



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TAINAH GUERRA SANTOS

**FLUTUAÇÃO SAZONAL DA MOSCA INVASORA *Drosophila nasuta* (Diptera,
Drosophilidae) NA FLORESTA ATLÂNTICA DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

Recife
2023

TAINAH GUERRA SANTOS

FLUTUAÇÃO SAZONAL DA MOSCA INVASORA *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) NA FLORESTA ATLÂNTICA DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Cristina Lauer Garcia

Recife,
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Tainah Guerra.

Flutuação sazonal da mosca invasora *Drosophila nasuta* (Diptera,
Drosophilidae) na Floresta Atlântica do Rio de Janeiro, Brasil / Tainah Guerra
Santos. - Recife, 2023.

28 p. : il., tab.

Orientador(a): Ana Cristina Lauer Garcia

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2023.

1. Angra dos Reis. 2. Invasão biológica. 3. Insetos. I. Garcia, Ana Cristina
Lauer . (Orientação). II. Título.

590 CDD (22.ed.)

TAINAH GUERRA SANTOS

FLUTUAÇÃO SAZONAL DA MOSCA INVASORA *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) NA FLORESTA ATLÂNTICA DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Cristina Lauer Garcia (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Martín Alejandro Montes (Examinador 1)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Ma. Tereza Cristina dos Santos Leal Martins (Examinador 2)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

AGRADECIMENTOS

Faço esse texto agradecendo não só àqueles que diretamente contribuíram para produção deste trabalho, mas a todos que fizeram parte da minha trajetória como graduanda em ciências biológicas. Inicialmente, agradeço pela confiança da profa. Ana Cristina, que abriu espaço na sua pesquisa para minha breve contribuição e me ofereceu apoio em todo processo, ganhando minha admiração e respeito. Aos demais integrantes do GPEGE, em especial ao prof. Martín Montes, Tereza Cristina e Vinícius Santos, que estiveram presentes no meu treinamento. Também, a Éderson Oliveira da UFRJ, por ter realizado as coletas que tornaram esse estudo possível.

Agradeço às oportunidades e aprendizados que adquiri ao longo da graduação através da equipe do LAGEA, do MEGAMAR, da FBJC, do Museu de Oceanografia da UFPE e da AQUASIS. Ainda, ao prof. Enrico Bernard, que vejo como referência de biólogo, professor e pessoa e por quem tenho enorme admiração.

Acredito que títulos sem histórias não passam de palavras vazias e tenho a sorte de ter em meu “bacharel” memórias e amigos que guardarei com muito carinho. Sou grata pelos estresses em trabalhos e (muitas) fofocas que compartilhei com Geisa Maria, Débora Brígida, João Victor, Ingrid Moura e Leonardo Carvalho. Pelos momentos de alegria em meio ao caos que vivi com Antônio de Pádua, Eduardo Albuquerque, Victor Alves, Anna Cláudia e Kariellen Ribeiro. Também, pelo companheirismo e felicidade contagiante de Paulo Ricardo.

Finalmente, agradeço à grande rede de apoio que é a minha família, principalmente a minha avó e Leda, que compartilham diariamente das minhas conquistas e frustrações e a quem devo tudo que sou e virei a ser. A minha amiga com quem divido felicidades e lamentações desde o Ensino Fundamental, Lethícia Leão. E, por último, às minhas ratas Lilith e Eda, que me dão trabalho e alegria enormes.

RESUMO

Espécies invasoras representam uma ameaça crescente à biodiversidade, economia e saúde humana. Nos últimos anos, o número de insetos invasores no mundo aumentou, incluindo as moscas da família Drosophilidae. Um dos casos mais recentes de invasão dessa família no Brasil é a mosca asiática *Drosophila nasuta* que, em uma década de invasão, já ocupa cerca de 2,5 milhões km² no país. Nesse estudo foi avaliado o potencial de invasão de *D. nasuta* na Floresta Atlântica de Angra dos Reis, Rio de Janeiro. Quatro eventos de coleta, igualmente distribuídos entre os períodos de menor e maior pluviosidade, foram realizados em Angra dos Reis entre 2021 e 2022. No total, 563 drosofilídeos foram morfológicamente identificados como *D. nasuta*, representando 10,24% do total amostrado. A presença da espécie em todos meses de coleta, com abundâncias relativamente altas, demonstrou seu sucesso adaptativo na região. Não foi verificada preferência sazonal na abundância de *D. nasuta*, diferenciando do padrão relatado para a porção norte da Floresta Atlântica e para o Cerrado, onde a espécie é mais numerosa na estação chuvosa. A ausência de déficits hídricos acentuados e temperaturas mais amenas ao longo do ano em Angra dos Reis podem ter influenciado esse resultado.

Palavras-chave: Angra dos Reis; Invasão biológica; Insetos.

ABSTRACT

Invasive species pose a growing threat to biodiversity, economy, and human health. In recent years, the number of invasive insects in the world has increased, including the flies from the family Drosophilidae. One of the most recent cases of invasion by this family in Brazil is the Asian fly *Drosophila nasuta*, which, in a decade of invasion, already occupies about 2.5 million km² in the country. In this study, the invasion potential of *D. nasuta* was evaluated in the Atlantic Forest of Angra dos Reis, Rio de Janeiro. Four collection events, equally distributed between periods of lower and higher rainfall, were carried out in Angra dos Reis between 2021 and 2022. In total, 563 drosophilids were morphologically identified as *D. nasuta*, representing 10.24% of the total sampled. The presence of the fly in all collection months, with relatively high abundance, demonstrated the species' adaptive success in the region. No seasonal preference in the abundance of *D. nasuta* was observed, unlike the pattern reported for the northern portion of the Atlantic Forest and the Cerrado, where the species is more numerous in the rainy season. The absence of pronounced water deficits and milder temperatures throughout the year in Angra dos Reis may have influenced this result.

Keywords: Angra dos Reis; Biological invasion; Insects.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 A problemática das invasões biológicas.....	10
2.2 Drosofilídeos invasores no Brasil.....	12
2.3 <i>Drosophila nasuta</i> no Brasil.....	13
3 OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo geral.....	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 Área de estudo.....	17
4.2 Coleta, identificação e análises.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992), uma espécie é considerada exótica quando é introduzida, de forma voluntária ou involuntária, em um local diferente de sua distribuição natural. Se essa espécie expande sua distribuição no novo hábitat, ameaçando a biodiversidade, serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano, ela passa a ser considerada uma espécie invasora (PEJCHAR; MOONEY, 2009). No contexto ecológico, essas espécies podem causar a extinção de espécies nativas e contribuir para a homogeneização biótica (MUTHUKRISHNAN *et al.*, 2020; SIMBERLOFF *et al.*, 2013). Algumas invasões biológicas afetam diretamente a qualidade de vida humana, seja causando perdas econômicas na ordem de bilhões de dólares por ano mundialmente (DIAGNE *et al.*, 2021), ou agindo como vetores de patógenos ou causadoras de doenças (MAZZA *et al.*, 2014).

