta das assembleias de drosofilídeos coletados em três tipos de cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

A abundância relativa das espécies de drosofilídeos neotropicais e exóticos também variou ao longo dos meses (**Figura 8**). No cultivo orgânico, a proporção de indivíduos de espécies exóticas foi maior durante todos os meses do ano. No cultivo convencional, a proporção de indivíduos de espécies exóticas foi maior em quase todos os meses do ano, com exceção de maio. No cultivo misto, a proporção de espécies exóticas foi maior durante os meses chuvosos (novembro a abril) e a abundância de espécies neotropicais (principalmente *D. paranaensis* e *R. loyesi*) foi maior durante os meses secos (junho a outubro, exceto o mês de agosto).

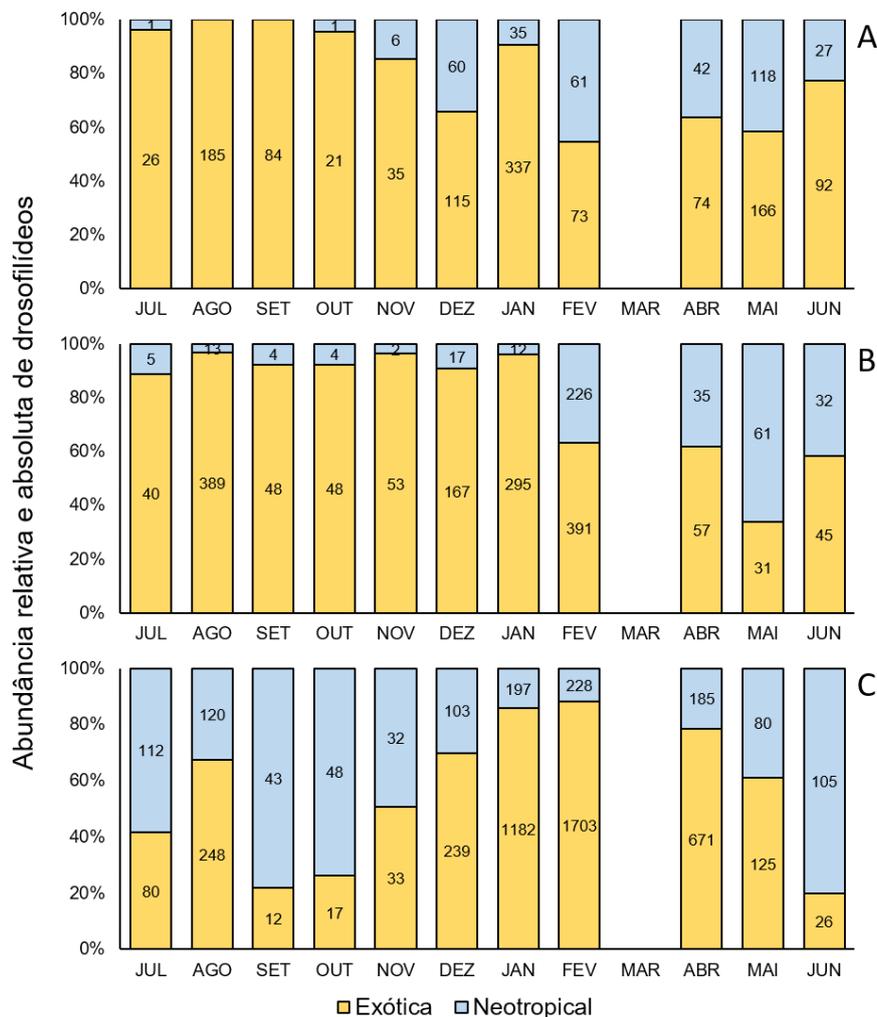


Figura 8. Variação temporal da abundância e absoluta (valores no interior das barras) e relativa (proporções ilustradas pelas cores azul e alaranjado) de drosofilídeos neotropicais e exóticos coletados em cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020). (A) Cultivo orgânico de morangos, (B) Cultivo convencional de morangos e (C) cultivo misto de frutos.

Os picos de abundância das espécies exóticas variaram entre espécies e entre cultivos (**Figura 9**). No orgânico a maior abundância das espécies exóticas ocorreu de outubro a abril e foi influenciada pela alta abundância de *D. simulans*, a qual ocorreu em todas as coletas e teve seu pico populacional em agosto. No cultivo convencional a maior abundância de espécies exóticas ocorreu entre novembro e fevereiro e, assim como no cultivo orgânico, a espécie que mais influenciou a abundância de exóticas foi *D. simulans*, com pico populacional também no mês de agosto. No cultivo misto, a dominância das espécies exóticas, assim como a maior abundância desses drosofilídeos, ocorreu entre dezembro e abril, quando *D. marlerkotliana* respondeu por quase metade dos espécimes coletados nesse cultivo.

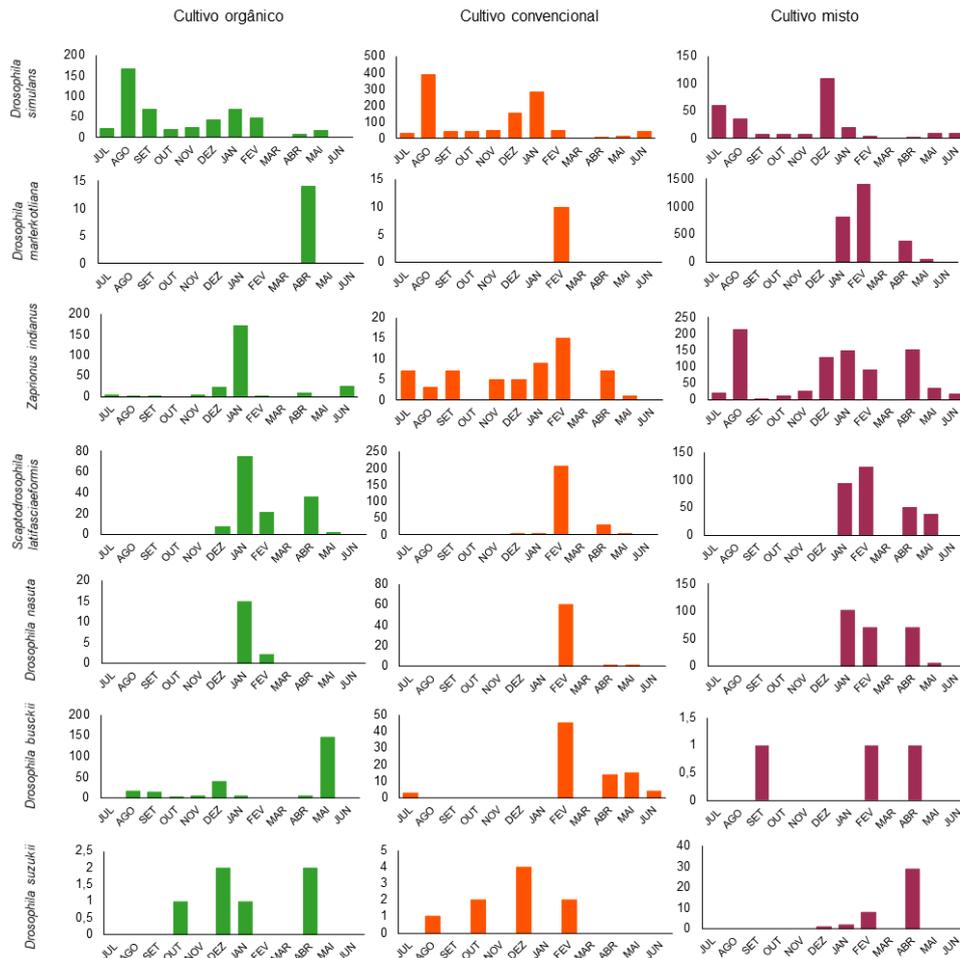


Figura 9. Variação temporal das espécies exóticas coletadas nos cultivos do Distrito Federal, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

4.4 Composição de assembleias

A PERMANOVA demonstrou que diferentes componentes afetam a estrutura da comunidade de drosofilídeos coletados nos cultivos. O fator que mais contribuiu para a diferenças observadas foi o mês em que os drosofilídeos foram coletados, explicando cerca de 32% da variação dos dados, seguido pelo tipo de cultivo, que explicou 18% da variação encontrada. O resultado da PERMADISP demonstrou que não há dispersão nos dados (**Figura 10**), ou seja, todas as amostras são homogêneas (**Tabela 2**).

Tabela 2: PERMANOVA e PERMADISP mostrando as diferenças na estrutura das assembleias de drosofilídeos coletados no cultivo orgânico de morangos, convencional de morangos e mistos de frutos. O valor de p foi obtido através de 999 permutações, usando a similaridade de Bray-curtis. GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, MQ: média dos quadrados, R²: proporção de explicação, F: resultado do teste F e P: resultado obtido através das permutações. p significativa <0,05.

	PERMANOVA					PERMADISP				
	GL	SQ	R ²	F	P	GL	SS	MS	F	P
Mês	10	9.79	0.32	10.98	0.001	10	0.128	0.012	0.493	0.89
Cultivo	2	5.47	0.18	30.7	0.001	2	0.019	0.009	0.059	0.55
Cultivo x Mês	20	9.16	0.3	5.14	0.004	NA	NA	NA	NA	NA
Resíduos	66	5.88	0.19			NA	NA	NA	NA	NA
Total	98	30.3076	1							

Drosophila suzukii foi coletada em todos os cultivos. O índice MAD mostrou que a espécie só possui potencial de dano significativo na cultura mista, onde seu MAD foi 0.38 nos meses de fevereiro e 1.38 no mês de abril, quando representou 3,5% de todos os drosofilídeos coletados (**Apêndice, Tabela A1**). Nas monoculturas, o MAD permaneceu inferior a 0.19.

