

Um modelo para se entender a evolução da resistência a inseticidas: a espécie bioinvasora *Zaprionus indianus*

A model for understanding the evolution of insecticide resistance: the bioinvader species *Zaprionus indianus*

Sávio Cunha Costa¹

Jonathan de Oliveira Rios²

Luís Gustavo da Conceição Galego³

RESUMO:

O uso de inseticidas como uma estratégia para o manejo de pragas aumentou exponencialmente nos últimos anos, o que pode causar incalculáveis efeitos deletérios à saúde humana e ao ambiente. Além disso, os inseticidas atuam como agentes seletivos de insetos resistentes, o que interfere na evolução das populações desses organismos, além de potencializar a ação de pragas agrícolas. Os mecanismos genéticos de evolução da resistência incluem aqueles relacionados à detoxificação e metabolização desses agentes, como é o caso daqueles relacionados às enzimas esterases. Essas enzimas participam de diversos processos biológicos, incluindo aqueles relativos à biologia reprodutiva, transmissão do impulso nervoso e digestão de alimentos. Mecanismos de evolução de resistência a inseticidas relacionados às esterases foram descritos para a espécie bioinvasora *Zaprionus indianus*, introduzida no Brasil no final dos anos 90, quando foi uma importante praga da cultura do figo e que ainda é considerada uma espécie que oferece riscos a cultivares de frutos comerciais.

PALAVRAS-CHAVE: bioinvasão; evolução de espécies invasoras; mosca-do-figo Africana; resistência.

¹ Doutorando em Entomologia, Universidade de São Paulo. E-mail: saviocosta@usp.br. ORCID: 0000-0001-8485-0560. Currículo Lattes: 1683273162740570.

² Doutorando em Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. e-mail: jonathanoliveirarios@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1679-7478. Currículo Lattes: 4430924774058058;

³ Professor Associado II, Universidade Federal do Triângulo Mineiro. e-mail: luís.galego@uftm.edu.br. ORCID: 0000-0002-6081-2700. Currículo Lattes: 9101105344317706.

ABSTRACT:

The insecticide use as a strategy for pest management has increased exponentially in recent years, which can cause incalculable deleterious effects on human and environmental health. In addition, insecticides act as selective agents of resistant insects, which interferes with the population evolution of these organisms, in addition to potentiating the action of agricultural pests. The genetic mechanisms of resistance evolution include those related to detoxification and metabolization of these agents, as is the case of those related to esterase enzymes. These enzymes are part of several biological processes, which include those related to reproductive biology, nerve impulse transmission, and food digestion. The evolution of insecticide resistance mechanisms related to esterases has already been described for *Zaprionus indianus*, which was introduced in Brazil in the late 1990s and was an important pest of the fig culture and is still considered a species that offers risks to cultivars of various commercial fruits.

KEYWORDS: bioinvasion; evolution of invader species; African fig-fly; resistance.

Introdução

A aplicação dos inseticidas é uma das estratégias mais antigas para controle de insetos. As décadas de 1950 e 1960 marcaram um aumento expressivo no seu uso que se manteve até os dias atuais, sendo que o controle químico de pragas e vetores ainda é a principal técnica para o manejo desses insetos (GULLAN; CRANSTON, 2017).

Os inseticidas são compostos químicos de origem natural ou sintética que aplicados direta ou indiretamente sobre os insetos, em concentrações adequadas, podem limitar sua sobrevivência. Os compostos de origem natural são os derivados de plantas, geralmente chamados de inseticidas botânicos, que incluem alcalóides, rotenona, piretrinas e nim (GULLAN; CRANSTON, 2017). Outras classes de inseticidas não possuem análogos naturais e são os carbamatos sintéticos (*e.g.* aldicarb, carbaryl, carbofuran, methiocarb), os organofosforados ou OPs (*e.g.* chlorpyrifos, dichlorvos, dimetoato, malathion, parathion, forato) e organoclorados (também chamados de hidrocarbonetos clorados, por exemplo, aldrin, chlordane e diclorodifeniltricloroetano (DDT)).