Fatores como a expansão das vias de introdução de espécies invasoras, bem como o aumento da susceptibilidade à invasão de habitats degradados e/ou modificados, contribuem para o crescimento das invasões biológicas nos últimos anos, incluindo aquelas provocadas por insetos (SAGE *et al.*, 2020; VENETTE; HUTCHISON, 2021).

Além de ameaçarem a biodiversidade nativa em diversas regiões do mundo (KENIS *et al.*, 2009; KOOP *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2013), muitos insetos invasores são pragas agrícolas que causam grandes perdas econômicas e impacto à segurança alimentar (RAGHUTEJA *et al.*, 2022; SILESHI *et al.*, 2019), ou ainda são vetores de patógenos de doenças amplamente combatidas, como Dengue, Zika, Febre Amarela e Chikungunya (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994; HEINISCH *et al.*, 2019; HONÓRIO *et al.*, 2015).

Dentro da classe Insecta, estão as pequenas moscas da família Drosophilidae, formadas por cerca de 4.700 espécies (BÄCHLI, 2023). No Brasil, somente nos últimos 25 anos, quatro invasões por drosofilídeos foram detectadas: *Zaprionus indianus* Gupta (VILELA, 1999), *Drosophila suzukii* Matsumura (DEPRÁ *et al.*, 2014), *Drosophila nasuta* Lamb (VILELA; GOÑI, 2015) e *Zaprionus tuberculatus* Malloch (CAVALCANTI *et al.*, 2021). Algumas dessas espécies tornaram-se dominantes em diversos biomas do país (COUTINHO-SILVA *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2016; SANTA-BRÍGIDA *et al.*, 2017) e têm causado perdas econômicas

significativas no setor agrícola (AMIRESMAEILI *et al.*, 2019; ROQUE *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017).

A mosca *Drosophila nasuta* é nativa da região sul da Ásia (KITAGAWA *et al.*, 1982) e já foi detectada em diversos países da África subsaariana, em ilhas do oceano Índico, no arquipélago do Havaí e, mais recentemente, na América (BÄCHLI, 2023; GARCIA *et al.*, 2021). Seu primeiro registro no Brasil ocorreu em 2015, numa região de Floresta Atlântica da cidade de São Paulo (VILELA; GOÑI, 2015). Em seguida, foi noticiada na Floresta Atlântica do Rio de Janeiro, em Itatiaia (BATISTA *et al.*, 2016b). Desde então, a espécie ampliou seu registro para o Cerrado (LEÃO *et al.*, 2017), porção norte da Floresta Atlântica (SILVA *et al.*, 2020), arquipélago de Fernando de Noronha (RAFAEL *et al.*, 2020), Caatinga (MONTES *et al.*, 2021) e Floresta Amazônica (MEDEIROS *et al.*, 2022).

Em menos de uma década de invasão, *D. nasuta* ocupa uma área estimada em 2,5 milhões km² no território brasileiro (MEDEIROS *et al.*, 2022). Ao contrário de outros drosofilídeos invasores no Brasil, *D. nasuta* apresenta preferência por áreas de vegetação conservada em comparação com áreas antropizadas (OLIVEIRA, 2021; SILVA *et al.*, 2020) e maior abundância durante a estação chuvosa (OLIVEIRA, 2021), quando as espécies de drosofilídeos nativos são mais abundantes (COUTINHO-SILVA *et al.*, 2017). Dada sua rápida expansão geográfica e os possíveis efeitos negativos sobre a fauna de drosofilídeos nativos, a invasão biológica de *D. nasuta* no Brasil é motivo de preocupação.

O monitoramento de espécies invasoras é imprescindível para o manejo e a mitigação dos possíveis impactos ecológicos, econômicos ou na saúde provocados por esses organismos (LATOMBE *et al.*, 2017). Nesse estudo, foi avaliado, pela primeira vez, o sucesso adaptativo da espécie invasora *D. nasuta* na Floresta Atlântica de Angra dos Reis, no Rio de Janeiro. Também se buscou elucidar os padrões sazonais dessa espécie nesse local e compará-los com os relatados para outras áreas de ocorrência desse drosofilídeo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A problemática das invasões biológicas

Espécies exóticas são consideradas invasoras quando, uma vez introduzidas em áreas fora de suas distribuições naturais, conseguem espalhar-se rapidamente por distâncias substanciais (PYSEK; RICHARDSON, 2010), afetando a biodiversidade, serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano (PEJCHAR *et al.*, 2009). Blackburn *et al.* (2019), utilizando dados da IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza), demonstraram que as invasões biológicas são o principal fator responsável pela extinção de espécies de animais nos últimos 500 anos.

Nas últimas décadas, a extensão territorial de espécies invasoras tem aumentando rapidamente, tornando as invasões biológicas uma preocupação global eminente (HULME, 2021; SEEBENS *et al.*, 2017). Esse incremento tem sido atribuído, principalmente, à expansão nas vias de introdução de espécies invasoras, mediadas, especialmente, pela ação humana, e a adequabilidade de habitats propícios ao estabelecimento desses organismos (SEEBENS *et al.*, 2018; VENETTE; HUTCHISON, 2021). O crescente movimento de pessoas e mercadorias através do globo tem expandido as rotas de entrada de espécies exóticas em diferentes regiões, sendo o comércio internacional considerado o principal colaborador desse processo (HULME *et al.*, 2009; SMITH *et al.*, 2009). Aliado a isso, a progressiva modificação e degradação dos ambientes naturais contribuem para o estabelecimento das espécies invasoras nos ecossistemas invadidos (SAGE *et al.*, 2019).

As espécies invasoras podem trazer diversos problemas para a biodiversidade local, sobretudo pela alteração de interações pré-existentes entre organismos e ambiente (SIMBERLOFF *et al.*, 2013). Por normalmente apresentarem vantagens competitivas e ausência de predadores naturais, essas espécies podem causar a extinção de espécies nativas (DICKEY *et al.*, 2018). Esse processo contribui para a homogeneização biótica, ou seja, a redução da distinção na composição de espécies entre comunidades diferentes (MUTHUKRISHNAN *et al.*, 2020).

Além dos problemas ecológicos, as invasões biológicas têm consequências para a economia e a saúde humana. Espécies invasoras são responsáveis por perdas substanciais em bens, serviços e capacidade de produção (DIAGNE *et al.*, 2021). Em países como o Brasil, com alta produção agrícola, muitas espécies invasoras são consideradas “pestes agrícolas”, causando perdas anuais bilionárias e impactando negativamente a segurança alimentar (PAINI *et al.*, 2016). Na saúde, as espécies invasoras podem agir como vetores de patógenos, causadoras de doenças, expor humanos a ferimentos por mordida/picada, biotoxinas ou alérgenos, entre outros mecanismos prejudiciais ao bem-estar humano (MAZZA *et al.*, 2014).