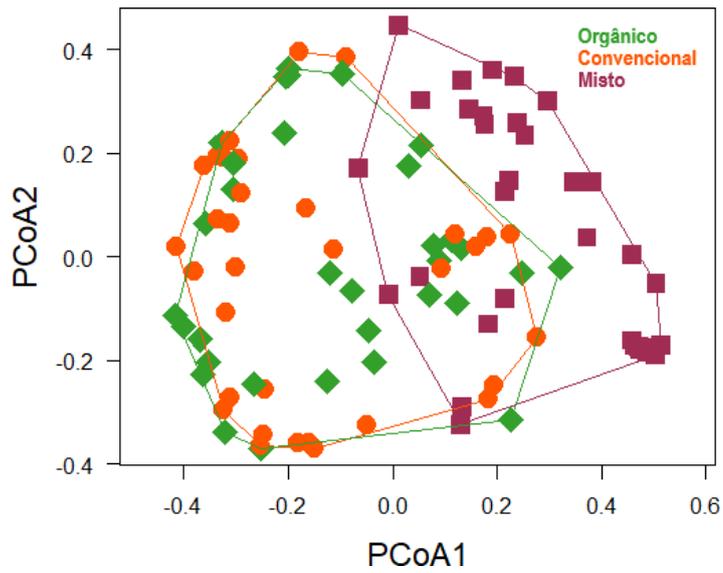


Figura 10: PCoA criada a partir dos resultados obtidos da PERMADISP para os cultivos, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

5. DISCUSSÃO

Nas culturas analisadas neste estudo, foram identificadas 23 espécies de drosofilídeos. Dentre elas, sete são exóticas à Região Neotropical (Chaves & Tidon, 2008), as quais já foram coletadas em estudos realizados anteriormente no Cerrado, (Tidon, 2006; Roque *et al.*, 2015, 2017; Mata *et al.*, 2015). A riqueza de drosofilídeos encontrada é compatível com a registrada em outros ambientes convertidos no Cerrado (Ferreira & Tidon, 2005; Emerich *et al.*, 2012), e significativamente menor que em ambientes naturais. Em uma mata de galeria no Distrito Federal, Roque *et al.*, (2013) coletaram 7.623 drosofilídeos, onde foram determinadas 61 espécies, a maioria delas raras e ecologicamente restritas. Essa relação entre o número de espécies e o ambiente em que estão inseridas demonstra a importância da complexidade de habitats para manutenção de espécies, uma vez que em ambientes naturais a riqueza de drosofilídeos tende a ser maior em relação a agroecossistemas com ambientes simplificados. Esse padrão pode demonstrar um processo de homogeneização biótica nesses ambientes antropizados simplificados, onde as espécies exóticas invasoras saem “vencedoras” em relação a espécies nativas (McKinney & Lockwood, 1999),

As espécies exóticas aqui registradas são de origem oriental ou afrotropical e estão amplamente espalhadas pelo mundo. O primeiro registro de *Drosophila malerkotliana* no Brasil foi em 1976 (Val & Sene, 1980), posteriormente foi registrada em ambientes naturais (Torres & Madi-Ravazzi, 2006; Schmitz *et al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2011), sítios urbanizados (Gottschalk *et al.*, 2007) e áreas cultivadas (Nunney, 1990; Emerich *et al.*, 2012; Roque *et al.*, 2017). *Zaprionus indianus* é uma das espécies colonizadoras de maior sucesso de seu gênero (Chassagnard & Tsacas, 1993), provavelmente porque é ecologicamente versátil em relação às condições climáticas variáveis e utiliza diversos

recursos alimentares (Parkash & Yadav, 1993; Mata, *et al.*, 2010b; Valadão *et al.*, 2019). Ela está registrada na América do Sul desde 1998 (Vilela, 1999), e desde então, vem sendo coletada amplamente em áreas de cerrado e ambiente antropizado (Tidon *et al.*, 2003; Tidon, 2006; Mata *et al.*, 2008a, 2010b;). *Drosophila simulans* é comumente relatada em áreas abertas (Tidon *et al.*, 2003) e locais com algum grau de antropização (Tidon *et al.*, 2003; Gottschalk *et al.*, 2007; Garcia *et al.*, 2012;), no entanto em áreas naturais ela ainda é pouco abundante, demonstrando a dificuldade da espécie em se estabelecer em áreas naturais. *Scaptodrosophila latifasciaeformis* foi registrada pela primeira vez no Brasil nos anos 40 e descrita como *Drosophila mirim* (Dobzhansky & Pavan, 1943); desde então, foi coletada em todos os tipos de vegetações (Val & Sene, 1980), incluindo manguezais (Schmitz *et al.*, 2010). *Drosophila busckii* está relacionada a uma ampla variedade de hospedeiros (Valadão *et al.*, 2019), no entanto, ela é mais facilmente encontrada em ambientes antropizados que em ambientes naturais (Mateus *et al.*, 2006). *Drosophila nasuta* foi detectada no Brasil em 2015 (Vilela & Goñi, 2015), tem demonstrado boa adaptação as condições ambientais do Cerrado, onde em meses chuvosos, sua população chegou a representar 20% de todas as moscas capturada no período (Leão *et al.*, 2017). Todas as sete espécies exóticas foram encontradas nos três cultivos, o que pode ser resultado de algum processo de homogeneização biótica nesses locais (Olden *et al.*, 2004). As semelhanças na composição de espécies – principalmente exóticas – entre os cultivos pode ser resultado de uma nova configuração nesses ecossistemas agrícolas, devido as constantes mudanças ambientais nesses locais (Hobbs *et al.*, 2009). Dessa forma, novas combinações na composição de espécies favorecem a ocorrência e maior abundância de espécies invasoras e generalistas (Lindenmayer *et al.*, 2008).

Nos cultivos aqui estudados, a maioria das espécies neotropicais encontradas são generalistas e podem utilizar uma ampla gama de hospedeiros utilizados, principalmente, para oviposição (Valadão *et al.*, 2019). Entre as espécies neotropicais coletadas, as mais abundantes são *D. cardini*, *R. lopesi* e *D. nebulosa*. *Drosophila cardini* é uma espécie de drosofilídeo ecologicamente generalista, colonizando cerca de 12 famílias vegetais e 14 espécies de plantas (Valadão *et al.*, 2019), está estabelecida em vários tipos de vegetação, desde natural a florestas e savanas (Vilela *et al.*, 2002), bem como em áreas rurais (Roque *et al.*, 2017), urbanas (Ferreira & Tidon, 2005; Garcia *et al.*, 2012). *R. lopesi* não é uma espécie capturada com frequência nesses ambientes, e sua distribuição conhecida está restrita aos estados de Rio de Janeiro, Mato Grosso, Espírito Santo (Poppe *et al.*, 2016) e Vale do Paraná (Mata *et al.*, 2008b). O gênero *Rhinopeucophenga* já foi relatado como predador de larvas da cochonilha *Dysmicoccus brevipes* (Culik & Ventura, 2009) e sua maior abundância no cultivo misto em relação às monoculturas podem estar relacionada à presença de várias espécies frutíferas cultivadas que podem ser atacadas por cochonilhas, e assim se tornando fonte de alimentos para essas moscas. *Drosophila nebulosa* também é coletada em ambientes antropizados, e utiliza pelo menos 28 famílias vegetais e 57 espécies de planta (Valadão *et al.*, 2019).

5.1 Distribuição temporal

Em todos os cultivos, a riqueza e abundância de drosofilídeos foram geralmente mais altas nos meses chuvosos (dezembro 2019 a abril 2020), suportando estudos anteriores em vegetação natural (Tidon, 2006; Mata *et al.*, 2015) e áreas cultivadas (Roque *et al.*, 2017). No Cerrado, a estação chuvosa é favorável ao desenvolvimento de drosofilídeos, devido às condições climáticas ideais e à alta disponibilidade de frutos em decomposição no solo (Mata *et al.*, 2015a). Estes frutos fornecem sinais visuais e olfativos para as fêmeas que buscam locais para oviposição (Yang *et al.*, 2008), e

consequentemente favorecem o crescimento populacional (Döge *et al.*, 2015). Além disso, drosofilídeos são sensíveis às mudanças de temperatura, luz, intensidade do vento e umidade relativa do ar (David *et al.*, 1983). Durante a estação seca as populações de drosofilídeos são expostas a condições climáticas estressantes, quando suas populações diminuem acentuadamente (Tidon, 2006; Roque *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2015a,b).

