

CIRCULAR TÉCNICA

206

Pelotas, RS
Novembro, 2020

Irradiação de *Drosophila suzukii* Visando o Uso da Técnica do Inseto Estéril

Alexandra Peter Krüger
Daniele Cristine Hoffmann
Jutiane Wollmann
Dori Edson Nava
Flávio Roberto Mello Garcia

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Irradiação de *Drosophila suzukii* Visando o Uso da Técnica do Inseto Estéril

A Técnica do Inseto Estéril (TIE) é uma estratégia de manejo de pragas considerada sustentável e específica, que tem sido utilizada para o controle de tefritídeos em diversos países (Hendrichs et al., 2002; Collins et al., 2009; Dias; Garcia, 2014; Dominiak et al., 2014). Essa técnica consiste na produção massal, esterilização e liberação inundativa de insetos, os quais competem com a população selvagem pelo acasalamento, resultando em gerações inviáveis e, conseqüentemente, na diminuição da população (Dias; Garcia, 2014).

Para a esterilização dos insetos, podem ser utilizados quimioesterilizantes ou radiação ionizante. No entanto, existe uma limitação para a utilização de esterilizantes químicos, visto que eles podem causar problemas toxicológicos e oncológicos em organismos vivos, além do risco de tolerância e resistência de insetos tratados (Labrecque; Smith, 1968; Walder, 2000). Por outro lado, a radiação ionizante se mostra mais segura, e por isso é mais utilizada. Essa radiação é proveniente de radioisótopos, como o Cobalto 60 e o Césio 137, elétrons gerados por aceleradores ou raios X (Walder, 2000; Mastrangelo et al., 2010). A radiação ionizante forma radicais livres no material irradiado, resultando em quebras nas cadeias duplas dos cromossomos das células, e quando essas quebras ocorrem em células germinativas, ocorre a indução de mutações letais dominantes em óvulos e espermatozoides (Lachance; Schmidt; Bushland, 1967; Curtis, 1971; Bakri et al., 2005)

Para a aplicação da TIE para uma espécie, é necessário determinar a dose de radiação que atinja nível adequado de esterilidade [superior a 99,5%, de acordo com recomendação da FAO/IAEA/USDA (2003)], sem afetar a qualidade e o comportamento sexual dos insetos irradiados. Efeitos deletérios da irradiação sobre a habilidade de voo, longevidade e a capacidade de copular e inibir recópula foram reportados em algumas espécies de tefritídeos, como

Alexandra Peter Krüger, Engenheira-agrônoma, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, UFPel, Pelotas, RS; Daniele Cristine Hoffmann, Bióloga, doutora em Fitossanidade, UFPel, Pelotas, RS; Jutiane Wollmann, Engenheira-agrônoma, doutora em Fitossanidade, UFPel, Pelotas, RS; Dori Edson Nava, Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS; Flávio Roberto Mello Garcia, Biólogo, doutor em Zoologia, Instituto de Biologia, UFPel, Pelotas, RS.

Ceratitis capitata (Wied., 1824) (Lux et al., 2002; Mossinson; Yuval, 2003; Gavriel et al., 2009), *Anastrepha obliqua* (Macquart, 1835) (Toledo et al., 2004), *Anastrepha ludens* (Loew, 1873) (Rull et al., 2005; Rull et al., 2007), *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Abraham et al., 2012, Krüger et al., 2021), *Anastrepha serpentina* (Wied., 1830) (Landeta-Escamilla et al., 2016) e *Bactrocera tryoni* (Froggatt, 1897) (Dominiak et al., 2007).

Apesar de haver uma série de estudos sobre a utilização da TIE para diferentes espécies de tefritídeos, recentemente, estudos têm sido realizados para avaliar o potencial da TIE para a drosófila-da-asa-manchada, *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) (Figura 1) (Lanouette et al., 2017, Krüger et al., 2018, 2019; Gutierrez-Palomares et al., 2019; Sassu et al., 2019). Essa espécie é uma praga de frutos de epicarpo delgado, presente em diversos países dos continentes africano, americano, asiático e europeu, tendo ainda a possibilidade de invadir outros países (Walsh et al., 2011; Calabria et al., 2012; Cini et al., 2012; Deprá et al., 2014; Dos Santos et al., 2017; Boughdad et al., 2020). Na América do Sul, o primeiro registro da espécie foi nos estados brasileiros Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em 2013 (Deprá et al., 2014). Logo após esse primeiro registro, *D. suzukii* também foi registrada em outros estados do Brasil (Bitner-Mathé et al., 2014; Paula et al., 2014; Vilela; Mori, 2014; Geisler et al., 2015; Andrezza et al., 2016) e, atualmente, encontra-se estabelecida em diversas regiões do Brasil, com capacidade de se estabelecer em outras regiões (Benito et al., 2016).