Os insetos compõem o grupo mais diversificado do planeta, sendo formados por mais de 5,5 milhões de espécies (STORK, 2018). Além da elevada riqueza, esses animais também se destacam pelo grande número de relatos e danos causados por espécies invasoras (BROCKERHOFF; LIEBHOLD, 2017). Elevadas perdas nas plantações de milho na África são atribuídas à lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda*, nativa do continente americano (SILESHI *et al.*, 2019). A invasão da formiga sul-americana *Solenopsis invicta* na América do Norte ameaça populações nativas de diversos invertebrados e vertebrados, além de afetar propriedades químicas e físicas do solo (KENIS *et al.*, 2009). A mosca *Philornis downsi* tem se apresentado como uma ameaça para as espécies de tentilhões das ilhas Galápagos onde foi introduzida (FESSL; TEBBICH, 2002; KOOP *et al.*, 2021). O besouro *Dendroctonus valens*, nativo da América do Norte e Central, é responsável por destruir grandes áreas de pinheiros na China (SUN *et al.*, 2013). Os mosquitos *Aedes aegypti* e *A. albopictus*, de origem africana e asiática, respectivamente, podem ser transmissores do vírus da Dengue, Zika, Febre Amarela e Chikungunya, de grande preocupação para a saúde pública do Brasil (CONSOLI e OLIVEIRA, 1994; HEINISCH *et al.*, 2019; HONÓRIO *et al.*, 2015).

O intenso processo de fragmentação e destruição dos ecossistemas naturais (BANKS-LEITE *et al.*, 2020) e a propensão desses habitats a novas invasões biológicas (SAGE *et al.*, 2020) tornam urgentes as investigações voltadas ao monitoramento dessas áreas em relação à chegada e aos impactos provocados pelas invasões biológicas, incluindo aquelas causadas por insetos.

2.2 Drosofilídeos invasores no Brasil

Os drosofilídeos, conhecidos popularmente por moscas-do-vinagre, são insetos pertencentes à família Drosophilidae, uma das mais diversas da ordem Diptera, com aproximadamente 4.700 espécies (BÄCHLI, 2023). Características como ciclo de vida curto, prole numerosa e rápida resposta às mudanças ambientais permitiram o sucesso dos drosofilídeos na maioria dos climas e biomas terrestres (DUARTE *et al.*, 2018; ROCHA *et al.*, 2013).

No Brasil, há 14 espécies de drosofilídeos invasores (CAVALCANTI *et al.*, 2021; TIDON *et al.*, 2023), sendo as mais recentes *Zaprionus tuberculatus* Malloch (CAVALCANTI *et al.*, 2021), *Drosophila nasuta* Lamb (VILELA; GOÑI, 2015), *Drosophila suzukii* Matsumura (DEPRÁ *et al.*, 2014) e *Zaprionus indianus* Gupta (VILELA, 1999). Essas espécies já foram encontradas em diversos ambientes no país, como na Floresta Atlântica (COUTINHO-SILVA *et al.*, 2017), Floresta Amazônica (SANTA-BRÍGIDA *et al.*, 2017), Cerrado (LEÃO *et al.*, 2017), Caatinga (OLIVEIRA *et al.*, 2016) e Pampas (POPPE *et al.*, 2016), ocorrendo tanto em locais alterados por atividades humanas, quanto em áreas protegidas (YUZUKI; TIDON, 2020). A abundância relativa dos drosofilídeos invasores pode ser afetada por diferentes fatores, especialmente a sazonalidade climática e características fitofisionômicas (COUTINHO-SILVA *et al.*, 2017; MATA *et al.*, 2015).

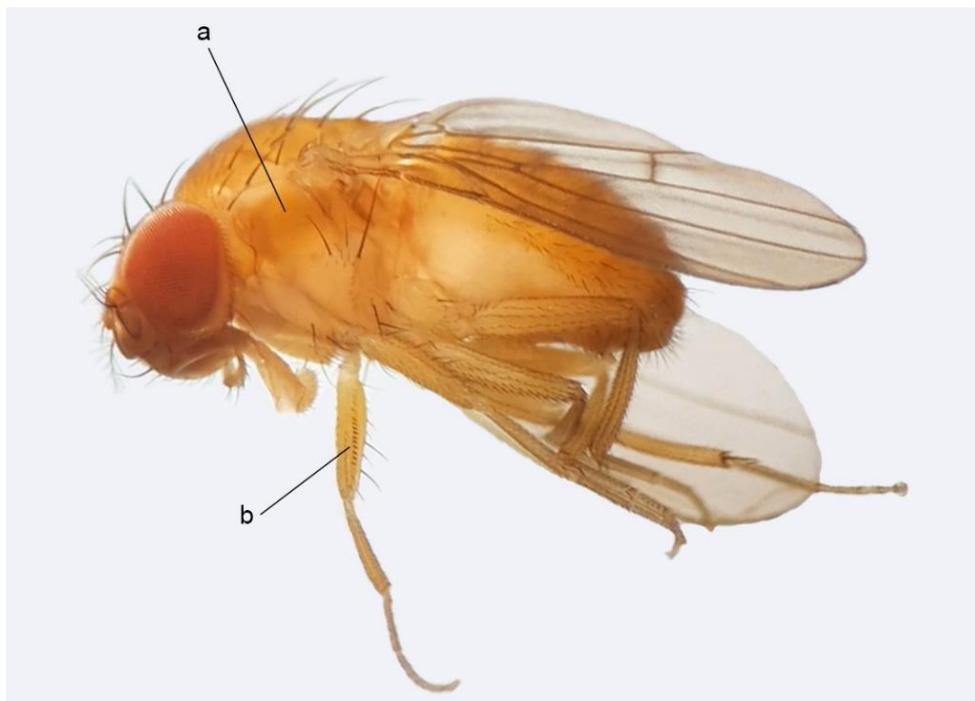
Em relação aos impactos provocados pelos drosofilídeos invasores no Brasil, destacam-se os prejuízos às plantações de figo ocasionadas pela espécie africana *Z. indianus*, especialmente nas regiões Sul e Sudeste do país (ROQUE *et al.*, 2017). A mosca asiática *D. suzukii* também é responsável por perdas agrícolas em lavouras de morango e cereja no sul do Brasil. Assim como ocorre com *Z. indianus*, seu ovipositor possibilita a perfuração de frutos intactos quando estes ainda estão nas plantas, os quais são utilizados para deposição de seus ovos (ATALLAH *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2017). *Zaprionus tuberculatus* é o drosofilídeo de invasão mais recente no Brasil, tendo sido registrado no Cerrado (CAVALCANTI *et al.*, 2021) e, mais recentemente, na Floresta Atlântica (MATEUS; MACHADO, 2022). Estudos demonstraram que *Z. tuberculatus* deposita seus ovos preferencialmente em frutos danificados por pragas primárias como *D. suzukii*, aumentando os prejuízos econômicos para a fruticultura (AMIRESMAEILI *et al.*, 2019).