Nas monoculturas a proporção de espécies exóticas foi maior durante quase todos os meses do ano (a exceção foi o cultivo convencional, em maio) (**Apêndice, Tabelas A2 e A3**). Esse padrão pode estar relacionado principalmente ao efeito da irrigação que pode estar minimizando os efeitos que a sazonalidade exerce nas espécies exóticas. Na cultura mista, por outro lado, as espécies exóticas predominaram nos meses chuvosos (novembro a maio) (**Apêndice, Tabela A4**), e as neotropicais (principalmente *Drosophila paranaensis* e *Rhinopeucophenga lopesi*) durante os meses mais secos (junho a outubro) (**Apêndice, Figura A1a**). Duas hipóteses complementares poderiam explicar esse resultado. A primeira é que nos períodos fortemente dominados por espécies exóticas, as espécies nativas podem ser deslocadas para outras regiões devido à eficiência das exóticas em competir pelos recursos existentes (Van Kleunen *et al.*, 2010). A segunda hipótese é que algumas espécies neotropicais, por terem evoluído na região de estudo, estariam mais adaptadas à estação seca do que as espécies exóticas. *Drosophila paranaensis*, por exemplo, faz parte de um grupo de espécies amplamente distribuída em vegetação aberta (Vilela, 1983) e no cultivo misto teve picos populacionais na estação seca. A disponibilidade de micro habitats devido a maior heterogeneidade ambiental em relação as monoculturas, torna o cultivo misto um ambiente atrativo para algumas espécies de drosofilídeos durante certos períodos do ano – especialmente as espécies neotropicais durante os meses secos – pois pode oferecer refúgios às moscas que migram de regiões onde existe maior stress fisiológico (Powell, 1997).

5.2 Assembleias de drosofilídeos

Os fatores que mais contribuíram para as diferenças na da variação dos dados foram os meses em que os drosofilídeos foram coletados (32%), e o tipo de cultivo (18%). Entre os fatores explicativos para o que foi observado está a variabilidade na disponibilidade de recursos entre as monoculturas e cultivo misto. Os recursos utilizados pelos drosofilídeos (frutos) estavam disponíveis durante todo o ano nas monoculturas, enquanto que no cultivo misto, as espécies vegetais apresentavam fenologias variadas (Batalha & Martins, 2004) que acompanhavam as variações climáticas do Cerrado. A heterogeneidade do cultivo misto pode garantir diferentes oportunidades para a manutenção de espécies em diferentes épocas do ano, e ser responsável pela maior riqueza nesse local (Sirami *et al.*, 2019). Além disso, as distintas condições climáticas durante os meses de estudo são determinantes para composição e abundância das assembleias de insetos em diferentes meses (Pinheiro *et al.*, 2002), onde podemos encontrar diferentes espécies de drosofilídeos em épocas específicas do ano (Roque *et al.*, 2013).

5.3 *Drosophila suzukii*

Nosso estudo registra o primeiro relato de *Drosophila suzukii* em ambiente cultivado no Distrito Federal. Detectamos sua presença a partir de agosto de 2019 no cultivo convencional e posteriormente em outubro no cultivo orgânico, no entanto, no cultivo misto a presença dessa espécie foi verificada apenas no mês de dezembro. Esse “lag time” observado nos períodos de aparição dessa mosca em nosso estudo é comum em alguns processos ecológicos, entre eles, o processo de invasão biológica, e representa diferentes intervalos de causa e efeito (Crooks, 2005) (e.g. condições adequadas para aparecimento da mosca e seu crescimento populacional). O “lag time” em processos de invasão é variável e já foi observado em diferentes grupos de organismos, como plantas

(Daehler, 2009; Larkin, 2012), pássaros (Aagaard & Lockwood, 2014), peixes (Azzurro *et al.*, 2016) e insetos (Morimoto *et al.*, 2019).

A descoberta dessa mosca no Brasil foi relatada pela primeira vez por Deprá *et al.*, (2014), na região sul, atacando morangos. No Distrito Federal, essa espécie já foi coletada em áreas naturais em um monitoramento que durou 11 meses (outubro de 2013 a agosto de 2014), no entanto, apresentou uma abundância baixa (duas *D. suzukii* em 36,917 moscas coletadas) (Paula *et al.*, 2014). Em outro monitoramento feito por Leão *et al.*, (2017), foram encontradas nove moscas de *D. suzukii* (de outubro de 2013 a dezembro de 2014), dentre as 3589 moscas coletadas. No mesmo estudo, entre 2015 e 2016, foram coletadas 53 *D. suzukii* (11 moscas das 50,507 coletadas em mata de galeria e 42 das 34,275 moscas coletadas cerrado sensu stricto). O rápido desenvolvimento populacional dessa espécie foi relatado em vários outros lugares do mundo (Lee *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2011; Calabria *et al.*, 2012; Asplen *et al.* 2015), demonstrando que seu potencial de expansão populacional é alto (Gutierrez *et al.*, 2016).

No cultivo misto, a população dessa mosca parece estar em uma fase mais avançada de estabelecimento em relação às monoculturas, pois observamos que essa mosca apresenta um intervalo bem definido de crescimento populacional (dezembro a abril). Além de ter um crescimento populacional bem definido, sua abundância relativa durante o mês de abril é alta (3,5%), e apresentou MAD considerado elevado (1.38) nesse mesmo mês. Além disso, reconhecemos vários hospedeiros já reportados para *D. suzukii* no cultivo misto, como *Malpighia emarginata*, *Morus nigra*, e *Psidium guajava* (Lee *et al.*, 2015; Andreatza *et al.*, 2017; Louzeiro *et al.*, 2019), e hospedeiros potenciais como *Eugenia brasiliensis* e *Plinia cauliflora* (Andreatza *et al.*, 2017). Essa maior variedade de hospedeiros em relação as monoculturas, pode fornecer melhores condições para o

estabelecimento dessa mosca nesses locais, uma vez que há mais opções de frutos a colonizar.

Os modelos bioclimáticos preveem a distribuição potencial de *D. suzukii* na região central do Brasil (Benito *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2017), onde ocupa fronteira norte de adequação para a espécie na região Neotropical. Entretanto, vale notar que estes modelos são baseados principalmente em dados de temperatura (Benito *et al.*, 2016) e precipitação (Santos *et al.*, 2017), e o Cerrado experimenta uma intensa seca sazonal que poderia ter restringido o estabelecimento de *D. suzukii* no Distrito Federal. Embora a influência da umidade tenha sido raramente investigada (Winkler *et al.*, 2020), sabe-se que a baixa umidade afeta negativamente a oviposição e a vida adulta *D. suzukii* (Tochen *et al.*, 2016; Eben *et al.*, 2018; Guédot *et al.*, 2018).

Ainda é desconhecido como os drosofilídeos sobrevivem durante a estação seca nesta região, entre as prováveis respostas estão: o desenvolvimento de mecanismos de resistência ao stress causado pelo ressecamento (Nevo *et al.*, 1998) e, a manutenção de abrigos com condições microclimáticas favoráveis (Junge-Berberović, 1996; Feder *et al.*, 2000; Tidon, 2006; Santoiemma *et al.*, 2019). Os drosofilídeos que sobreviveram ao período de seca em locais com microclima favorável poderiam atuar como fontes de recolonização de áreas que sofreram extinções locais na estação seca, fornecendo novos indivíduos para a população na estação chuvosa, onde há maior disponibilidade de recursos e condições climáticas favoráveis para aumento da abundância de suas populações em locais anteriormente desfavoráveis. Nas monoculturas avaliadas, os efeitos estressantes da baixa umidade podem ser minimizados devido a irrigação no local. Isso explicaria a presença de *D. suzukii* (agosto no cultivo convencional e outubro no cultivo orgânico) nesses cultivos durante os meses em que a umidade se manteve baixa (**Apêndice, Figura A1b**). A permanência dos morangos durante todos os meses do ano

nas monoculturas, além dos eficientes sistemas de irrigação nesses locais, pode proporcionar condições favoráveis para o incremento das populações de *D. suzukii* futuramente e permitir o seu estabelecimento nesses locais.

Para fins de monitoramento, o índice MAD tem sido utilizado amplamente para verificar a necessidade de intervenção química, para conter o aumento na abundância de moscas nos cultivos (Nava & Botton, 2010). O uso do índice MAD pode ser adequado para estimar o grau de infestação de *D. suzukii* nas plantações e já é utilizado em alguns estudos (Lasa *et al.*, 2019; Papanastasiou *et al.*, 2020). Embora não haja nenhum agrotóxico para *D. suzukii* no Brasil, diversos outros métodos de manejo estão sendo estudados, como a aplicação de técnica do inseto estéril (Krüger *et al.*, 2019; Sassù *et al.*, 2019), controle biológico com parasitoides (Gabarra *et al.*, 2015; Woltering *et al.*, 2019), além da técnica de captura massal do tipo “*Push-pull*” (Wallingford *et al.*, 2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição de espécies de drosofilídeos é um forte indicativo de qualidade ambiental, e seu monitoramento pode nos fornecer informações importantes sobre o ambiente em que elas estão inseridas. Além disso, a avaliação da dinâmica de espécies invasoras em meio a espécies nativas é um fenômeno que merece atenção (Simberloff & Gibbons 2004), pois as espécies invasoras apresentam uma ameaça real aos ambientes em que são inseridas (Gurevitch & Padilla 2004; Molnar *et al.*, 2008). Além disso, períodos longos em que se observa crescimento populacional bem definido podem fornecer informações sobre o estabelecimento e expansão das espécies invasoras no futuro (Crooks, 2005). Em nosso estudo verificamos que em ambientes agrícolas simplificados existe a predominância de espécies exóticas invasoras durante a maioria dos meses do ano, demonstrando a importância dessas espécies invasoras na montagem desses agroecossistemas. A presença de *D. suzukii* nos locais de estudo constitui o relato mais ao norte da região Neotropical, e pode fornecer indicativos negativos sobre o crescimento de suas populações em ambientes de stress ambiental e fisiológicos. Dessa forma recomendamos que sejam realizados estudos de monitoramento de *D. suzukii*, a fim de entender se o comportamento de suas populações no Distrito Federal poderá impactar negativamente as populações nativas de drosofilídeos e a cadeia de produção de frutos locais. Os resultados obtidos nesse estudo fornecem subsídios para a criação de um plano de manejo coordenado entre autoridades sanitárias e produtores rurais, sobre o possível estabelecimento e expansão das populações de *D. suzukii* em áreas cultivadas do Distrito Federal, evidenciando ainda, que áreas com plantio de frutíferas variadas podem fornecer boas condições para a manutenção desses insetos inicialmente.