Os inseticidas, de modo geral, podem impactar a saúde humana e ambiental e há um consenso sobre os impactos desses compostos na saúde humana, como é o caso do desenvolvimento de diversos tipos de câncer (MERHI *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2013; PRESUTTI *et al.*, 2016; PIEL *et al.*, 2019). Além disso, os inseticidas contaminam os ambientes e eliminam formas de vida presentes neles, interferindo, assim, nas cadeias alimentares (FREDIANELLI *et al.*, 2019) e nos processos de polinização (MARINHO SILVA *et al.*, 2021). Outro impacto que o uso indiscriminado de inseticidas pode provocar é a seleção de insetos geneticamente resistentes a esses compostos químicos.

A pressão seletiva produzida pelos inseticidas em populações de pragas agrícolas e de vetores de doenças, além de outros insetos que existem nos ambientes expostos ao manejo químico, eliminam os insetos suscetíveis e possibilitam a manutenção daqueles resistentes (LENORMAND; RAYMOND, 2000; RAYMOND *et al.*, 2001; LANGE *et al.*, 2021; YAINNA *et al.*, 2021). Dessa forma, ao longo das gerações, esse processo de seleção natural resulta em populações de insetos nas quais o uso do inseticida se torna ineficiente, além de estimular a utilização de concentrações cada vez maiores desses agentes tóxicos (SOSA-GÓMEZ; OMOTTO, 2012).

Este estudo tem como objetivo, portanto, discorrer sobre os mecanismos genéticos e seletivos que envolvem a evolução resistência a inseticidas utilizando como modelo para o processo a espécie bioinvasora da região Neotropical *Zaprionus indianus*, popularmente conhecido como mosca-do-figo africana (GUPTA, 1970; BRAGARD *et al.*, 2022).

Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa não-sistemática em três bases de dados: Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>), Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) e Scielo (<https://www.scielo.br/>), nas quais foram selecionados artigos científicos publicados em revistas, jornais, livros e periódicos que tratam da temática de resistência a inseticidas envolvendo a espécie modelo *Zaprionus indianus* com a finalidade de se discorrer sobre como as informações genética elucidam a evolução da resistência a inseticidas e como esse processo ocorre em *Zaprionus indianus*.

Resultados e Discussão

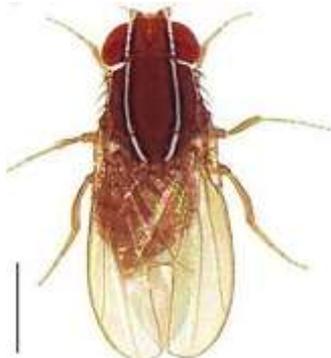
A resistência a inseticidas é uma característica essencialmente genética e pode ocorrer em virtude da presença de alelos codificadores de proteínas-alvo dos inseticidas que apresentam mutações (FRENCH CONSTANT, 2013) que conferem a resistência, ou podem afetar alelos de genes que alteram a maneira que os insetos metabolizam esses compostos e, com isto, impedindo sua ação inseticida (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018). A resistência não deve ser vista como uma adaptação e sim como um fenômeno de pré-adaptação, uma vez que, os inseticidas não induzem as mudanças hereditárias, mas somente selecionam, ao curso de gerações, indivíduos que apresentam alelos que conferem a resistência, geralmente encontrados em baixa frequência nas populações (BROWN, 1978; SRIVASTAVA; SAXENA, 2000; SILVA et al., 2012; THAKARE et al., 2016).