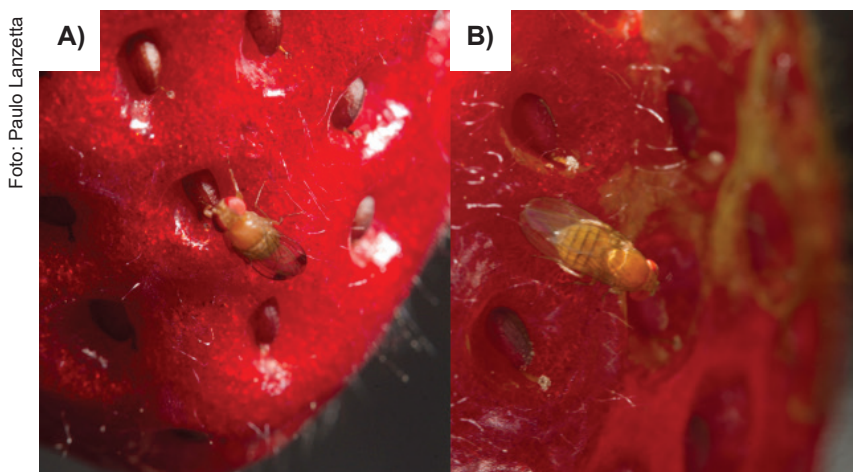


Figura 1. Macho (A) e fêmea (B) de *D. suzukii* sobre morango.

Diferentemente de outras espécies da família Drosophilidae, que são frequentemente associadas a materiais em decomposição, fêmeas de *D. suzukii* são capazes de ovipositar em frutos íntegros, devido ao seu ovipositor esclerotizado e duplamente serreado (Schlesener et al., 2015). Após a oviposição no interior do fruto, as larvas se desenvolvem no local, causando a depreciação do produto (Walsh et al., 2011). No ano de 2014, um ano após o seu primeiro registro no Brasil, foram reportadas perdas de até 30% da produção de morango no noroeste do Rio Grande do Sul (Santos, 2014).

Esta publicação tem como objetivo disponibilizar informações referentes aos procedimentos para realizar a irradiação de pupas de *D. suzukii* utilizando fonte de Cobalto 60, a fim de garantir a esterilização do inseto-alvo, sem afetar outros parâmetros biológicos relacionados a dispersão e a competição, para utilização em programa de TIE.

Preparo de pupas e procedimento de irradiação

Para garantir a obtenção de insetos estéreis, sem perder a sua capacidade de competir, é necessário utilizar dose adequada de radiação no momento ideal do desenvolvimento do inseto. Dessa forma, para minimizar os danos da radiação sobre as células somáticas, o momento ideal para irradiar os insetos é o período em que a maioria das células somáticas já estejam diferenciadas, e, assim, as células que serão atingidas serão as células germinativas (Robinson, 2005). De forma geral, é recomendada a irradiação de pupas em estado avançado de desenvolvimento, próximas à emergência, pois são mais tolerantes à radiação, provavelmente devido ao fato de que a metamorfose está quase completa e existe menor número de células em mitose, fazendo com que sejam menos suscetíveis a danos causados pela radiação (Allinghi et al., 2007; Paithankar et al., 2017). No caso de *D. suzukii*, o momento ideal para irradiação é na fase de pupa, aproximadamente 24 horas antes da emergência (Krüger et al., 2018). Para a obtenção de pupas com a idade ideal, é recomendado que adultos de *D. suzukii* em idade reprodutiva sejam colocados em dieta artificial para permitir a oviposição, por um período de 24 horas, quando então devem ser removidos. Após 10 dias, em

23 ± 1 °C e fotofase de 12 horas, as pupas deverão ser removidas da dieta e preparadas para a irradiação.