REFERÊNCIAS

- Aagaard, K., Lockwood, J. (2014), 'Exotic birds show lags in population growth', *Diversity and Distributions*, 20, 547–554.
- Aluja, M., Ordano, M., Guillén, L., Rull, J. (2012) 'Understanding long-term fruit fly (Diptera: Tephritidae) population dynamics: Implications for areawide management', *Journal of Economic Entomology*, 105, 823–836.
- Andreazza, F., Bernardi, D., dos Santos, R.S.S., Garcia, F.R.M., Oliveira, E.E., Botton, M., Nava, D.E. (2017) '*Drosophila suzukii* in Southern Neotropical Region: Current Status and Future Perspectives', *Neotropical Entomology*, 46, 591–605.
- Andreazza, F., Haddi, K., Oliveira, E.E., Ferreira, J.A.M. (2016) '*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Arrives at Minas Gerais State, a Main Strawberry Production Region in Brazil', *Florida Entomologist*, 99, 796–798.
- Asami, D.K., Hong, Y.J., Barrett, D.M., Mitchell, A.E. (2003), 'Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237–1241.
- Asplen, M.K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D.S., Chu, D., Daane, K.M., Gibert, P., Gutierrez, A.P., Hoelmer, K.A., Hutchison, W.D., Isaacs, R., Jiang, Z.L., Kárpáti, Z., Kimura, M.T., Pascual, M., Philips, C.R., Plantamp, C., Ponti, L., Véték, G., Vogt, H., Walton, V.M., Yu, Y., Zappalà, L., Desneux, N. (2015) 'Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities', *Journal of Pest Science*, 88, 469–494.
- Avondet, J.L., Blair, R.B., Berg, D.J., Ebbert, M.A. (2003), 'Drosophila (Diptera: Drosophilidae) Response to Changes in Ecological Parameters Across an Urban Gradient', *Environmental Entomology*, 32, 347–358.
- Azzurro, E., Maynou, F., Belmaker, J., Golani, D., Crooks, J.A. (2016), 'Lag times in Lessepsian fish invasion', *Biological Invasions*, 18, 2761–2772.
- Bächli, G. (2021) TaxoDros: the database on taxonomy of drosophilidae. URL <http://taxodros.unizh.ch/> [accessed on 10 January 2021].
- Batalha, M.A., Martins, F.R. (2004), 'Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil)', *Australian Journal of Botany*, 52, 149–161.
- Bellamy, D. E., Sisterson, M. S., & Walse, S. S. (2013). 'Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*.' *Plos One*, 8, e61227.

- Benito, N.P., Lopes-da-Silva, M., dos Santos, R.S.S. (2016) 'Potential spread and economic impact of invasive *Drosophila suzukii* in Brazil', *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51, 571–578.
- Benton, T. G., Vickery, J. A., & Wilson, J. D. (2003). 'Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?'. *Trends in ecology & evolution*, 18, 182-188.
- Bitner-Mathé, B.C., J. Victorino, F.S. Faria (2014) '*Drosophila suzukii* has been found in tropical Atlantic rainforest in southeastern Brazil' *Drosophila Information Service*, 97, 136 – 137.
- Boughdad, A., Haddi, K., El Bouazzati, A., Nassiri, A., Tahiri, A., El Anbri, C., & Biondi, A. (2021). 'First record of the invasive spotted wing *Drosophila* infesting berry crops in Africa'. *Journal of Pest Science*, 94, 261-271.
- Brown, K.S. (1997), 'Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: Insects as indicators for conservation monitoring', *Journal of Insect Conservation*, 1, 25–42.
- Calabria, G., Máca, J., Bächli, G., Serra, L., Pascual, M. (2012) 'First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe', *Journal of Applied Entomology*, 136, 139–147.
- Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Samways, M. J. (2020). 'Scientists' warning to humanity on insect extinctions'. *Biological Conservation*, 242, 108426.
- Carson, H.L. (1971), 'The ecology of *Drosophila* breeding sites', *The Harold L. Lyon Arboretum Lecture, University of Hawaii*, 2, 1–27.
- Chassagnard, M. T.; Tsacas, L. (1993). 'Le sous-genre *Zaprionus* S. Str.: définition de groupes d'espèces et révision du sous-groupe vittiger (Diptera: Drosophilidae)', *Annales de la Société entomologique de France*. 29, 173-194.
- Chaves, N.B., Tidon, R. (2008), 'Biogeographical aspects of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) of the Brazilian savanna', *Revista Brasileira de Entomologia*, 52, 340–348.
- Chichorro, F., Juslén, A., & Cardoso, P. (2019). 'A review of the relation between species traits and extinction risk'. *Biological Conservation*, 237, 220-229.
- Clavero, M., Garcia-Berthou., E. (2005), 'Invasive species are a leading cause of animal extinctions', *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 17071.
- Codeplan. (2015), 'Agricultura familiar no distrito federal – dimensões e desafios – 'Codeplan, 1–91.
- Conceição, M.H., Jonas, M.F., Albuquerque, O.M.R. (2015), 'Relatos da percepção do agricultor de brazlândia-df sobre o uso de agrotóxicos', *Participação* 29, 55–63.

- Costello, C., Springborn, M., McAusland, C., Solow, A. (2007) 'Unintended biological invasions: Does risk vary by trading partner?', *Journal of Environmental Economics and Management*, 54, 262–276.
- Crooks, J.A. (2005), 'Lag times and exotic species: The ecology and management of biological invasions in slow-motion', *Ecoscience*, 12, 316–329.
- Culik, M.P. and Ventura, J.A. (2009), 'New species of *Rhinoleucophenga*, a potential predator of pineapple mealybugs', *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 417–420.
- Daehler, C.C. (2009), 'Short lag times for invasive tropical plants: Evidence from experimental plantings in Hawai', *Plos One*, 4, 1-5.
- Daszak, P., Cunningham, A.A., Hyatt, A.D. (2000) 'Emerging infectious diseases of wildlife - Threats to biodiversity and human health', *Science*, 287, 443–449.
- David, J. R., Tsacas, L. (1981) 'Cosmopolitan, subcosmopolitan and widespread species: Different strategies within the Drosophilid family (Diptera)', *Compté rendu des séances de la Société de biogéographie*, 57, 11–26.
- David, J., R. Allemand, J. Van Herrewege, Cohet Y. (1983) 'Ecophysiology: Abiotic Factors' *Genetics and biology of Drosophila*, 3, 106-154.
- Deprá, M., Poppe, J.L., Schmitz, H.J., De Toni, D.C., Valente, V.L.S. (2014) 'The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent', *Journal of Pest Science*, 87, 379–383.
- Dias, L.C.P., Pimenta, F.M., Santos, A.B., Costa, M.H., Ladle, R.J. (2016), 'Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture', *Global Change Biology*, 22, 2887–2903.
- Dobzhansky, T., Pavan, C. (1943). 'Chromosome complements of some South-Brazilian species of *Drosophila*. Proceedings of the National' *Academy of Sciences of the United States of America*, 29, 368-375.
- Döge, J. S, Oliveira, H.V., Tidon, R. (2015), 'Rapid response to abiotic and biotic factors controls population growth of two invasive drosophilids (Diptera) in the brazilian savanna', *Biological Invasions*, 17, 2461–2474.
- Döge, J.S., Valente, V.L.S., Hofmann, P.R.P. (2008), 'Drosophilids (Diptera) from an Atlantic Forest Area in Santa Catarina, Southern Brazil', *Revista Brasileira de Entomologia*, 52, 615–624.
- Dos Santos, L. A., Mendes, M. F., Krüger, A. P., Blauth, M. L., Gottschalk, M. S., & Garcia, F. R. (2017). 'Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae)'. *Plos one*, 12, e0174318.
- Eben, A., Reifenrath, M., Briem, F., Pink, S., Vogt, H. (2018), 'Response of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to extreme heat and dryness', *Agricultural and Forest Entomology*, 20, 113–121.