Os mecanismos genéticos que conferem resistência a inseticidas e conferem adaptações morfo-fisiológicas aos insetos incluem a redução da penetração do inseticida pela cutícula, a redução da sensibilidade no sítio de ação do inseticida e a metabolização do inseticida pela ação de diversas enzimas detoxificadoras (GULLAN; CRANSTON, 2017). A metabolização ou detoxificação é, possivelmente, o mecanismo mais estudado sobre a resistência de insetos a inseticidas. Esse mecanismo permite ao inseto modificar ou detoxificar o inseticida a uma taxa suficiente o bastante para prevenir a ação no sítio alvo (GULLAN; CRANSTON, 2017). A degradação do inseticida pode ocorrer por vários processos metabólicos, nos quais o produto é convertido em uma forma não tóxica ou mesmo eliminado rapidamente do corpo do inseto através dos túbulos de Malpighi, principal órgão excretor dos insetos. Várias enzimas e sistemas enzimáticos estão envolvidos no processo de detoxificação de inseticidas, e incluem as as esterases, oxidases, transferases e citocromo P450 monooxigenases (CYP) (SERRA et al., 2021) e outras enzimas que aumentam sua eficiência ou sua atividade nas populações resistentes. No caso das esterases, essas constituem um sistema heterogêneo e multifuncional de enzimas, cuja função se relaciona com a hidrólise de ésteres (MONTELA, 2012; BHATT et al., 2021). Tais enzimas são bioquimicamente bastante conservadas nos diferentes insetos e sistemas esterásicos estão relacionados à detoxificação de organofosforados (OP), como ocorre com as malathion-esterases detectadas em diferentes espécies de Diptera, incluindo diversos membros da família Drosophilidae, como é o caso da espécie *Zaprionus indianus* (OAKESHOTT et al., 2001; GALEGO et al., 2010a).

Zaprionus indianus (Figura 1) é uma mosca da família Drosophilidae, descrita por Gupta (1970), cujo comprimento corporal varia entre 1 a 4 mm, apresenta coloração amarelo-alaranjado e duas faixas brancas com bordas pretas da cabeça até o final do tórax. As listras na cabeça, por sua vez, são bordeadas por uma faixa negra (GUPTA, 1970; CHASSAGNARD; TSACAS, 1993).

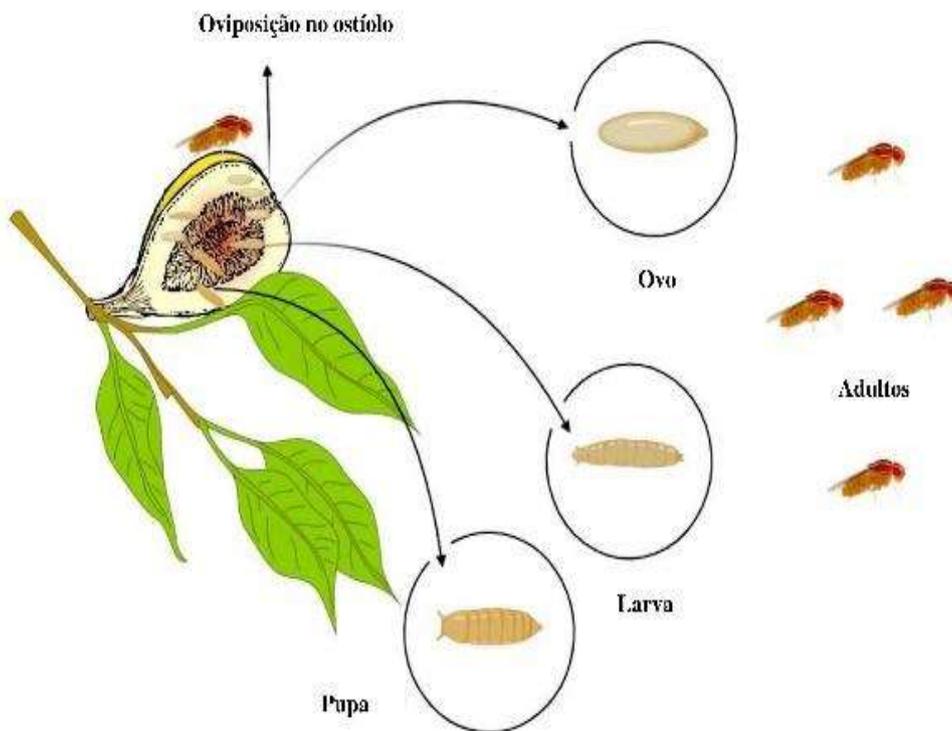
A provável origem da espécie é a África e foi relatada pela primeira vez no Brasil pelo pesquisador Carlos Ribeiro Vilela, em 1999, no município de Santa Isabel, no estado de São Paulo, infestando frutos de caqui *Diospyros kaki* L., (Ebenaceae), e em Valinhos–SP associada ao figo-roxo-de-valinho *Ficus carica* L., (Moraceae). Popularmente conhecida como mosca-do-figo, *Z. indianus*, dispersou-se rapidamente pelo território brasileiro (VILELA, 1999; KATO *et al.*, 2004; MACHADO *et al.*, 2005; GALEGO; CARARETO, 2010b; COMMAR *et al.*, 2012; RIOS; COSTA; GALEGO, 2022).