Embora não seja praga para a fruticultura do Brasil, a invasão da espécie asiática *D. nasuta* é preocupante por sua rápida expansão geográfica no território brasileiro e sua possível ameaça para a fauna de drosofilídeos nativos (MEDEIROS *et al.*, 2022). No próximo tópico serão abordados alguns aspectos taxonômicos e a importância dessa espécie no contexto da biologia da invasão.

2.3 *Drosophila nasuta* no Brasil

Drosophila nasuta (Figura 1) pertence ao subgrupo *nasuta*, incluído no grupo *immigrans* do gênero *Drosophila* (WILSON *et al.*, 1969). A espécie pode ser identificada pela cor clara do corpo, a presença de uma faixa longitudinal marrom na metade da área dorsal da pleura e uma fileira de cerdas cuneiformes no lado anteroventral do fêmur das patas dianteiras, além de características da terminália dos insetos (VILELA; GOÑI, 2015). Essa mosca é nativa da região sul da Ásia (KITAGAWA *et al.*, 1982) e invasora em diversos países da África subsaariana, em ilhas do oceano Índico, no arquipélago do Havaí e, mais recentemente, na América (GARCIA *et al.*, 2021).

Figura 1 – Vista lateral de um macho de *Drosophila nasuta*, destacando algumas características morfológicas utilizadas na sua identificação. a. Faixa longitudinal marrom na pleura, b. Fileira de cerdas cuneiformes no fêmur.



Fonte: A autora (2023).

No Brasil, o primeiro registro de *D. nasuta* ocorreu na ecorregião da Serra do Mar, na porção sul da Floresta Atlântica localizada na cidade de São Paulo (VILELA; GOÑI, 2015). Logo em seguida, entre 2015 e 2016, a espécie foi encontrada no Parque Nacional do Itatiaia, Unidade de Conservação que se localiza na mesma ecorregião supracitada, no estado do Rio de Janeiro (BATISTA et al., 2016b). Leão et al. (2017) anunciaram a invasão de *D. nasuta* no Cerrado, em Brasília, entre 2013 e 2016. Nesse estudo, foi relatado o sucesso da espécie em colonizar áreas de florestas em comparação com a vegetação de cerrado *sensu strictu*. Os autores também verificaram os maiores picos de abundância de *D. nasuta* durante a estação chuvosa, o que também é observado em áreas onde a espécie é nativa (SRINATH; SHIVANNA, 2014).

A partir de amostragens de drosofilídeos realizadas entre 2015 e 2016 na porção norte da Floresta Atlântica em Pernambuco, Silva et al. (2020) detectaram a rápida expansão geográfica de *D. nasuta* no Brasil e sua elevada abundância em algumas amostragens, superando 40% dos drosofilídeos coletados. Nesse estudo, os autores compararam a abundância de drosofilídeos entre uma área de vegetação nativa, uma área de plantação de bambus e outra de eucaliptos, observando a preferência de *D. nasuta* pela área de floresta nativa. Este mesmo padrão de preferência por ambientes conservados em comparação com áreas antropizadas também tem sido relatado em outra área de invasão no continente africano (DAVID et al., 2014).

Ainda no nordeste brasileiro, *D. nasuta* foi registrada no arquipélago de Fernando de Noronha (RAFAEL et al., 2020) e em diversos municípios inseridos no bioma Caatinga, onde se apresentou mais abundante, especialmente, nos locais com maiores níveis de precipitação (MONTES et al., 2021). Recentemente, foi relatada a invasão de *D. nasuta* na Floresta Amazônica a partir de amostragens realizadas em 2017 (MEDEIROS et al., 2022). A compilação da área de ocorrência da espécie no Brasil totaliza mais de 2,5 milhões km² em menos de uma década de sua invasão neste território (MEDEIROS et al., 2022). A alta fertilidade, o ciclo de vida curto e a habilidade de utilizar diferentes recursos tróficos podem estar relacionados ao sucesso adaptativo de *D. nasuta* nas áreas invadidas (MONTES et al., 2021; NAGARAJAN et al., 2016).

Na Floresta Atlântica de Pernambuco, o padrão sazonal de drosofilídeos foi estudado antes da chegada de *D. nasuta*, com registro de maior abundância de

espécies nativas em comparação com as exóticas na estação chuvosa e o padrão inverso na estação seca (COUTINHO-SILVA *et al.*, 2017). Depois da chegada de *D. nasuta*, a abundância de drosofilídeos nativos está reduzindo nesta região, especialmente na estação chuvosa, quando *D. nasuta* tem se tornado mais abundante (OLIVEIRA, 2021). Deste modo, devido a sua rápida expansão geográfica, sua possível preferência por áreas de vegetação conservada e prováveis efeitos negativos sobre espécies nativas, é urgente a necessidade de monitorar esta invasão biológica, bem como conhecer seu padrão sazonal em diferentes áreas da Floresta Atlântica.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o sucesso adaptativo e a oscilação sazonal de *Drosophila nasuta* na Floresta Atlântica do Rio de Janeiro.