- Emerich, P.P., Valadão, H., Silva, J.R.V.P., Tidon, R. (2012) 'High Abundance of Neotropical Drosophilids (Diptera: Drosophilidae) in Four Cultivated Areas of Central Brazil', *Neotropical Entomology*, 41, 83–88.
- Faleiro, F.G., Mendes, A.C. dos S., Fernandes, P.C.C., Rocha, F.E. de C., Rocha, L.C. da T., Lobato, B.R., Junqueira, N.T.V. (2017), 'A Fruticultura no Distrito Federal: importância, problemas e oportunidades', *Expedição Safra Brasília - Maracujá*, 2, 29–39.
- Feder, M.E., Roberts, S.P. and Bordelon, A.C. (2000), 'Molecular thermal telemetry of free-ranging adult *Drosophila melanogaster*', *Oecologia*, 123, 460–465.
- Ferreira, L.B., Tidon, R. (2005) 'Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization', *Biodiversity and Conservation*, 14, 1809–1821.
- Flynn, D.F.B., Gogol-Prokurat, M., Nogeire, T., Molinari, N., Richers, B.T., Lin, B.B., Simpson, N. (2009), 'Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa', *Ecology Letters*, 12, 22–33.
- Gabarra, R., Riudavets, J., Rodríguez, G.A., Pujade-Villar, J., Arnó, J. (2015), 'Prospects for the biological control of *Drosophila suzukii*', *BioControl*, 60, 331–339.
- Garcia F.R.M. (2020). 'Basis for Area-Wide Management of *Drosophila suzukii* in Latin America'. In: Garcia F.R.M. (eds) *Drosophila suzukii* Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62692-1_5
- Garcia, C.F., Hochmüller, C.J.C., Valente, V.L.S., Schmitz, H.J. (2012), 'Drosophilid Assemblages at Different Urbanization Levels in the City of Porto Alegre, State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil', *Neotropical Entomology*, 41, 32–41.
- Geisler, F. C. S., Santos, J., Holdefer, D. R., & Garcia, F. R. M. (2015). 'Primeiro registro de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) para o estado do Paraná, Brasil e de novos hospedeiros'. *Revista de Ciências Ambientais*, 9, 125-129.
- Goñi, B., Martinez, M., Valente, V., Vilela, C. (1998), 'Preliminary data on the *Drosophila* species (Diptera, Drosophilidae) from Uruguay', *Revista Brasileira de Entomologia*, 42, 131–140.
- González G, Mary AL, Goñi B (2015) '*Drosophila suzukii* (Matsumura) found in Uruguay' *Drosophila Information Service*, 98, 103–107.
- Goodhue, R.E., Bolda, M., Farnsworth, D., Williams, J.C., Zalom, F.G. (2011) 'Spotted wing drosophila infestation of California strawberries and raspberries: Economic analysis of potential revenue losses and control costs', *Pest Management Science*, 67, 1396–1402.
- Gottschalk, M.S., De Toni, D.C., Valente, V.L.S., Hofmann, P.R.P. (2007), "Changes in Brazilian Drosophilidae (Diptera) assemblages across an urbanisation gradient", *Neotropical Entomology*, 36, 848–862.

- Gregory, P.J., Johnson, S.N., Newton, A.C., Ingram, J.S.I. (2009) 'Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate', *Journal of Experimental Botany*, 60, 2827–2838.
- Guédot, C., Avanesyan, A., Hietala-Henschell, K. (2018), 'Effect of temperature and humidity on the seasonal phenology of *Drosophila suzukii* (diptera: Drosophilidae) in wisconsin', *Environmental Entomology*, 47, 1365–1375.
- Guo, J., (2007), 'Bionomics of fruitflies, *Drosophila melanogaster*, damage cherry in Tianshui.', Chinese Bulletin of Entomology, *Department of Chinese Bulletin of Entomology*, 44, 743–745.
- Gurevitch, J., Padilla, D.K. (2004), 'Are invasive species a major cause of extinctions?', *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 470–474.
- Gutierrez, A.P., Ponti, L., Dalton, D.T. (2016), 'Analysis of the invasiveness of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) in North America, Europe, and the Mediterranean Basin', *Biological Invasions*, 18, 3647–3663.
- Hammer, Ø. and Harper, D.A.T. (2008), *Paleontological Data Analysis*, John Wiley & Sons.
- Hauser, M., Gaimari, S. and Damus, M. (2009), '*Drosophila suzukii* new to North America', *Fly Times*, 43, 12–15.
- Hejda, M., Pyšek, P., Jarošík, V. (2009) 'Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities', *Journal of Ecology*, 97, 393–403.
- Henz, G.P., Araújo, T.M., Pereira, S.D.F. (2009), 'Produção de Morango no Distrito Federal', *Embrapa Hortaliças*, 1–88.
- Hill, M.P., Hoffmann, A.A., Macfadyen, S., Umina, P.A., Elith, J. (2012) 'Understanding niche shifts: using current and historical data to model the invasive redlegged earth mite, *Halotydeus destructor*', *Diversity and Distributions*, 18, 191–203.
- Hobbs, R. J., Higgs, E., & Harris, J. A. (2009). 'Novel ecosystems: implications for conservation and restoration'. *Trends in ecology & evolution*, 24, 599-605.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., (2008), 'Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy', *Journal of Applied Ecology*, 45, 403–414.
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P. (2008) 'Global trends in emerging infectious diseases', *Nature*, 451, 990–993.
- Junge-Berberović, R. (1996), 'Effect of thermal environment on life histories of free living *Drosophila melanogaster* and *D. subobscura*', *Oecologia*, 108, 262–272.
- Kawase, S., Uchino, K., Yasuda, M., Motoori, S. (2008), 'Netting control of cherry drosophila *Drosophila suzukii* injurious to blueberry [Vaccinium]', *Bulletin of the Chiba Prefectural Agriculture Research Center (Japan)*.

- Kindt, R., Coe, R. (2005), 'Tree Diversity Analysis. A Manual and Software for Common Statistical Methods for Ecological and Biodiversity Studies', World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi (Kenya), available at: <http://www.worldagroforestry.org/output/tree-diversity-analysis>.
- Kindt, R., Van Damme, P., Simons, A.J. (2006), 'Tree diversity in western Kenya: Using profiles to characterise richness and evenness', *Biodiversity and Conservation*, 15, 1253–1270.
- Klink, C. a., Klink, C. a., Machado, R.B. and Machado, R.B. (2005), 'A conservação do Cerrado brasileiro', *Megadiversidade*, 1, 147–155.
- Krebs, C. (1989), 'Ecological methodology', *Har-per Collins Publishers*.
- Krüger, A.P., Schlesener, D.C.H., Martins, L.N., Wollmann, J., Deprá, M., Garcia, F.R.M. (2019), 'Radiation effects on *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) reproductive behaviour', *Journal of Applied Entomology*, 143, 88–94.
- Kwadha, C. A., Okwaro, L. A., Kleman, I., Reherrmann, G., Revadi, S., Ndlela, S., Becher, P. G. (2021). 'Detection of the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, in continental sub-Saharan Africa'. *Journal of Pest Science*, 94, 251-259.
- Landolt, P.J., Adams, T., Rogg, H. (2012) 'Trapping spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), with combinations of vinegar and wine, and acetic acid and ethanol', *Journal of Applied Entomology*, 136, 148–154.
- Larkin, D.J. (2012), 'Lengths and correlates of lag phases in upper-Midwest plant invasions', *Biological Invasions*, 14, 827–838.
- Lasa, R., Toledo-hern, R.A., Rodr, D., Williams, T. (2019), 'Raspberry as a Source for the Development of *Drosophila suzukii* Attractants: Laboratory and Commercial Polyunnel Trials'. *Insects*, 10, 137.
- Leão, B., Roque, F., Deus, P., Tidon, R. (2017) 'What happens when exotic species arrive in a new area? The case of drosophilids (Diptera) in the Brazilian Savanna', *Drosophila Information Service*, 100, 65–69.
- Lee, J.C., Bruck, D.J., Dreves, A.J., Ioriatti, C., Vogt, H., Baufeld, P. (2011), 'In Focus: Spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, across perspectives', *Pest Management Science*, 67, 1349–1351.
- Lee, J.C., Dreves, A.J., Cave, A.M., Kawai, S., Isaacs, R., Miller, J.C., Timmeren, S. Van, (2015), 'Infestation of wild and ornamental noncrop fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)', *Annals of the Entomological Society of America*, 108, 117–129.
- Lee, J.C., Shearer, P.W., Barrantes, L.D., Beers, E.H., Burrack, H.J., Dalton, D.T., Dreves, A.J., Gut, L.J., Hamby, K.A., Haviland, D.R., Isaacs, R., Nielsen, A.L., Richardson, T., Rodriguez-Saona, C.R., Stanley, C.A., Walsh, D.B., Walton, V.M., Yee, W.L., Zalom, F.G., Bruck, D.J. (2013) 'Trap designs for monitoring drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae)', *Environmental Entomology*, 42, 1348–1355.