Figura 1. *Zaprionus indianus*, habitus dorsal. Escala: 1mm.



Os prejuízos causados pela mosca-do-figo no momento de sua introdução são estimados da ordem de 40% na produção de figo *in natura* para o mercado interno e de até 80% do figo para exportação (STEIN *et al.*, 2003; BRAGARD *et al.*, 2022). Esta espécie de mosca ovípara deposita os ovos no ostíolo do figo e as larvas penetram no interior do fruto, tornando-o impróprio para o consumo (Figura 2). Atualmente, essa espécie pode ser considerada uma praga potencial de frutos macios, tais como morango, mirtilo, amora e laranja (BERNADI *et al.*, 2017; ESTEBAN, 2021).

Figura 2. Oviposição no ostíolo do fruto por *Z. indianus*.



Um organofosforado (OP) que virtualmente poderia ser utilizado no controle desse inseto (Figuras 3 e 4) é o *Malathion* O,O-dimetil-S-(1,2-dicarboxietil) fosforoditioato (C₁₀H₁₉O₆PS₂) (CHEMINOVA, 2021). Além do seu uso agrícola, esse inseticida é comumente utilizado em campanhas de saúde pública, especificamente no controle de populações de mosquito *Aedes aegypti* (Linnaeus) (FERREITA *et al.*, 2019), vetor da dengue e da febre amarela.

Figura 3. Controle químico dos insetos a partir da aplicação de inseticidas.