Para a irradiação, recomenda-se que as pupas sejam colocadas em placas de Petri de acrílico, contendo algodão úmido, para evitar o processo de desidratação (Figura 2). O número de pupas por placa irá variar de acordo com o tamanho da placa utilizada. As placas então podem ser fechadas com filme plástico e irradiadas separadamente em irradiador com fonte de Cobalto 60 (Figura 3). Em estudo sobre o efeito de diferentes doses de radiação sobre *D. suzukii*, foi demonstrado que, apesar de fêmeas se tornarem estéreis com doses de 75 Gy, essa dose só resulta em 83,74% de esterilidade dos machos; sendo assim, a dose recomendada para causar esterilidade superior a 99,5% em machos, é de 200 Gy (Tabela 1) (Krüger et al., 2018).

Foto: Alexandra Krüger



Figura 2. Pupas de *D. suzukii* colocadas em placas de Petri de acrílico, contendo algodão úmido.

Foto:Alexandra Krüger



Figura 3. Irradiador Eldorado 78 (Energia Atômica do Canadá LTD, Chalk River, Canadá) com fonte de Cobalto 60.

Tabela 1. Efeitos de doses de radiação em cobalto 60 sobre fertilidade de machos de *D. sukukii*, bem como sobre porcentagem de emergência, de voadores, de machos e de sobreviventes após 48 horas de estresse nutricional (adaptado de Krüger et al., 2018).

Dose de irradiação	Fertilidade de machos (%)	Emergência (%)	Voadores (%)	Machos (%)	Sobrevivência 48 horas após a emergência (%)
0 Gy	90,04	73,61	69,17	52,00	58,33
75 Gy	16,26	76,11	70,56	45,09	56,63
150 Gy	2,60	72,22	61,39	55,62	44,14
200 Gy	0,33	72,05	55,83	47,49	57,73

A dose necessária para esterilizar *D. suzukii* é bastante superior às doses normalmente indicadas para esterilizar tefritídeos (normalmente doses menores que 100 Gy) (Bakri; Hendrichs, 2002; Krüger et al., 2018). Porém, estudo anterior demonstrou que, para a indução de esterilidade superior a 99% no drosofilídeo *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830, foi necessária a aplicação de pelo menos 160 Gy, sugerindo que insetos menores podem ser mais radorresistentes (Bakri et al., 2005; Henneberry; MCGovern, 1963).

Por outro lado, fêmeas irradiadas sob doses muito menores (75 Gy) apresentaram completa atrofia das células germinativas, resultando na incapacidade de ovipositar, ou seja, uma esterilidade completa (Krüger et al., 2018). Essa diferença entre fêmeas e machos quanto à sensibilidade à radiação está relacionada ao estágio de desenvolvimento dos gametas no momento da irradiação, visto que as células reprodutivas femininas se encontram em uma taxa mitótica maior do que a dos machos em pupas em avançado estado de desenvolvimento (Carpenter et al., 2005). Cabe ressaltar que o fato das fêmeas perderem a habilidade de ovipositar é positivo para a aplicação de TIE, principalmente para espécies em que não existe uma forma de sexagem que permita a liberação de apenas um sexo, visto que as fêmeas estéreis liberadas não irão causar danos em frutos (Allinghi et al., 2007). Além disso, a variação no tamanho de ovários de fêmeas estéreis e não estéreis permite a diferenciação entre ambas, e essa identificação é importante no monitoramento da TIE a campo, visto que as moscas podem perder a marcação fluorescente que geralmente recebem após a radiação, tornando necessária a observação do desenvolvimento das gônadas para verificar a sua origem (Bartolucci et al., 2008). Na América do Sul, os primeiros estudos de TIE no manejo de *D. suzukii* foram realizados pela Universidade Federal de Pelotas (Krüger et al., 2018, 2019).

Controle de qualidade dos insetos irradiados

Após a irradiação, os insetos podem sofrer danos que os tornem menos competitivos, e isso pode resultar em perda de eficiência de um programa de TIE. Nesse sentido, é de suma importância verificar a qualidade dos insetos irradiados, utilizando como base parâmetros como a habilidade de voo e a longevidade sob estresse nutricional.