3.2 Objetivos específicos

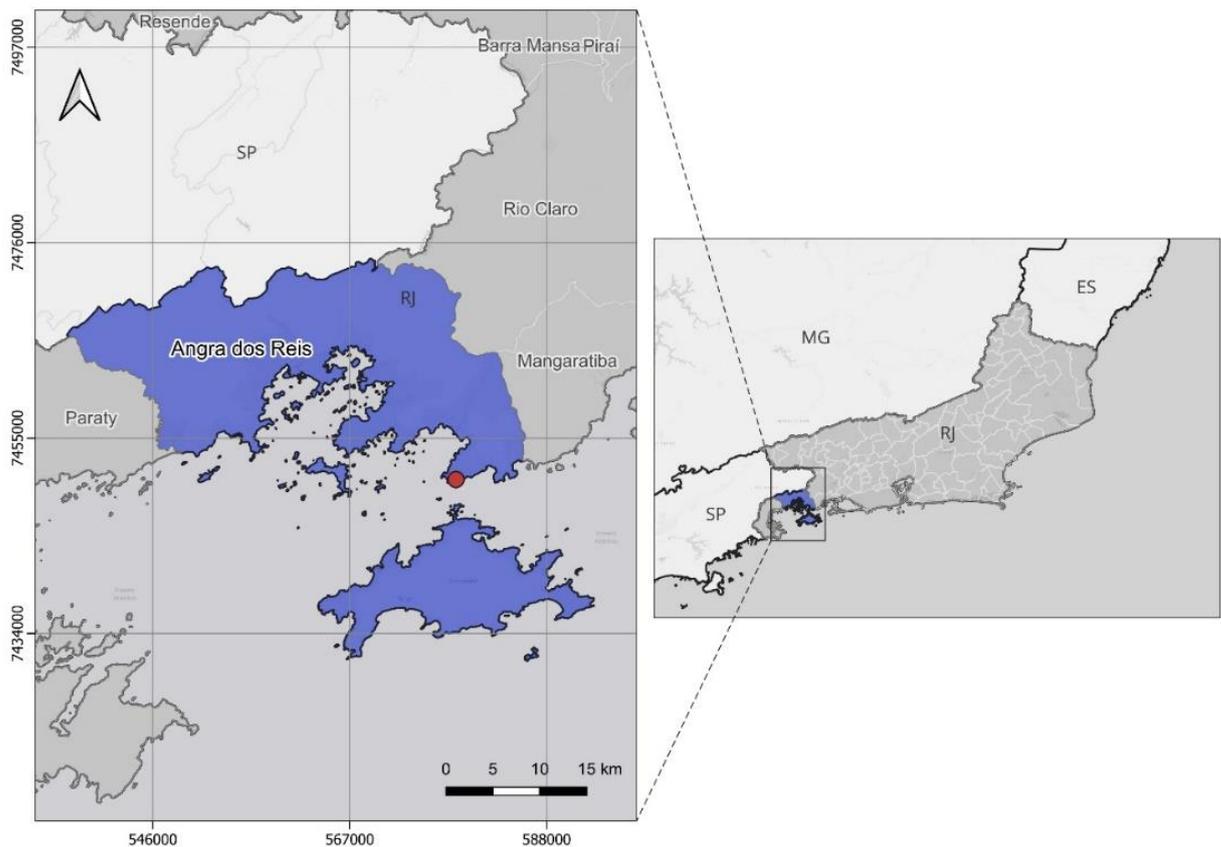
- Identificar o potencial de invasão de *Drosophila nasuta* através de sua abundância na assembleia de drosofilídeos na Floresta Atlântica de Angra dos Reis, RJ.
- Avaliar a preferência sazonal de *D. nasuta* em períodos de maior e menor pluviosidade na Floresta Atlântica de Angra dos Reis, RJ.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Drosofilídeos adultos foram coletados, entre os meses de junho de 2021 e janeiro de 2022, em uma área de aproximadamente 1.000 hectares de Floresta Atlântica no município de Angra dos Reis, litoral sul do estado do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 2). O município é caracterizado pelo contraste entre as regiões montanhosas da Serra do Mar e as áreas litorâneas (BATISTA et al., 2016a), predominando a formação de Floresta Ombrófila Densa (VELOSO et al., 1991).

Figura 2 – À direita, mapa parcial da região Sudeste do Brasil com a localização do estado do Rio de Janeiro (RJ). O retângulo destacado na imagem, ampliada à esquerda, indica a localização do município de Angra dos Reis, em azul. O círculo vermelho indica o local onde foram realizadas as amostragens de drosofilídeos do presente estudo (23°03'06"S, 44°14'07"O).



Fonte: A autora (2023).

A proximidade do mar Atlântico e a presença da Serra do mar contribuem para alta umidade e precipitação características desta região, cujo clima é classificado como Af (KÖPPEN, 1948), ou seja, clima tropical úmido sem estação

seca bem definida. A temperatura anual média é de 23,2°C e a precipitação anual média varia entre 2000 e 2500 mm, apresentando alta pluviosidade durante o verão (dezembro a março) e menor nos meses de inverno (junho a agosto) (ZHANG; CHENG, 2022). Os volumes de chuva mensais, correspondentes aos meses avaliados no presente estudo, foi obtido a partir dos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

4.2 Coleta, identificação e análises

Foram realizados quatro eventos de coleta de drosofilídeos entre 2021 e 2022, divididos igualmente entre os períodos de menor pluviosidade (junho e julho de 2021) e de maior pluviosidade (dezembro de 2021 e janeiro de 2022). Em cada amostragem foram utilizadas dez armadilhas confeccionadas com garrafas plásticas (Figura 3), contendo banana amassada como isca (TIDON; SENE, 1988).

Figura 3 - Armadilha para captura de drosofilídeos.



Fonte: Ana Cristina Lauer Garcia (2023).

As armadilhas foram suspensas em árvores a 1,5 metro do solo e distribuídas por trilhas com distância mínima de 30 metros e afastadas por pelo menos 50 metros da borda da floresta, visando reduzir o efeito de borda. Após três dias, os

drosofilídeos capturados em cada armadilha foram recolhidos e transferidos para tubos plásticos (um tubo para cada armadilha) com etanol absoluto, onde permaneceram armazenados até a identificação.

Os drosofilídeos coletados foram identificados em duas categorias: *D. nasuta* e outras espécies de drosofilídeos. A identificação de espécimes de *D. nasuta* foi realizada nas dez amostragens obtidas para cada mês de coleta, totalizando 40 amostragens. Para a identificação da espécie, seguiu-se as descrições de Vilela e Goñi (2015) e Silva *et al.* (2020).

Para avaliar a preferência sazonal de *D. nasuta* entre os períodos de maior e menor pluviosidade e dentro das estações, foi realizado o teste chi-quadrado (χ^2), executado no programa BioEstat, versão 5.3 (AYRES *et al.*, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram capturados 5.497 drosofilídeos nas quatro coletas realizadas, dos quais 563 foram identificados morfológicamente como *D. nasuta*. A espécie esteve presente em todos os meses amostrados, com abundância sempre superior a 110 indivíduos (Tabela 1). Esse resultado representa o segundo registro de *D. nasuta* no estado do Rio de Janeiro, a uma distância de 79 km do local de ocorrência mais próximo, o Parque Nacional do Itatiaia (BATISTA *et al.*, 2016). Tem-se, ainda, o primeiro monitoramento do *status* dessa invasão após sete anos do anúncio da chegada de *D. nasuta* na Floresta Atlântica do Rio de Janeiro (BATISTA *et al.*, 2016).

Tabela 1 – Abundância de *Drosophila nasuta* e de outros drosofilídeos em amostras coletadas entre junho de 2021 e janeiro de 2022 na Floresta Atlântica em Angra dos Reis (Rio de Janeiro, Brasil). Os valores de precipitação mensal estão indicados para todos os meses avaliados.