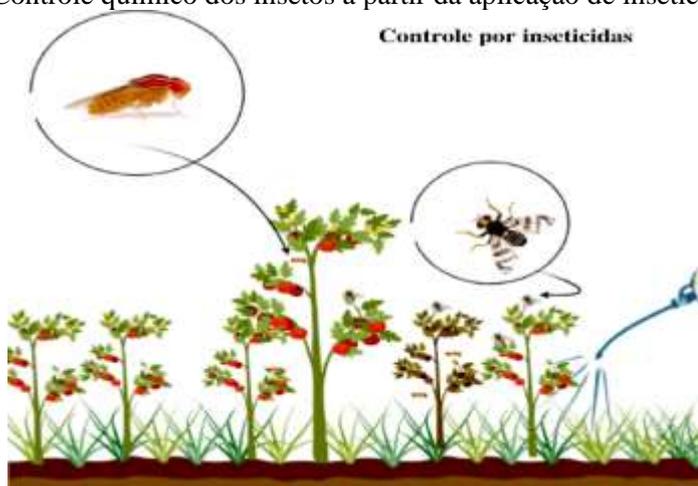
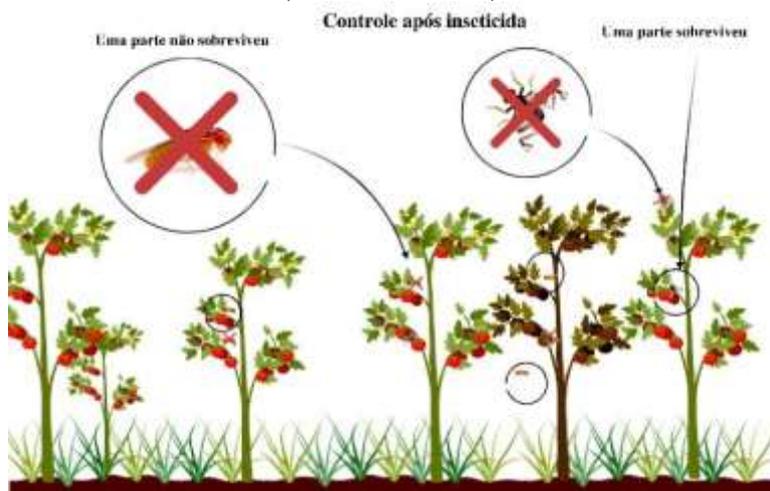
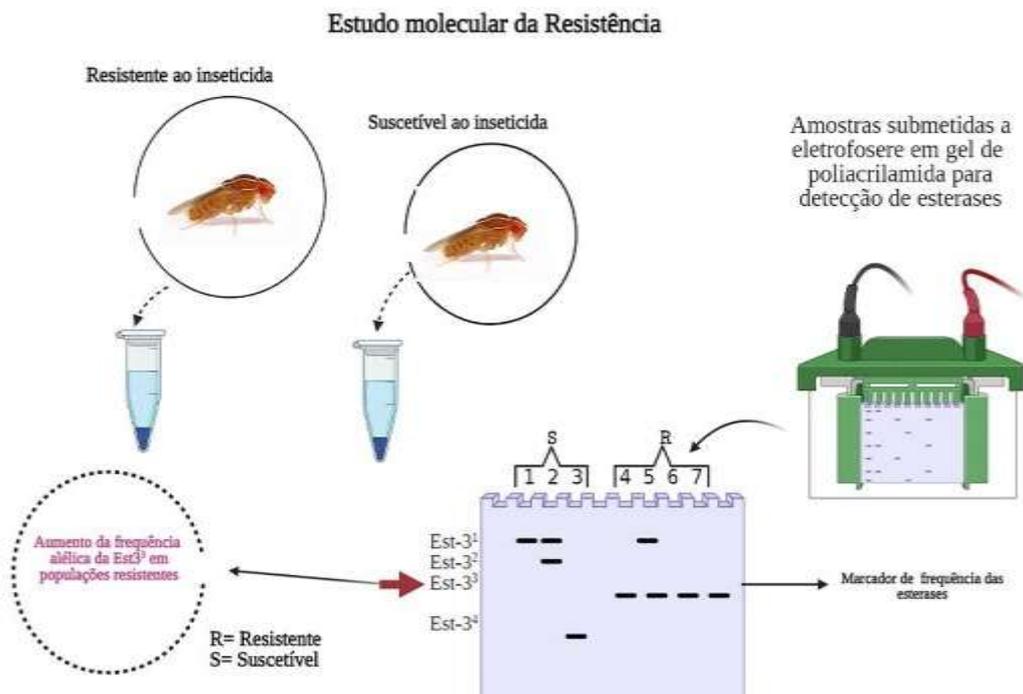


Figura 4. Controle químico populacional após as primeiras aplicações do inseticida, com a eliminação dos insetos suscetíveis (círculos maiores), mas a manutenção dos resistentes (círculos menores).



A espécie *Z. indianus* também apresenta um mecanismo genético de resistência ao *malathion* relacionado às esterases (GALEGO; CARARETO, 2010a). Essa espécie apresentou aumento da frequência do alelo Est-3³ em populações naturais e experimentais expostas ao *malathion* (Figura 5), indicando a ação da seleção natural relacionada à manutenção de indivíduos portadores desse alelo, sugerindo que as enzimas codificadas por ele pudessem ter algum papel na detoxificação do OP. Nesse processo, moscas sobreviventes que foram previamente expostas ao *malathion* (resistentes) e aquelas não-sobreviventes (suscetíveis) foram avaliadas segundo a variação de polimorfismos esterásicos do loco Est3. Esse loco apresenta quatro alelos em populações de *Z. indianus* (GALEGO; CERON; CARARETO, 2006, GALEGO; CARARETO, 2010; PRATA; GALEGO, 2022; RIOS; COSTA; GALEGO, 2022) e a frequência do Est-3³ é baixa (<10%) na maioria delas. No caso das moscas resistentes, esse alelo é fixado em populações experimentais expostas ao *malathion* e, em populações naturais oriundas de locais com exposição a OPs, a frequência do alelo Est-3³ varia entre 23 e 50% (GALEGO; CARARETO, 2010a).

Figura 5. Variação de polimorfismos esterásicos relacionados ao loco Est3 de *Z. indianus*, ilustrando a prevalência do alelo Est-3³ em indivíduos sobreviventes pré-expostos ao *malathion*, conforme resultados obtidos por Galego e Carareto (2010a).