- Lindenmayer, D. B., Fischer, J., Felton, A., Crane, M., Michael, D., Macgregor, C., Hobbs, R. J. (2008). 'Novel ecosystems resulting from landscape transformation create dilemmas for modern conservation practice'. *Conservation Letters*, 1, 129-135.
- Lodge, D.M., Williams, S., MacIsaac, H.J., Hayes, K.R., Leung, B., Reichard, S., Mack, R.N., (2006), 'Biological invasions: Recommendations for U.S. policy and management', *Ecological Applications*, 16, 2035–2054.
- Lopes, H.R.D., Alves, R.T., Soares, J.R.R., Oliveira, N. de M.P. (2019), 'A Cultura do Morangueiro no Distrito Federal', *Emater-DF*, 1-99.
- Louzeiro, L.R.F., Souza-Filho, M.F., Bulgarelli, C.A. (2019), "Infestation of *Malpighia emarginata* (Malpighiaceae) by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in São Paulo State, Brazil", *Florida Entomologist*, 102, 645–648.
- Markow, T.A., O'Grady, P. (2008), 'Reproductive ecology of *Drosophila*', *Functional Ecology*, 22, 747–759.
- Marvier, M., Kareiva, P. and Neubert, M.G. (2004), 'Habitat destruction, fragmentation, disturbance promote invasion by habitat generalists in a multispecies metapopulation', *Risk Analysis*, 24, 869–878.
- Mata, R.A., McGeoch, M., Tidon, R. (2008a) 'Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna', *Biodiversity and Conservation*, 17, 2899–2916.
- Mata, R.A., McGeoch, M., Tidon, R., (2010a). 'Drosophilids (Insecta, Diptera) as tools for conservation biology.' *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8, .60-65.
- Mata, R.A., Roque, F., Tidon, R. (2008b) 'Drosophilids (Insecta, Diptera) of the Paraná Valley: Eight new records for the Cerrado biome', *Biota Neotropica*, 8, 55–60.
- Mata, R.A., Roque, F., Tidon, R. (2015b) 'Measuring the variability of the drosophilid assemblages associated with forests of the Brazilian savanna across temporal and spatial scales', *Natureza e Conservação*, 13, 166–170.
- Mata, R.A., Santos, G.A., Uehara-Prado, M., Tidon, R. (2014), 'Improving sampling protocol for assessing drosophilid diversity: spatial independence and sample size', *Drosophila Information Service*, 97, 161-162.
- Mata, R.A., Tidon, R., Côrtes, L.G., de Marco, P., Diniz-Filho, J.A.F. (2010b) 'Invasive and flexible: Niche shift in the drosophilid *Zaprionus indianus* (Insecta, Diptera)', *Biological Invasions*, 12, 1231–1241.
- Mata, R.A., Valadão, H., Tidon, R. (2015a). Dynamic of drosophilids larval assemblages associated to fruits. *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 50–57.
- Mateus, R.P., Buschini, M.L.T., Sene, F.M. (2006), 'The *Drosophila* community in xerophytic vegetations of the upper Parana-Paraguay river basin', *Brazilian Journal of Biology*, 66, 719–729.

- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J. (1997), 'Agricultural Intensification and Ecosystem Properties', *Science, American Association for the Advancement of Science*, 277, 504–509.
- Matsumura, S. (1931), "6000 illustrated insects of Japan-empire".
- McKinney, M. L., & Lockwood, J. L. (1999). 'Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction'. *Trends in ecology & evolution*, 14, 450-453.
- McLaughlan, C., Gallardo, B., Aldridge, D.C. (2014) 'How complete is our knowledge of the ecosystem services impacts of Europe's top 10 invasive species?', *Acta Oecologica*, 54, 119–130.
- Medeiros, H. F. D., Klaczko, L. B. (2004). 'How many species of drosophila (Diptera, Drosophilidae) remain to be described in the forests of São Paulo, Brazil? Species lists of three forest remnants.' *Biota Neotropica*, 4, 01-12.
- Medeiros, M.A., Togni, P.H.B., Souza, É.S.H., Pires, C. (2011), 'Principios E Practicas Ecologicas Para O Manejo De Insetos-Pragas Na Agricultura', *Emater-DF*, 1, 1-44.
- Medina-Muñoz, M.C., Lucero, X., Severino, C., Cabrera, N., Olmedo, D., Pino, F. Del, Alvarez, E., Jara, C., Godoy-Herrera, R. (2015) 'Drosophila suzukii arrived in Chile', *Drosophila Information Service*, 98, 136–137.
- Melo, A.S. (2008), 'O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?', *Biota Neotropica*, 8, 21–27.
- Mendes, M.F., Valer, F.B., Vieira, J.G.A., Blauth, M.L., Gottschalk, M.S. (2017), 'Diversity of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in the Restinga forest of southern Brazil', *Revista Brasileira de Entomologia*, 61, 248–256.
- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C., Spalding, M.D. (2008), 'Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 485–492.
- Monteiro, L.S., Garcia, A.C.L., Oliveira, G.F., Rohde, C. (2016), "High Diversity of Drosophilidae in High-Altitude Wet Forests in Northeastern Brazil", *Neotropical Entomology*, 45, 265–273.
- Mooney, H.A., Cleland, E.E. (2001), 'The evolutionary impact of invasive species', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 5446–5451.
- Morimoto, J., Pietras, Z. (2020) 'Natural history of model organisms: The secret (group) life of Drosophila melanogaster larvae and why it matters to developmental ecology', *Ecology and Evolution*, 10, 13593–13601.
- Morimoto, N., Kiritani, K., Yamamura, K., Yamanaka, T. (2019), 'Finding indications of lag time, saturation and trading inflow in the emergence record of exotic agricultural insect pests in Japan', *Applied Entomology and Zoology*, 54, 437–450.

- Myers, N., Kent, J. (2003), 'New consumers: The influence of affluence on the environment', *Proceedings of the National Academy of Sciences, National Academy of Sciences*, 100, 4963–4968.
- Narayanan, A. S., Rothenfluh, A. (2016) 'I believe I can Fly!: Use of drosophila as a model organism in neuropsychopharmacology research', *Neuropsychopharmacology. Nature Publishing Group*, 41, 1439–1446.
- Nava, D.E., Botton, M. (2010), 'Bioecologia e Controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro.', *Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa*, 315, 29.
- Nevo, E., Rashkovetsky, E., Pavlicek, T. and Korol, A. (1998), 'A complex adaptive syndrome in *Drosophila* caused by microclimatic contrasts', *Heredity*, 80, 9–16.
- Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F. M., Berg, M. P., Bonada, N., Briones, M. J., ... & Santos, A. M. (2018). 'Research trends in ecosystem services provided by insects'. *Basic and Applied Ecology*, 26, 8-23.
- Nunney, L. (1990), 'Drosophila on oranges: colonization, competition, and coexistence', *Ecology*, 71, 1904–1915.
- Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H.U., Besson, J.M., Dubois, D., Mäder, P., Roth, H.R., et al. (2002), 'Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming', *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62, 25–35.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., (2019), 'vegan: Community Ecology Package', available at: <https://cran.r-project.org/package=vegan>.
- Olden, J.D., Poff, N.L.R., Douglas, M.R., Douglas, M.E., Fausch, K.D. (2004), 'Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization', *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 18–24.
- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R. (2014) 'Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture', *Crop Protection*, 56, 50–54.
- Oro, D., Genovart, M., Tavecchia, G., Fowler, M. S., & Martínez-Abraín, A. (2013). 'Ecological and evolutionary implications of food subsidies from humans'. *Ecology letters*, 16, 1501-1514.
- Papanastasiou, S.A., Rodovitis, V.G., Bataka, E.P., Verykouki, E., Papadopoulos, N.T. (2020), 'Population dynamics of *Drosophila suzukii* in coastal and mainland sweet cherry orchards of Greece', *Insects*, 11, 1–19.
- Parkash, R., & Yadav, J. P. (1993). 'Geographical Clinal Variation at Seven Esterase-Coding Loci in Indian Populations of *Zaprionus indianus*' *Hereditas*, 119, 161-170.
- Parsons, P.A. (1991) 'Biodiversity conservation under global climatic change the insect *Drosophila* as a biological indicator'. *Global Ecology and Biogeography Letters*. 1, 77–83.

- Parsons, P.A., (1995) 'Evolutionary response to drought stress: conservation implications', *Biological Conservation*, 74, 21-27.
- Paula, M.A., Lopes, P.H.S., Tidon, R. (2014) 'First record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian Savanna', *Drosophila Information Service*, 97, 113–115.
- Perrings, C., Dehnen-Schmutz, K., Touza, J., Williamson, M. (2005) 'How to manage biological invasions under globalization', *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 212–215.
- Pinheiro, F., Diniz, I.R., Coelho, D., Bandeira, M.P.S. (2002), 'Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado', *Austral Ecology*, 27, 132–136.
- Pope, J.L., Da Silva Valente, V.L., Dos Santos, J.P.J., Gottschalk, M.S. (2016) 'A new species of the genus *Rhinoleucophenga* (Diptera: Drosophilidae) and redescription of five species from Neotropical region', *Zootaxa*, 4208, 261–281.
- Pope, J.L., Valente, V.L. da S., Schmitz, H.J. (2012), 'Structure of Drosophilidae assemblage (Insecta, Diptera) in Pampa Biome (São Luiz Gonzaga, RS)', *Papeis Avulsos de Zoologia*, 52, 185–195.
- Powell, J.R. (1997) 'Progress and Prospects in Evolutionary Biology: The *Drosophila* Model', *Oxford University Press*.
- Ramos, D.L., Ramos, P.D.F.F., Carvalheiro, L.G. (2017) 'Research Notes The invasive *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) uses native plant species of the Brazilian savanna as hosts' *Drosophila Information Service*, 100, 2016–2018.
- Ramos, D. L., Cunha, W. L., Evangelista, J., Lira, L. A., Rocha, M. V. C., Gomes, P. A., Frizzas, M. R., & Togni, P. H. B. (2020). 'Ecosystem Services Provided by Insects in Brazil: What Do We Really Know?' *Neotropical Entomology*, 49, 783–794.
- Rodrigues, J.L.M., Pellizari, V.H., Mueller, R., Baek, K., Jesus, E. C., Paula, F.S., Mirza, B., (2013), 'Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 988–993.
- Roque, F., Mata, R. A., Tidon, R. (2013). 'Temporal and vertical drosophilid (Insecta; Diptera) assemblage fluctuations in a neotropical gallery forest.' *Biodiversity and conservation*, 22, 657-672.
- Roque, F., Matavelli, C., Lopes, P.H.S., Machida, W.S., Von Zuben, C.J., Tidon, R. (2017) 'Brazilian Fig Plantations Are Dominated by Widely Distributed Drosophilid Species (Diptera: Drosophilidae)', *Annals of the Entomological Society of America*, 110, 521–527.
- Roque, F., Mencarini, L. and Tidon, R. (2015), 'Revised list of drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna', *Drosophila Information Service*, 98, 70–74.
- Saavedra, C.C.R., Jacques, S.C., Napp, M., Valente, V.L.S., (1995) 'A descriptive and analytical study of four neotropical drosophilid communities'. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 33, 62-74.