	Jun/21	Jul/21	Dez/21	Jan/22
Precipitação total (mm)	157.1	82.8	138.5	344.4
<i>D. nasuta</i>	155	118	171	119
Outras espécies	1038	1193	1248	1455
Total	1193	1311	1419	1574

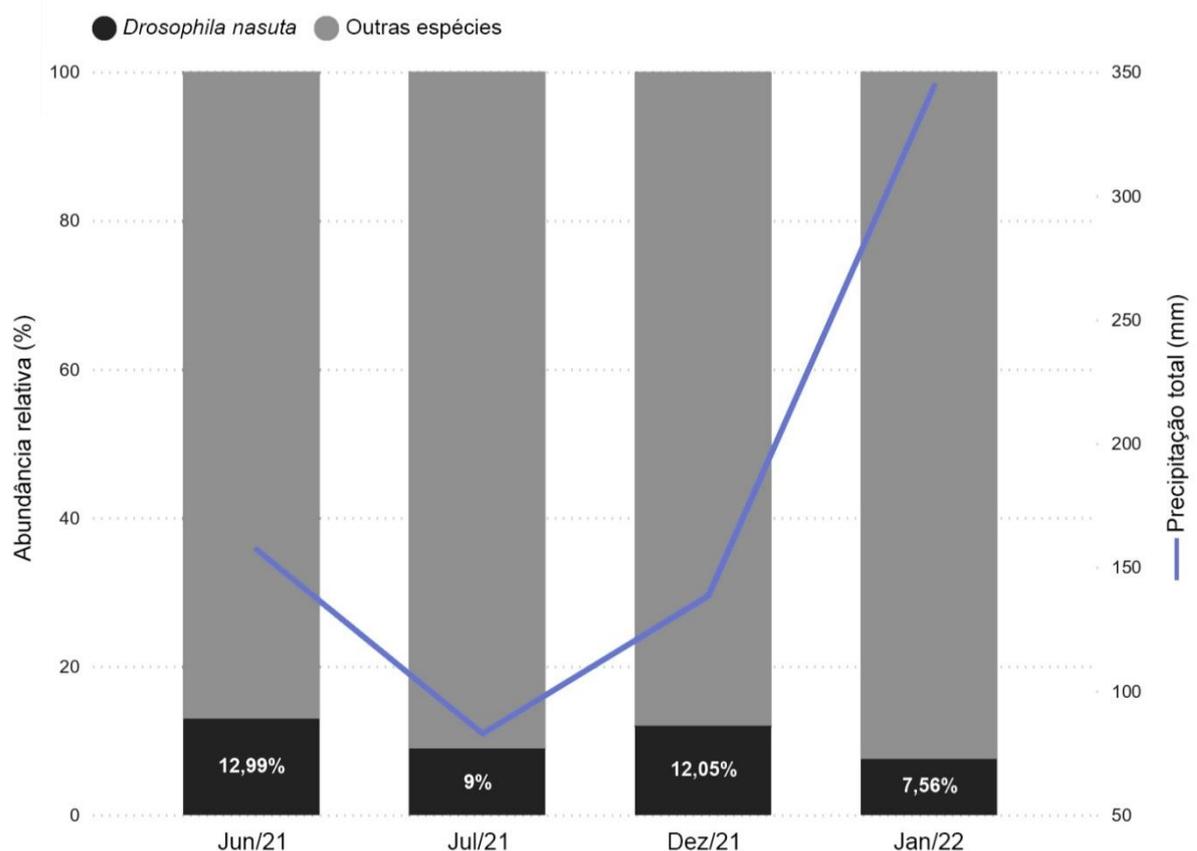
Fonte: A autora (2023).

A frequência total da espécie de *D. nasuta* (10,24%) superou a observada por Vilela e Goñi (2015) em um fragmento da Floresta Atlântica na cidade de São Paulo e foi similar àquelas observadas na porção norte desse bioma em Pernambuco (OLIVEIRA, 2021; SILVA *et al.*, 2020), demonstrando o sucesso adaptativo de *D. nasuta* em todas regiões de Floresta Atlântica estudadas até o presente. A abundância total foi próxima, também, daquelas relatadas para a estação chuvosa no Cerrado (LEÃO *et al.*, 2017) e em regiões de Caatinga arbórea (MONTES *et al.*, 2021). Entre os biomas brasileiros com registros de *D. nasuta*, a sua abundância foi inferior a 7% somente na Floresta Amazônica, onde atingiu apenas 2% dos drosofilídeos coletados (MEDEIROS *et al.*, 2022).

A abundância relativa de *D. nasuta* permaneceu consideravelmente alta em todos os meses investigados, variando de 7,56% no mês de janeiro, a 12,99% em

junho (Gráfico 1), inferindo-se que a invasão da espécie nessa região foi bem-sucedida.

Gráfico 1 – Abundância relativa de *Drosophila nasuta* e de outras espécies de drosofilídeos e precipitação mensal na Floresta Atlântica de Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil, nos meses avaliados no presente estudo.



Fonte: A autora (2023).

Em relação à sazonalidade, não foi detectada preferência significativa de *D. nasuta* pela estação com maior ou menor precipitação ($\chi^2= 2.183$, $df = 1$, $P= 0.1519$). Observa-se, por exemplo, que a abundância relativa da espécie foi similar durante a estação com menor precipitação em junho (12,99%) e na estação mais chuvosa em dezembro (12,5%), (Gráfico 1). Diferenças significativas na abundância de *D. nasuta* foram observadas apenas dentro dos períodos de menor ($\chi^2= 10.245$, $df = 1$, $P < 0.0001$) e maior pluviosidade ($\chi^2= 17.196$, $df = 1$, $P < 0.0001$).

No Cerrado e na porção norte da Floresta Atlântica, onde há predominância de climas com estações secas e chuvosas bem definidas, *D. nasuta* apresentou preferência por períodos de maior pluviosidade (LEÃO *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2021). Esse padrão também foi observado na Índia, onde a espécie é nativa

(PRAKASH; RAMACHANDRA, 2008; SRINATH; SHIVANNA, 2014). Estudos de modelagem preditiva para a distribuição global de *D. nasuta* indicam que as variáveis ambientais relacionadas à maior pluviosidade são as que mais influenciam na distribuição da espécie (GARCIA *et al.*, 2021), reforçando a provável preferência de *D. nasuta* por locais e períodos com maiores índices pluviométricos.

Diferentemente do Cerrado e da Caatinga, que apresentam estação seca com ausência total ou quase total de chuvas em alguns meses, a estação de maior estiagem em Angra dos Reis não apresenta déficits hídricos tão acentuados (ZHANG e CHENG, 2022), o que pode ter influenciado na falta de um padrão sazonal para *D. nasuta* nesse estudo. Comparativamente à porção da Floresta Atlântica localizada na região Nordeste, em Angra dos Reis as temperaturas ao longo do ano são mais amenas e a estação seca apresenta maiores volumes pluviométricos, o que pode favorecer a menor oscilação de abundância de *D. nasuta* ao longo dos meses do ano nessa área do bioma.