O modelo de evolução de resistência a inseticidas por mecanismos mediados por esterases, como é o caso do ilustrado para *Z. indianus* inidca que o uso indiscriminado de inseticidas pode também colaborar direta ou indiretamente para a eliminação de organismos não-alvo, incluindo polinizadores, inimigos naturais das pragas e outros insetos que fazem parte da comunidade da praga. Esses fatores contribuem para a redução na abundância e biodiversidade dos insetos e afetar o equilíbrio dos ecossistemas, uma vez que insetos participam da reciclagem de nutrientes, da propagação de plantas (dispersão de sementes e polinização), do controle biológico, da cadeia alimentar (tanto presas quanto predadores), dentre outras (GULLAN; CRANSTON, 2017).

Conclusão

O conhecimento sobre a genética e evolução da resistência a inseticidas por processos de seleção natural é fundamental para estabelecer estratégias de manejo dessa resistência que, por sua vez, requer um programa de uso controlado de produtos químicos para prevenir a evolução da resistência em populações de pragas e vetores.

Algumas estratégias alternativas ao controle químico, ou que podem ser utilizadas de forma alternada a este para a redução do seu uso, são o controle biológico de pragas com a utilização de inimigos naturais, e o monitoramento da evolução da resistência por meio do aumento da frequência de marcadores de resistência (como é o caso do alelo Est-3³ de *Z. indianus*), que pode indicar quando o inseticida potencialmente não elimina mais a praga.

O monitoramento da resistência aos inseticidas deveria ser um componente integral do manejo, uma vez que permite a antecipação de problemas e a determinação da

efetividade das táticas operacionais para planejamentos estratégicos, além de evitar que outros organismos não alvo possam ser impactados pelo uso indiscriminada desses produtos e evitar uma contaminação desnecessária dos ambientes.

Referências

BRAGARD, C.; BAPTISTA, P.; CHATZIVASSILIOU, E.; SERIO, F.; GONTHIER, P.; MIRET, J. A. J.; JUSTESEN, A. F.; MAGNUSSON, C. S.; MILONAS, P.; NAVAS-CORTES, J.A.; PARNELL, S.; POTTING, R.; REIGNAULT, P. L.; STEFANI, E.; THULKE, H. H.; WERF, W. V.; CIVERA, A. V.; YUEN, J.; ZAPPALÁ, L.; GRÈGOIRE, J. C.; MALUMPHY, C.; KERTESZ, V.; MAIORANO, A.; MACLEOD, A. Pest Categorization of *Zaprionus indianus*. **EFSA Journal**, v. 20, e07144, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8899914/>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

BROWN, W. M. The mitochondrial genome of animals. In: MACINTYRE, T. J. (Ed.). **Molecular evolutionary genetics**. New York: Plenus Press, 31 p., 1978.

COMMAR, L.S.; GALEGO, L. G. C.; CERON, C. R.; CARARETO, C. M. A. Taxonomic and evolutionary analysis of *Zaprionus indianus* and its colonization of Palearctic and Neotropical regions. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 2, p. 395–406, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gmb/a/kh8Lv9NDqt3zWn69QmMCTsy/?format=pdf&lang=en>, acesso em 14 de setembro de 2022.

FERREIRA, J. D.; COUTO, A. C.; POMBO-DE-OLIVEIRA, M. S.; KOIFMAN, S. In Utero Pesticide Exposure and Leukemia in Brazilian Children < 2 Years of Age. **Environmental Health Perspectives**, v.121, n.2, p. 269-75, 2013. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.1103942>, acesso em 14 de setembro de 2022.

FREDIANELLI, A. C.; PIERIN, V. H.; UHLIG, S. C.; GALEB, L. A. G.; ROCHA, D. C. C.; RIBEIRO, D. R.; ANATER, A.; PIMPÃO, C. T. Hematologic, biochemical, genetic, and histological biomarkers for the evaluation of the toxic effects of fipronil for *Rhombia quelen*. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 43, p. 54-59, 2019. Disponível em: <https://journals.tubitak.gov.tr/cgi/viewcontent.cgi?article=1375&context=veterinary>, acesso em 14 de setembro de 2022.