Para avaliar a habilidade de voo, Krüger et al. (2018) utilizaram gaiolas plásticas (350 × 280 × 280 mm) contendo três tubos pretos (100 mm de altura e 94 mm de diâmetro interno) (Figura 4). Em cada tubo foram colocadas 30 pupas irradiadas dispostas sobre tecido preto umedecido, dentro de placas de Petri (90 mm de diâmetro). O interior dos tubos deve ser coberto por uma fina camada de talco sem odor, sendo que, na base de cada tubo, deve ser removido o talco de uma margem de 15 mm de altura, para fornecer uma superfície de descanso para moscas recém-emergidas. Na parte superior das gaiolas, devem ser pendurados seis cartões amarelos adesivos (90 × 100 mm), para capturar as moscas, e prevenir que as mesmas retornem aos tubos. De acordo com essa metodologia, pupas de *D. sukuzii* irradiadas a 200 Gy não tiveram sua emergência e habilidade de voo afetada (Tabela 1) (Krüger et al., 2018).

Para avaliar a longevidade sob estresse nutricional, Collins et al. (2009) sugerem a individualização de pupas em microplacas com poços, sem a presença de alimento, e avaliações de emergência e mortalidade das moscas em cada poço três vezes ao dia (9h, 13h e 17h), para posterior cálculo da porcentagem de moscas que permanecem vivas 48 horas após a emergência. Porém, é importante que, no caso de *D. sukuzii*, seja adicionada uma tira de papel umedecido em cada poço, para evitar dissecação das pupas (Krüger et al., 2018). Em testes realizados com pupas irradiadas a 200 Gy, a porcentagem de moscas vivas após 48 horas foi comparável àquelas não irradiadas, ou irradiadas sob doses mais baixas (Tabela 1) (Krüger et al., 2018).

A porcentagem de emergência está diretamente relacionada ao número de adultos que será liberado no campo. A habilidade de voo é essencial, pois, uma vez liberados, os insetos estéreis precisam procurar por abrigo e alimento, além de procurar por parceiros sexuais. A longevidade sob estresse nutricional reflete a quantidade de reservas nutricionais presentes no momento de emergência dos adultos.

Foto:Alexandra Krüger

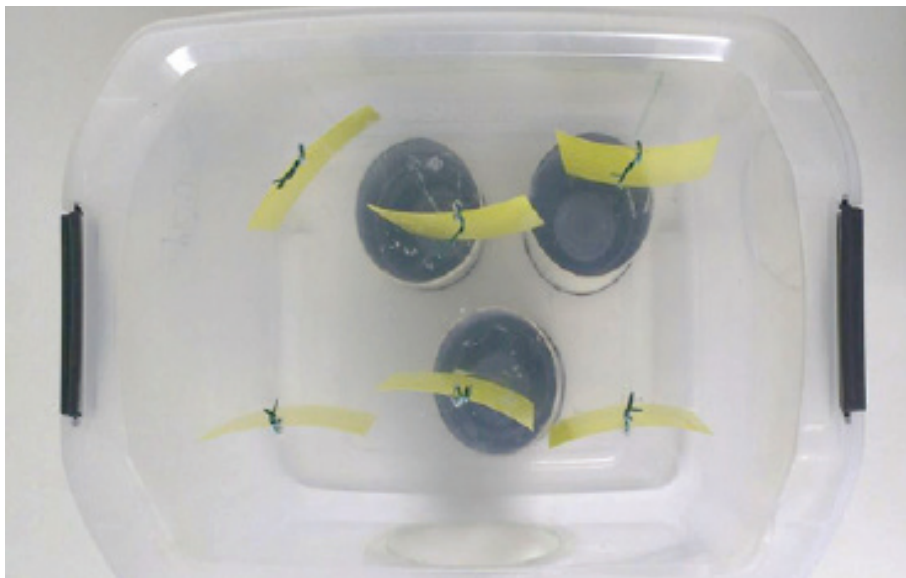


Figura 4. Gaiola utilizada para testes de voo de *D. suzukii*.

Efeitos da radiação sobre a prontidão para o acasalamento

Em estudo realizado para avaliar a capacidade de cópula de insetos irradiados, foi verificado que insetos submetidos à radiação na fase de pupa não apresentam diferença quanto à prontidão para o acasalamento (Krüger et al., 2019). De acordo com o mesmo estudo, quando fêmeas não irradiadas foram pareadas com machos não irradiados, elas demonstraram maior receptividade à cópula em média aos 4,87 dias após a emergência, enquanto que fêmeas pareadas com machos irradiados copularam pela primeira vez, em média, aos 4,31 dias após a emergência. Por outro lado, quando fêmeas irradiadas foram pareadas com machos não irradiados, a primeira cópula ocorreu aos 6,38 dias de idade, e, quando pareadas com machos irradiados, elas estavam mais propícias ao acasalamento aos 5,60 dias de idade. A idade em que as fêmeas estavam mais propícias ao acasalamento foi consistente ao