Dado o potencial adaptativo de *D. nasuta* na Floresta Atlântica, o monitoramento da espécie neste bioma deve ser acompanhado considerando os riscos das espécies invasoras para o equilíbrio ecossistêmico. Essa questão torna-se ainda mais urgente quando consideramos a importância da Floresta Atlântica como um *hotpost* para a conservação da biodiversidade.

6 CONCLUSÃO

Após sete anos do anúncio da chegada da mosca invasora *Drosophila nasuta* na Floresta Atlântica do Rio de Janeiro, o presente estudo acessou o *status* da invasão da espécie na região, apontando alta abundância desse drosofilídeo durante todos os meses amostrados e demonstrando que essa invasão foi bem-sucedida. A abundância relativa aqui observada foi similar às observadas em regiões de Caatinga arbórea, na porção norte da Floresta Atlântica e no Cerrado. No entanto, diferentemente do relatado nas duas últimas localidades, a oscilação da população de *D. nasuta* em Angra dos Reis não demonstrou padrão sazonal. A ausência de déficits hídricos acentuados e temperaturas mais amenas ao longo do ano na região podem ter influenciado esse resultado, uma vez que a preferência da espécie por maiores índices pluviométricos tem sido relatada na literatura.

Drosophila nasuta vem demonstrando alto potencial adaptativo em diferentes biomas do Brasil, incluindo a Floresta Atlântica, o que representa um risco para a fauna de drosofilídeos nativos do país. Assim, é essencial o monitoramento contínuo da espécie, visando a compreensão de aspectos ecológicos nos ecossistemas invadidos e a mitigação dos possíveis impactos causados por esta invasão biológica.

REFERÊNCIAS

- AMIRESMAEILI, N. *et al.* Can exotic drosophilids share the same niche of the invasive *Drosophila suzukii*? **Journal of Entomological and Acarological Research**, v. 51, n. 1, 2019.
- ATALLAH, J. *et al.* The making of a pest: The evolution of a fruit-penetrating ovipositor in *Drosophila suzukii* and related species. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1781, 2014.
- AYRES, M. *et al.* BioEstat 5.3 v: aplicação estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. **Sociedade Civil Mamirauá**, Brazil, 2011.
- BÄCHLI, G. **The database on taxonomy of Drosophilidae**. Taxodros. Disponível em: <http://www.taxodros.unizh.ch>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- BANKS-LEITE, C. *et al.* Countering the effects of habitat loss, fragmentation, and degradation through habitat restoration. **One Earth**, v. 3, n. 6, p. 672–676, 2020.
- BATISTA, J. *et al.* Climatologia no Entorno da Central Nuclear de Angra dos Reis, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 298–310, 2016a.
- BATISTA, M. R. *et al.* Occurrence of invasive species *Drosophila nasuta* in Atlantic Rainforest, Brazil. High abundance of exotic drosophilids in a gallery forest of the Brazilian savanna. **Research Notes Dros. Inf. Serv**, v. 99, p. 346–350, 2016b.
- BLACKBURN, T. M. *et al.* Alien versus native species as drivers of recent extinctions. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 4, p. 203–207, 2019.
- BROCKERHOFF, E. G.; LIEBHOLD, A. M. Ecology of forest insect invasions. **Biological Invasions**, v. 19, n. 11, p. 3141–3159, 2017.
- CAVALCANTI, F. A. *et al.* Geographic Expansion of an Invasive Fly: First Record of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 115, n. 3, p. 267–274, 2021.
- CDB. **Convenção da diversidade biológica**, 1992.
- CONSOLI, R. A.; OLIVEIRA, O. R. **Principais Mosquitos de Importância Sanitária No Brasil**. Editora Fiocruz: Rio de Janeiro, Brasil, 1994.
- COUTINHO-SILVA, R. D. *et al.* Effects of seasonality on drosophilids (Insecta, Diptera) in the northern part of the Atlantic Forest, Brazil. **Bulletin of Entomological Research**, v. 55, n. 81, p. 1–11, 2017.
- DAVID, J. R. *et al.* Drosophilids (Diptera) from Mayotte island: An annotated list of species collected in 2013 and comments on the colonisation of Indian Ocean Islands. **Annales de la Societe Entomologique de France**, v. 50, p. 336–342, 2014.

- DEPRÁ, M. *et al.* The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. **Journal of Pest Science**, v. 87, n. 3, p. 379–383, 2014.
- DIAGNE, C. *et al.* High and rising economic costs of biological invasions worldwide. **Nature**, v. 592, n. 7855, p. 571–576, 2021.
- DICKEY, J. W. E. *et al.* Assessing the relative potential ecological impacts and invasion risks of emerging and future invasive alien species. **NeoBiota**, v. 24, n. 40, p. 1–24, 2018.
- DUARTE, L. B. *et al.* Assemblage of drosophilids (Diptera, Drosophilidae) inhabiting flooded and nonflooded areas in the extreme South of Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, n. 1, p. 29–35, 2018.
- FESSL, B.; TEBBICH, S. *Philornis downsi* - A recently discovered parasite on the Galápagos archipelago - A threat for Darwin's finches? **Ibis**, v. 144, n. 3, p. 445–451, 2002.
- GARCIA, A. C. *et al.* Current and future potential global distribution of the invading species *Drosophila nasuta* (Diptera: Drosophilidae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 135, n. 1, p. 208–221, 2021.
- HEINISCH, M. R. *et al.* Seasonal and Spatial Distribution of *Aedes Aegypti* and *Aedes Albopictus* in a Municipal Urban Park in São Paulo, SP, Brazil. **Acta Trop.** v. 189, p. 104–113, 2019.
- HONÓRIO, N. A. *et al.* Chikungunya: An arbovirus infection in the process of establishment and expansion in Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, n. 5, p. 906–908, 2015.
- HULME, P. E. Unwelcome exchange: International trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. **One Earth**, v. 4, n. 5, p. 666–679, 2021.
- HULME, P. E. Trade, transport and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 1, p. 10–18, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Tabela de dados das estações**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- KENIS, M. *et al.* Ecological effects of invasive alien insects. **Biological Invasions**, v. 11, n. 1, p. 21–45, 2009.
- KITAGAWA, O. *et al.* Genetic studies of the *Drosophila nasuta* subgroup, with notes on distribution and morphology. **Jpn J Genet.** v. 57, p.113–141, 1982.
- KOOP, J. A. *et al.* Population structure of a nest parasite of Darwin's finches within its native and invasive ranges. **Conservation Genetics**, v. 22, n. 1, p. 11–22, 2021.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948.