GALEGO, L. G.; CARARETO, C. M. A. Variation at the Est3 locus and adaptability to organophosphorous compounds in *Zaprionus indianus* populations. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 13, p. 97–105, 2010a. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1570-7458.2009.00941.x>, acesso em 14 de setembro de 2022.

GALEGO L.G.C.; CARARETO, C. M. A. Scenario for the spreading of the invasive species *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera: Drosophilidae) throughout Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 33, p. 767-773, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gmb/a/fLgtGXkjsP8MtbCXfLh69Jn/?format=pdf&lang=en>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

GALEGO, L. G. C.; CERON, C. R.; CARARETO, C. M A. Characterization of esterases in a Brazilian population of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae). **Genetica**, v. 126, p. 89–99, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16502087/>, acesso em 27 de fevereiro de 2022.

GULLAN, P.J.; CRANSTON, P.S. **Insetos: Fundamentos da Entomologia**. São Paulo: Roca, 2017, 460p. 5. ed.

GUPTA, J. P. Description of a new species of *Phorticella zaprionus* (Drosophilidae) from India. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 36, p. 62-70, 1970.

HEMINGWAY, J. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 30, p. 1009–1015, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965174800000795?via%3Dihub>, acesso em 14 de setembro de 2022.

KATO, C.M.; FOUREAUX, L. V.; CÉSAR, R. A.; TORRES, M. P. Ocorrência de *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 454–455, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/GVzHPCR6C9qYvct5xCBPh4n/?lang=pt>, acesso em 14 de setembro de 2022.

LANGE, J. D.; BASTIDE, H.; LACK, J. B.; POOL, J. E. A Population Genomic Assessment of Three Decades of Evolution in a Natural *Drosophila* Population. **Molecular Biology and Evolution**, v. 39, msab368. Disponível em: <https://academic.oup.com/mbe/article-pdf/39/2/msab368/42426227/msab368.pdf>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

LENORMOND, T.; RAYMOND, M. Analysis of clines with variable selection and variable migration. **The American Naturalist**, v. 155, p. 70-82, 2000. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/epdf/10.1086/303295>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

MACHADO, T.; SOLÉ-CAVA, A. M.; DAVID, J. R.; BITNER-MATHÊ, B. C. 2005. Allozyme variability in an invasive drosophilid, *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) comparison of a recently introduced Brazilian population with Old World populations. **Annales de la Société Entomologique de France**, v. 41, p. 7–13, 2005.

Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00379271.2005.10697438?needAccess=true>, acesso em 14 de setembro de 2022.

MARINHO SILVA, R. C.; TORRE, P. A. D.; MATOS, J. C. O uso incorreto do inseticida fipronil e sua influência na morte das abelhas no sul do Brasil. **Processando o Saber**, v. 13, p. 93-110, 2021. Disponível em: <https://fatecpg.edu.br/revista/index.php/ps/article/download/154/136/627>, acesso em 14 de setembro de 2022.

MERHI, M.; RAYNAL, H.; CAHUZAC, E.; VINSON, F.; CRAVEDI, J.P.; GAMETPAYRASTRE, L. Occupational exposure to pesticides and risk of hematopoietic cancer: meta-analysis of case-control studies. **Cancer Causes & Control**, v.18, n.10, p.1209-26, dez. 2007. Disponível em: <https://reduas.com.ar/wp-content/uploads/downloads/2011/07/c%C3%A1ncers-hematopoi%C3%A9ticos-y-pesticidas.pdf>, acesso em 14 de setembro de 2022.

OAKESHOTT, J. G.; VAN PANPENRECHT, E. A.; CLAUDIANOS, C.; MORRISH, B. C.; COPPIN, C.; ODGERS, W.A. An episode of accelerated amino acid change in *Drosophila* esterase-6 associated with a change in physiological function. **Genetica**, v.110, p. 231-244, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1012727814167.pdf>, acesso em 14 de setembro de 2022.