encontrado por Snellings et al. (2018), que encontraram um pico de acasalamento quatro dias após a emergência de *D. suzukii*. Comparando-se com tefritídeos, o período entre a emergência e a maturação sexual de *D. suzukii* é muito menor. Em termos práticos, esse período menor pode ser considerado uma vantagem em programas de TIE, visto que, para se evitar mortalidade a campo, muitas espécies de tefritídeos são mantidas nas biofábricas após a irradiação até atingir a maturação sexual, resultando em maiores custos de manutenção; no caso de *D. suzukii*, esse passo não seria necessário.

Efeitos da irradiação sobre a recópula de fêmeas

Em estudo recente, foi verificado que a esterilidade dos machos irradiados a 200 Gy não interfere na sua capacidade de copular com fêmeas, nem na probabilidade de serem rejeitados em uma possível condição de recópula (Krüger et al., 2019). Ainda, a irradiação de machos também não afetou a probabilidade das fêmeas recopularem, sendo que apenas 7,29 % das fêmeas testadas recopularam. A ausência de efeitos da esterilidade dos machos na recópula das fêmeas sugere que a radiação não afeta a capacidade dos machos em transferir fluídos seminais ou a quantidade de esperma transferido, visto que esses dois fatores são frequentemente associados com a alteração fisiológica e comportamental na receptividade de fêmeas após a cópula (Neubaum; Wolfner, 1999; Singh et al., 2002).

Fêmeas irradiadas a 200 Gy têm sua capacidade de cópula afetada. Verificou-se que, enquanto 72,5% das fêmeas férteis copularam, apenas 47,5% das fêmeas estéreis copularam (Krüger et al., 2019). Em linhagens bissexuais, em que não é possível diferenciar machos e fêmeas de forma eficaz ainda na fase de pupa, a liberação de fêmeas pode diminuir a eficiência da TIE, já que elas poderão competir com as fêmeas selvagens pelo acasalamento (Orozco et al., 2013). Porém, visto que as fêmeas estéreis de *D. suzukii* apresentam menor probabilidade de copular do que as fêmeas não irradiadas, essa competição será menor. Ainda, a esterilidade de machos e/ou fêmeas não afetou a recópula das fêmeas, sendo que, em média, 17,5% das fêmeas recopularam (Krüger et al., 2019). Apesar da ausência de recópula não ser obrigatória na implementação de um programa de TIE, a maior probabilidade de recópula de fêmeas que copularam primeiramente com machos estéreis pode

ser preocupante (Radhakrishnan; Taylor, 2008). Apesar de várias espécies do gênero *Drosophila* apresentarem o comportamento de múltiplas cópulas (Singh et al., 2002), a maioria das fêmeas de *D. suzukii* testadas por Krüger et al. (2019) foi monogâmica. Porém, esses autores só observaram a probabilidade de recópula por um período de 14 dias; se o período testado fosse maior, pode ser que a taxa de recópula também resultasse maior. Porém, na natureza é provável que insetos apresentem a longevidade menor que em laboratório. Assim, apenas uma pequena proporção de fêmeas sobreviveria o suficiente para copular novamente.

Conclusões

A partir das técnicas desenvolvidas por Krüger et al (2018) e Krüger et al (2019) pode se concluir que:

Pupas irradiadas a 200 Gy, 24 horas antes da emergência dos adultos, resultam em machos e fêmeas com esterilidade reprodutiva superior a 99,5%, sem efeitos deletérios sobre sua qualidade (longevidade, habilidade de voo e capacidade de cópula dos machos).

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal de Pelotas pelo uso do irradiador, ao Laboratório de Ecologia de Insetos da Ufpel e à International Atomic Energy Agency (IAEA) pelo fomento das pesquisas, à Capes e ao CNPQ por disponibilizar recursos financeiros para bolsas de mestrado, doutorado e produtividade dos autores.

Referências

ABRAHAM, S.; CLADERA, J.; GOANE, L.; TERESA VERA, M. Factors affecting *Anastrepha fraterculus* female receptivity modulation by accessory gland products. **Journal of Insect Physiology**, v. 58, p. 1-6, 2012.