- LATOMBE, G. *et al.* A vision for global monitoring of biological invasions. **Biological Conservation**, v. 213, p. 295–308, 2017.
- LEÃO, B. *et al.* What happens when exotic species arrive in a new area? The case of drosophilids in the Brazilian Savanna. **Drosophila Information Service**, v. 100, p. 65-69, 2017,
- MATA, R. A. *et al.* Measuring the variability of the drosophilid assemblages associated with forests of the Brazilian savanna across temporal and spatial scales. **Natureza e Conservação**, v. 13, n. 2, p. 166–170, 2015.
- MATEUS, R. P.; Machado, L. P .B. Survey of Drosophilidae fauna in an interior Atlantic Forest fragment in Southeastern Brazil reveals the occurrence of the invasive *Zaprionus tuberculatus*. **Dros Inf Serv**,v. 105, p. 53-56, 2022.
- MAZZA, G. *et al.* Biological invaders are threats to human health: An overview. **Ethology Ecology and Evolution**, v. 26, n. 2–3, p. 112–129, 2014.
- MEDEIROS, H. F. *et al.* First Records of the Invading Species *Drosophila Nasuta* (Diptera: Drosophilidae) in the Amazon. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 3, p. 493–497, 2022.
- MONTES, M. A. *et al.* Invasion and spreading of *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) in the Caatinga Biome, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 50, p. 571-578, 2021.
- MUTHUKRISHNAN, R.; LARKIN, D. J. Invasive species and biotic homogenization in temperate aquatic plant communities. **Global Ecology and Biogeography**, v. 29, n. 4, p. 656–667, 2020.
- NAGARAJAN, A. *et al.* Adaptation to larval crowding in *Drosophila ananassae* and *Drosophila nasuta nasuta*: increased larval competitive ability without increased larval feeding rate. **Journal of Genetics**, v. 95, n. 2, p. 411–425, 2016.
- OLIVEIRA, G. F. *et al.* Are conservation units in the Caatinga biome, Brazil, efficient in the protection of biodiversity? An analysis based on the drosophilid fauna. **Journal for Nature Conservation**, v. 34, p. 145–150, 2016.
- OLIVEIRA, G. H. **Avaliação da homogeneização biótica e preferência ambiental de drosofilídeos invasores no norte da Floresta Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2021.
- PAINI, D. R. *et al.* Global threat to agriculture from invasive species. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 27, p. 7575–7579, 2016.
- PEJCHAR, L.; MOONEY, H. A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 9, p. 497–504, 2009.

- POPPE, J. L. *et al.* Changes in the structure of drosophilidae (Diptera) assemblages associated with contrasting environments in the pampas biome across temporal and spatial scales. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 109, n. 4, p. 567–573, 2016.
- PRAKASH, A.; RAMACHANDRA, N. B. Distribution of *Drosophila* flies in eight different altitudes of three districts of Karnataka, India. **Drosophila Information Service**, v. 91, p. 82–87, 2008.
- PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M. Invasive species, environmental change and management, and health. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 35, p. 25–55, 2010.
- RAFAEL, J. A. *et al.* Insect (Hexapoda) diversity in the oceanic archipelago of Fernando de Noronha, Brazil: updated taxonomic checklist and new records. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 3, 2020.
- RAGHUTEJA, P. V. *et al.* A Review on Invasive Pests of Horticultural Crop Ecosystems. **Biological Forum**, v. 13, n. 3, p. 1209-1217, 2022.
- ROCHA, L. D. *et al.* *Drosophila*: um importante modelo biológico para a pesquisa e o ensino de Genética. **Scire Salutis**, v. 3, n. 1, p. 37–48, 2013.
- ROQUE, F. *et al.* Brazilian Fig Plantations Are Dominated by Widely Distributed Drosophilid Species (Diptera: Drosophilidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 110, n. 6, p. 521–527, 2017.
- SAGE, R. F. Global change biology: A primer. **Global Change Biology**, v. 26, n. 1, p. 3–30, 2019.
- SANTA-BRÍGIDA, R. *et al.* Drosophilidae (insecta, diptera) no estado do Pará (Brasil). **Biota Neotropica**, v. 17, n. 1, p. 1–9, 2017.
- SANTOS, L. A. *et al.* Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. 1–13, 2017.
- SEEBENS, H. *et al.* Global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 10, p. 2264–2273, 2018.
- SEEBENS, H. *et al.* No saturation in the accumulation of alien species worldwide. **Nature Communications**, v. 8, p. 1–9, 2017.
- SILESHI, G. W. *et al.* The threat of alien invasive insect and mite species to food security in Africa and the need for a continent-wide response. **Food Security**, v. 11, n. 4, p. 763–775, 2019.
- SILVA, D. G. *et al.* Geographic expansion and dominance of the invading species *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) in Brazil. **Journal of Insect Conservation**, v. 24, n. 3, p. 525–534, 2020.

SIMBERLOFF, D. *et al.* Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 1, p. 58–66, 2013.

SMITH, K. F. *et al.* Reducing the risks of the wildlife trade. **Science**, v. 324, n. 5927, p. 594–595, 2009.

STORK, N. E. How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? **Annual Review of Entomology**, v. 63, p. 31–45, 2018.

SUN, J. *et al.* Red turpentine beetle: Innocuous native becomes invasive tree killer in China. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 293–311, 2013.

SRINATH, B. S.; SHIVANNA, N. Seasonal variation in natural populations of *Drosophila* in Dharwad, India. **J Entomol Zool**, v. 2, p. 35–41, 2014.

TIDON, R.; SENE, F. M. A trap that retains and keeps *Drosophila* alive. **Dros Inf Serv**, p. 67:89, 1988.

TIDON, R. *et al.*, Drosophilidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. **PNUD**. 2023. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/183186>. Acesso em: 5 mar. 2023.

VENETTE, R. C.; HUTCHISON, W. D. Invasive Insect Species: Global Challenges, Strategies & Opportunities. **Frontiers in Insect Science**, v. 1, p. 8–11, 2021.

VILELA, C. R.; GOÑI, B. Is *Drosophila nasuta* Lamb (Diptera, Drosophilidae) currently reaching the status of a cosmopolitan species? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 4, p. 346–350, 2015.

VILELA, C. R. Is *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) currently colonizing the Neotropical Region? **Dros Inf Serv**, v. 82, p. 37–39, 1999.

VELOSO, H.P. *et al.* **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

WILSON, F. D. *et al.* Cytogenetic relations in the *Drosophila nasuta* subgroup of the *immigrans* group of species. **Univ Texas Publ**, v. 6918, p. 207–253, 1969.

YUZUKI, K.; TIDON, R. Identification key for drosophilid species (Diptera, Drosophilidae) exotic to the Neotropical Region and occurring in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 1, p. 1–9, 2020.

ZHANG, Y.; CHENG, Q. **Landslides**. Londres: IntechOpen, 2022.