PIEL, C.; POUCHIEU, C.; CARLES, C.; BÉZIAT, B.; BOULANGER, M.; BUREAU, M.; BUSSON, A.; GRÜBER, A.; LECLUSE, Y.; MIGAULT, L.; RENIER, M.; RONDEAU, V.; SCHWALL, X.; TUAL, S.; PIERRE, L.; BALDI, I. Agricultural exposures to carbamate herbicides and fungicides and central nervous system tumour incidence in the cohort AGRICAN. **Environment International**, v.130, p.104876, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018331696>, acesso em 14 de setembro de 2022.

PRATA, A. P.; GALEGO, L. G. C. Variação genética em populações naturais e laboratoriais de *Zaprionus indianus* GUPTA 1970 (Diptera: Drosophilidae). **Conexão Ciência**, v. 17, p. 74-93, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uniformg.edu.br:21011/ojs/index.php/conexaociencia/article/view/1512/1307>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

PRESUTTI, R.; HARRIS, S. A.; KACHURI, L.; SPINELLI, J. J.; PAHWA, M.; BLAIR, A.; ZAHM, S. H.; CANTOR, K.P.; WEISENBURGER, D. D.; PAHWA, P.; McLAUGHLIN, J. R.; DOSMAN, J. A.; FREEMAN, L. B. Pesticide exposures and the risk of multiple myeloma in men: An analysis of the North American Pooled Project. **International Journal of Cancer**, v.139, n.8, p.1703-14, 2016. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jjc.30218>, acesso em 14 de setembro de 2022.

RAYMOND, M.; BERTICAT, C.; WEILL, M.; PASTEUR, N.; CHEVILLON, C. Insecticide resistance in the mosquito *Culex pipiens*: What have we learned about adaptation? **Genetica**, v. 112, p. 287-296, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1013300108134.pdf>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

RIOS, J. O.; COSTA, S. C.; GALEGO, L. G. C. Demography and esterase polymorphisms of Brazilian populations of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) from the Brazilian cerrado localities. **Evidence: bioscience, healthan innovation**, v. 22, p. 95-114, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/evidencia/article/view/30144/18364>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

SILVA, A. X.; BACIGALUPE, L. D.; LUNA-RUDLOFF, M.; FIGUEROA, C. C. Insecticide resistance mechanisms in the green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) II: costs and benefits. **Plos One**, v. 7, e36810, 2012. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0036810&type=pritable>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

SOSA GOMEZ, D. R.; OMOTO, C. Resistência a inseticidas e outros agentes de controle em artrópodes associados à cultura da soja. **Soja - manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Tradução. Brasília: EMBRAPA, 2012.

STEIN, C. P.; TEIXEIRA, E. P.; NOVO, J. P. S. Aspectos biológicos da mosca do figo, *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera: Drosophilidae). **Entomotropica**, v. 18, n. 3, p. 219–221, 2003. Disponível em: <https://entomotropica.org/ver.php?id=92>, acesso em 14 de setembro de 2022.

THAKARE, V. S.; NEMADE, P. W.; GHOSH, P.; LANDGE, M. K. Insecticide resistance monitoring in *Amrasca biguttula biguttula* (ISHIDA) on cotton. **The Ecoscan**, v. IX, p. 367-371, 2016. Disponível em: http://theecoscan.com/journals/58_HC-268%20-VRUNDA%20S.%20THAKARE.pdf, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

VILELA, C. R. Is *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) currently colonizing the Neotropical region? **Drosophila Information Service**. v. 82, p. 37–39, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325607541_Is_Zaprionus_indianus_Gupta_1970_Diptera_Drosophilidae_currently_colonizing_the_Neotropical_region, acesso em 14 de

YAINNA, S.; NÈGRE, N.; SILVIE, P. J.; BRÉVAULT, T.; TAY, W. T.; GORDON, K.; DALENÇON, E.; WALSH, T.; NAM, K. Geographic Monitoring of Insecticide Resistance Mutations in Native and Invasive Populations of the Fall Armyworm. **Insects**, v. 12, p. 468. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/5/468>, acesso em 27 de fevereiro de 2023.

Recebido em: **10 nov. 2022**

Aprovado em: **27 fev. 2023**