- Sano, E.E., Rosa, R., Brito, J.L.S. & Ferreira, L.G. (2010). 'Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil'. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 113–124.
- Santadino, M.V., Virgala, M.B.R., Bruno, M., Di Silvestro, G., Lunazzi, E.G., (2015) 'First record of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberry (*Vaccinium* spp.) from Argentina' *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 74, 183-185.
- Santoiemma, G., Trivellato, F., Caloi, V., Mori, N. and Marini, L. (2019), 'Habitat preference of *Drosophila suzukii* across heterogeneous landscapes', *Journal of Pest Science*, 92, 485–494.
- Santos, L.A., Mendes, M.F., Krüger, A.P., Blauth, M.L., Gottschalk, M.S., Garcia, F.R.M. (2017). 'Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae)'. *Plos One*, 12, 1–13.
- Santos, R.S.S. (2014), 'Ocorrência de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931), (Diptera: Drosophilidae) Atacando Frutos de Morango no Brasil', *Comunicado Técnico159, Embrapa*, 1–4.
- Sasaki, M., Sato, R. (1995), 'Bionomics of the cherry drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) in Fukushima prefecture [Japan], 2: Overwintering and number of generations', *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan (Japan)*.
- Sassù, F., Nikolouli, K., Pereira, R., Vreysen, M.J.B., Stauffer, C., Cáceres, C. (2019), 'Irradiation dose response under hypoxia for the application of the sterile insect technique in *Drosophila suzukii*', *Plos One*, 14, 1–14.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., Esker, P., McRoberts, N., Nelson, A. (2019) 'The global burden of pathogens and pests on major food crops', *Nature Ecology and Evolution*, 3, 430–439.
- Scaramuzza, M, C. A., Sano, E. E., Adami, M., Bolfe, E. L., Coutinho, A. C., Esquerdo, J. C. D. M., ... & Gustavo, B. S. (2017). 'Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images'. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69, 6.
- Schmitz, H. J., Hofmann, P. R., & Valente, V. L. (2010). 'Assemblages of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) in mangrove forests: community ecology and species diversity'. *Iheringia. Série Zoologia*, 100, 133-140.
- Silva, N.M., da Fantinel, C.C., Valente, V.L.S., Valiati, V.H. (2005), 'Population dynamics of the invasive species *Zaprionus indianus* (Gupta) (Diptera: Drosophilidae) in communities of drosophilids of Porto Alegre city, Southern of Brazil', *Neotropical Entomology*, 34, 363–374.
- Simberloff, D., Gibbons, L. (2004), 'Now you see them, now you don't! - Population crashes of established introduced species', *Biological Invasions*, 6, 161–172.

- Simberloff, D., Martin, J.L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D.A., Aronson, J., Courchamp, F., (2013), 'Impacts of biological invasions: What's what and the way forward', *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 58–66.
- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., (2019), 'Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 16442–16447.
- Steck, G.J., Dixon, W., Dean, D. (2015), 'Spotted Wing Drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsurumura) (Diptera: Drosophilidae), a fruit pest new to North America', *Pest Alerts*, 1–3.
- Strassburg, B. B., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., ... & Balmford, A. (2017). 'Moment of truth for the Cerrado hotspot'. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 1-3.
- The Economist (2010) Brazil's agricultural miracle: how to feed the world (edition 2010, August 26), <http://www.economist.com/node/16889019> .
- Tidon, R. (2006) 'Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations', *Biological Journal of the Linnean Society*, 87, 233–247.
- Tidon, R., Leite, D.F., Leão, B.F.D. (2003) 'Impact of the colonisation of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the neotropical region: 2 Years after the invasion', *Biological Conservation*, 112, 299–305.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. and Polasky, S. (2002), 'Agricultural sustainability and intensive production practices', *Nature*, 418, 671–677.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., (2001), 'Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change', *Science*, 292, 281–284.
- Tochen, S., Woltz, J.M., Dalton, D.T., Lee, J.C., Wiman, N.G., Walton, V.M. (2016), 'Humidity affects populations of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in blueberry', *Journal of Applied Entomology*, 140, 47–57.
- Torres, F.R., Madi-Ravazzi, L. (2006) 'Seasonal variation in natural populations of *Drosophila spp.* (Diptera) in two woodlands in the State of São Paulo, Brazil', *Iheringia - Serie Zoologia*, 96, 437–444.
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). 'Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management'. *Ecology letters*, 8, 857-874.
- Val, F.C. & Sene, F.M. (1980) 'A newly introduced *Drosophila* species in Brazil (Diptera, Drosophilidae)' *Papéis Avulsos de Zoologia*, 33,293-298.

- Val, F.C. (1982) 'Male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: notes and illustrations', *Papeis avulsos de zoologia*, 34, 309-347.
- Valadão, H., Proença, C. E., Kuhlmann, M. P., Harris, S. A., Tidon, R. (2019). 'Fruit-breeding drosophilids (Diptera) in the Neotropics: playing the field and specialising in generalism?' *Ecological Entomology*, 44, 721-737.
- Van Kleunen, M., Weber, E. and Fischer, M. (2010), 'A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species', *Ecology Letters*, 13, 235–245.
- Van Timmeren, S. and Isaacs, R. (2014), '*Drosophila suzukii* in Michigan vineyards, and the first report of *Zaprionus indianus* from this region', *Journal of Applied Entomology*, 138, 519–527.
- Vilela, C.R. (1983) 'Revision of the *Drosophila repleta* species group (Diptera, Drosophilidae)', *Revista Brasileira de Entomologia*, 27, 1-114.
- Vilela, C.R. (1999), "Is *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) currently colonizing the neotropical region", *Drosophila Information Service*, 82, 37–38.
- Vilela, C.R., Bächli, G. (1990) 'Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera).', *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 63, 1-332
- Vilela, C.R., Goñi, B. (2015), 'Is *Drosophila nasuta* Lamb (Diptera, Drosophilidae) currently reaching the status of a cosmopolitan species?', *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 346–350.
- Vilela, C.R., Mori, L. (2014) 'The invasive spotted-wing *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) has been found in the city of São Paulo (Brazil)', *Revista Brasileira de Entomologia*, 58, 371–375.
- Vilela, C.R., Silva, A.F.G., Sene, F. de M. (2002) 'Preliminary data on the geographical distribution of *Drosophila* species within morphoclimatic domains of Brazil. III. The cardini group', *Revista Brasileira de Entomologia*, 46, 139–148.
- Wallingford, A.K., Cha, D.H., Loeb, G.M. (2018), 'Evaluating a push–pull strategy for management of *Drosophila suzukii* Matsumura in red raspberry', *Pest Management Science*, 74, 120–125.
- Walsh, D.B., Bolda, M.P., Goodhue, R.E., Dreves, A.J., Lee, J., Bruck, D.J., Walton, V.M., (2011), '*Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential', *Journal of Integrated Pest Management*, 2, 3–9.
- Westphal, M.I., Browne, M., MacKinnon, K., Noble, I. (2008) 'The link between international trade and the global distribution of invasive alien species', *Biological Invasions*, 10, 391–398.

- Weydert, C. and Mandrin, J.F. (2013), 'Le ravageur émergent *Drosophila suzukii*: situation en France et connaissances acquises en verger (2ème partie)', *Infos CTIFL*, 292, 32–40.
- Wheeler, M.R. (1981), 'The Drosophilidae: A taxonomic overview', *The Genetics and Biology of Drosophila*, Academic Press, 3, 1–97.
- Wheeler, M.R. (1987), 'Drosophilidae', *Manual of Nearctic Diptera*, Canadian Government Publishing, Hull Quebec, Canada, 2, 1011–1018.
- Wickham, H. (2016), *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, Springer-Verlag New York, available at: <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Winkler, A., Jung, J., Kleinhenz, B. and Racca, P. (2020), 'A review on temperature and humidity effects on *Drosophila suzukii* population dynamics', *Agricultural and Forest Entomology*, 22, 179–192.
- Woltering, S.B., Romeis, J., Collatz, J. (2019), 'Influence of the rearing host on biological parameters of *Trichopria drosophilae*, a potential biological control agent of *Drosophila suzukii*', *Insects*, 10, 183.
- Yang, C.H., Belawat, P., Hafen, E., Jan, L.Y. & Jan, Y.N. (2008) 'Drosophila egg-laying site selection as a system to study simple decision-making processes' *Science*, 319, 1679–1683.
- Yuzuki, K., Tidon, R. (2020) 'Identification key for drosophilid species (Diptera, Drosophilidae) exotic to the Neotropical Region and occurring in Brazil', *Revista Brasileira de Entomologia*, 64, 1–9.
- Zanuncio-Junior, J. S., Fornazier, M. J., Andreazza, F., Culik, M. P., Mendonça, L. D. P., Oliveira, E. E., Ventura, J. A. (2018). 'Spread of two invasive flies (Diptera: Drosophilidae) infesting commercial fruits in southeastern Brazil'. *Florida Entomologist*, 101, 522-525.