ALLINGHI, A.; GRAMAJO, C.; WILLINK, E.; VILARDI, J. Induction of sterility in *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) by gamma radiation. **Florida Entomologist**, v. 90, p. 96-102, 2007.

- ANDREAZZA, F.; HADDI, K.; OLIVEIRA, E.E.; FERREIRA, J.A.M. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) arrives at Minas Gerais State, a main strawberry production region in Brazil. **Florida Entomologist**, v. 99, n.4, p. 1-3, 2016.
- BAKRI, A.; HENDRICHS, J. Radiation doses for sterilization of tephritid fruit flies. In: INTERNATIONAL FRUIT FLY SYMPOSIUM, 6., 2002, South Africa. **Proceedings...** v. 1, p. 475-479, 2002.
- BAKRI, A.; MEHTA, K.; LANCE, D. R. Sterilizing insects with ionizing radiation. In: DYCK, V. A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. S. **Sterile Insect Technique: Principles and practices in area-wide integrated pest management**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 233-269.
- BENITO, N. P.; LOPES-DA-SILVA, M.; SANTOS, R. S. S. Potential spread and economic impact of invasive *Drosophila suzukii* in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 571–578, 2016.
- BITNER-MATHÉ, B. C.; VICTORINO, J.; FARIA, F. S. *Drosophila suzukii* has been found in tropical Atlantic Rainforest in southeastern Brazil. **Drosophila Information Service**, v. 97, p. 136- 137, 2014.
- BOUGHADAD, A.; HADDI, K.; BOUZZATI, A. E.; NASSIRI, A.; TAHIRI, A.; ANBRI, C. E.; DDAYA, T.; ZAID, A.; BIONDI, A. First record of the invasive spotted wing *Drosophila* infesting berry crops in Africa. **Journal of Pest Science**, 2020. In press.
- CALABRIA, G.; MÁCA, J.; BÄCHLI, G.; SERRA, L.; PASCUAL, M. First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. **Journal of Applied Entomology**, v. 136, p. 139-147, 2012.
- CARPENTER, J. E.; BLOEM, S.; MAREC, F. Inherited Sterility in Insects. In: DYCK, V. A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. S. **Sterile Insect Technique: Principles and practices in area-wide integrated pest management**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 115-146.
- CINI, A.; IORIATTI, C.; ANFORA, G. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. **Bulletin of Insectology**, v. 65, n. 1, p. 149-160, 2012.
- COLLINS, S. R.; WELDON, C. W.; BANOS, C.; TAYLOR, P. W. Optimizing irradiation dose for sterility induction and quality of *Bactrocera tryoni*. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 5. p. 1791-1800, 2009.
- DEPRÁ, M.; POPPE, J. L.; SCHIMTZ, H. J.; DETONI, D. C.; VALENTE, V. L. S. The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in South American Continent. **Journal of Pest Science**, v. 87, n. 3, p. 379-383, 2014.
- DIAS, N. P.; GARCIA, F. R. M. Fundamentos da Técnica do Inseto Estéril (TIE) para o controle das moscas das frutas (Diptera: Tephritidae). **Biológico**, v. 76, n. 1, p. 58-62, 2014.
- DOMINIAK, B. C.; SUNDARALINGAM, S.; JIANG, L.; FANSON, B. G.; COLLINS, S. R.; BANOS, C.; DAVIES, J. B.; TAYLOR, P. W. Evaluating irradiation dose for sterility induction and quality control of mass-produced fruit fly *Bactrocera tryoni* (Diptera: Tephritidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 3, p. 1172- 1178, 2014.
- DOMINIAK, B. C.; SUNDARALINGAM, S.; JIANG, L.; JESSUP, A. J.; BARCHIA, I. M. Quality parameters of mass produced adult Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) in 1998/1999. **Plant Protection Quarterly**, v. 22, p. 59-61, 2007.

DOS SANTOS, L. A.; MENDES, M. F.; KRÜGER, A. P.; BLAUTT, M. L.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, F. R. M. Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). **Plos One**, v. 12, p. e0174318, 2017.

FAO/IAEA/USDA. **Manual for product quality control and shipping procedures for sterile mass-reared tephritid fruit flies**. Version 5.0. Vienna: IAEA, 2003. 85 p.