APÊNDICES

Tabela A1: Cálculo do índice MAD sobre *Drosophila suzukii* coletadas no cultivo orgânico de morangos, convencional de morangos e mistos de frutos, localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 a junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

Cultivo	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Abril	Maiο	Junho
Orgânico	0	0	0	0.05	0.0	0.10	0.05	0	0.10	0	0
Convencional	0	0.05	0	0.10	0	0.19	0	0.10	0	0	0
Misto	0	0	0	0	0	0.05	0.10	0.38	1.38	0	0

Tabela A2: Composição, abundância relativa e absoluta de espécies drosofilídeos coletados no cultivo orgânico de morangos localizados em Brazlândia (15° 40' S 48° 09' W), Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

Espécies	Total	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Abril	Mai	Junho
<i>Drosophila simulans</i> *	571	22	166	69	19	25	42	69	48	8	18	85
<i>Drosophila busckii</i> *	241	0	17	14	1	6	39	5	0	6	146	7
<i>Zaprionus indianus</i> *	215	4	2	1	0	4	22	172	2	8	0	0
<i>Drosophila cardini</i>	175	0	0	0	0	5	25	10	28	12	77	18
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i> *	141	0	0	0	0	0	7	75	21	36	2	0
<i>Drosophila nebulosa</i>	50	0	0	0	0	1	16	3	12	18	0	0
<i>Drosophila mercatorum</i>	40	0	0	0	0	0	6	9	7	7	10	1
<i>Drosophila paranaensis</i>	31	0	0	0	0	0	5	10	0	1	15	0
<i>Drosophila nasuta</i> *	17	0	0	0	0	0	0	15	2	0	0	0
<i>Drosophila paranaensis</i>	17	0	0	0	0	0	0	2	2	0	10	3
<i>Drosophila marlerkotliana</i> *	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
<i>Drosophila hydei</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	2
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i>	7	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
<i>Drosophila suzukii</i> *	6	0	0	0	1	0	2	1	0	2	0	0
<i>Rhinoleucophenga obesa</i>	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Drosophila flexa</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Drosophila cuaso</i>	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Drosophila mediosignata</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Abundância total	1543	27	185	84	22	41	168	372	128	113	284	119
Riqueza	18	3	3	3	4	5	12	12	11	11	9	8

*Espécies exóticas

Tabela A3: Composição, abundância relativa e absoluta de espécies drosofilídeos coletados no cultivo convencional de morangos localizados em Brazlândia (15° 37' S 48° 06' W), Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

Espécies	Total	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Abril	Maió	Junho
<i>Drosophila simulans</i> *	1099	30	385	41	46	48	157	285	50	4	12	41
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i> *	241	0	0	0	0	0	1	1	206	31	2	0
<i>Drosophila cardini</i>	192	2	5	0	0	0	9	5	87	12	45	27
<i>Drosophila paraguayensis</i>	100	0	0	0	0	0	0	0	76	17	5	2
<i>Drosophila busckii</i> *	81	3	0	0	0	0	0	0	45	14	15	4
<i>Drosophila nasuta</i> *	62	0	0	0	0	0	0	0	60	1	1	0
<i>Zaprionus indianus</i> *	59	7	3	7	0	5	5	9	15	7	1	0
<i>Drosophila mercatorum</i>	45	0	3	0	0	0	1	3	29	2	7	0
<i>Drosophila nebulosa</i>	37	1	0	0	2	2	6	1	24	1	0	0
<i>Drosophila marlerkotliana</i> *	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
<i>Drosophila suzukii</i> *	9	0	1	0	2	0	4	0	2	0	0	0
<i>Drosophila paranaensis</i>	8	2	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i>	8	0	2	3	2	0	0	0	0	0	1	0
<i>Drosophila hydei</i>	5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	2
<i>Drosophila flexa</i>	4	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0
<i>Drosophila cuaso</i>	3	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
<i>Drosophila buzzatii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Drosophila polymorfa</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Drosophila repleta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abundância Total	1966	45	405	51	52	55	184	307	608	90	92	77
Riqueza	18	6	8	3	4	3	8	7	14	10	12	5

*Espécies exóticas

Tabela A4: Composição, abundância relativa e absoluta de espécies drosofilídeos coletados no cultivo misto de frutos localizados em Gama (16° 00' S ;48° 12' W), Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020 (coletas mensais, com exceção de março de 2020).

Espécies	Total	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Abril	Mai	Junho
<i>Drosophila marlerkotliana*</i>	3036	0	0	0	0	0	0	814	1407	366	38	0
<i>Zaprionus indianus*</i>	886	19	213	4	10	25	128	150	90	152	36	16
<i>Rhinoleucophenga lopesi</i>	628	75	33	39	36	9	45	160	92	64	17	39
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis*</i>	533	0	0	0	0	0	0	94	123	50	37	0
<i>Drosophila simulans*</i>	278	61	35	7	7	8	110	20	4	3	9	10
<i>Drosophila nasuta*</i>	277	0	0	0	0	0	0	102	70	70	5	0
<i>Drosophila nebulosa</i>	274	1	7	0	4	19	39	21	54	42	2	0
<i>Drosophila paranaensis</i>	183	22	64	3	5	2	4	6	4	12	18	40
<i>Drosophila mercatorum</i>	90	0	0	0	0	1	6	6	21	27	11	15
<i>Drosophila cardini</i>	75	3	1	0	0	0	10	3	23	11	12	0
<i>Drosophila suzukii*</i>	48	0	0	0	0	0	1	2	8	29	0	0
<i>Drosophila repleta</i>	37	6	8	0	3	0	0	0	4	4	1	11
<i>Drosophila stultervanti</i>	24	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Drosophila hydei</i>	10	1	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0
<i>Drosophila paraguayensis</i>	6	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0
<i>Rhinoleucophenga obesa</i>	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Drosophila busckii*</i>	3	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Drosophila atrata</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Drosophila buzzatii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Drosophila flexa</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Abundância total	6396	192	361	55	65	64	343	1379	1906	835	194	131
Riqueza	20	10	8	6	6	6	8	12	14	16	13	6

*Espécies exóticas

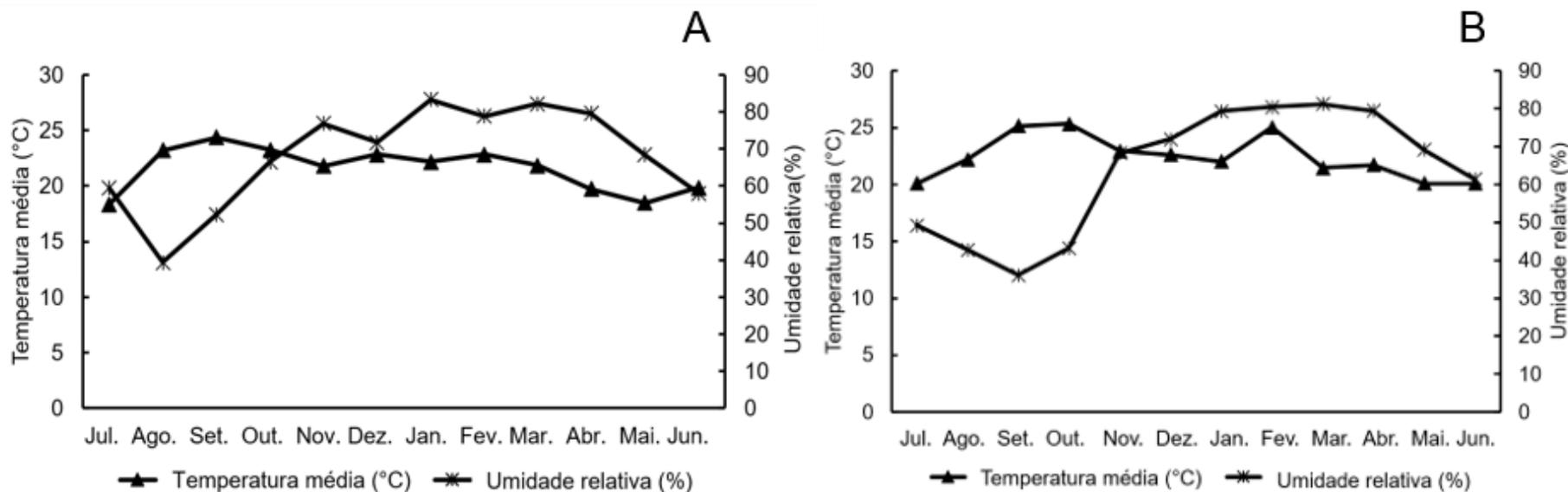


Figura A1: Variação temporal da temperatura média (°C) e umidade relativa do ar nos cultivos localizados em Brazlândia (cultivo orgânicos e convencional) e Ponte Alta do Gama (cultivo misto), Distrito Federal, entre julho de 2019 e junho de 2020. Os dados climáticos para a região do cultivo misto (A) foram obtidos através de uma estação climática localizada à 11 km do local de estudo e os dados obtidos para as monoculturas (B) foram obtidos através de uma estação climática localizada à 9,1 km do cultivo orgânico e 3,8 km do cultivo convencional (<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>).