GAVRIEL, S.; GAZIT, Y.; YUVAL, B. Remating by female Mediterranean fruit flies (*Ceratitis capitata*, Diptera: Tephritidae): Temporal patterns and modulation by male condition. **Journal of Insect Physiology**, v. 55, p. 637-642, 2009.

GEISLER, F. C. S.; SANTOS, J.; HOLDEFER, D. R.; GARCIA, F. R. M. Primeiro registro de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) para o estado do Paraná, Brasil e de novos hospedeiros. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 125-129, 2015.

GUTIERREZ-PALOMARES, V. M.; CIBRIAN-TOVAR, J.; ALATORRE-ROSAS, R.; QUEZADA-SALINAS, A. Effect of irradiation on quality and fertility parameters of *Drosophila suzukii* in Mexico. **Southwestern Entomologist**, v. 44, n. 3, p. 617-626, 2019.

HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S.; CAYOL, J. P.; ENKERLIN, W. Medfly areawide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: the importance of mating behavior studies. **Florida Entomologist**, v. 85, n. 1, p. 1-13, 2002.

HENNEBERRY, T. J.; MCGOVERN, W. L. Some effects of gamma radiation on fertility of *Drosophila melanogaster* and viability of sperm after multiple matings of males. **Journal of Economic Entomology**, v. 56, p. 819-822, 1963.

KRÜGER, A. P.; SCHLESENER, D. C. H.; MARTINS, L. N.; WOLLMANN, J.; DEPRÁ, M.; GARCIA, F. R. M. Effects of irradiation dose on sterility induction and quality parameters of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 2, p. 741-746, 2018.

KRÜGER, A. P.; SCHLESENER, D. C. H.; MARTINS, L. N.; WOLLMANN, J.; DEPRÁ, M.; GARCIA, F. R. M. Radiation effects on *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) reproductive behavior. **Journal of Applied Entomology**, v. 143, p. 88-94, 2019.

LANDETA-ESCAMILLA, A.; HERNÁNDEZ, E.; ARREDONDO, J.; DÍAZ-FLEISCHER, F.; PÉREZ-STAPLES, D. Male irradiation affects female remating behavior in *Anastrepha serpentina* (Diptera: Tephritidae). **Journal of Insect Physiology**, v. 85, p. 17-22, 2016.

LANOUILLE, G.; BRODEUR, J.; FOURNIER, F.; MARTEL, V.; VREYSEN, M.; CÁCERES, C.; FIRLEJ, A. The sterile insect technique for the management of the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*: Establishing the optimum irradiation dose. **PLoS ONE**, v. 12, e0180821, 2017.

LUX, S. A.; VILARDI, J. C.; LIEDO, P.; GAGGL, K.; CALCAGNO, G. E.; MUNYIRI, F. N.; VERA, M. T.; MANSO, F. Effects of irradiation on the courtship behavior of medfly (Diptera: Tephritidae) mass reared for the Sterile Insect Technique. **Florida Entomologist**, v. 85, p. 102-112, 2002.

MASTRANGELO, T.; PARKER, A. G.; JESSUP, A.; PEREIRA, R.; OROZCO-DÁVILA, D.; ISLAM, A.; DAMMALAGE, T.; WALDER, J. M. M. A new generation of X ray irradiators for insect sterilization. **Journal of Economic Entomology**, v. 103, p. 85-94, 2010.

MOSSINSON, S.; YUVAL, B. Regulation of sexual receptivity of female Mediterranean fruit flies: old hypotheses revisited and a new synthesis proposed. **Journal of Insect Physiology**, v. 49, p. 561- 567, 2003.

NEUBAUM, D. M.; WOLFNER, M. F. Mated *Drosophila melanogaster* females require a seminal fluid protein, Acp 36PE to store sperm efficiently. **Genetics**, v. 153, p. 845-857, 1999.

OROZCO, D.; HERNÁNDEZ, M. R.; MEZA, J. S.; QUINTERO, J. L. Do sterile females affect the sexual performance of sterile males of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae)? **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 5, p. 321-326, 2013.

PAITHANKAR, J. G.; DEEKSHA, K.; PATIL, R. K. Gamma radiation tolerance in different life stages of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. **International Journal of Radiation Biology**, v. 93, p. 440-448, 2017.

PAULA, M. A.; LOPES, P. H. S.; TIDON, R. First record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian savanna. **Drosophila Information Service**, v. 97, p. 113–115, 2014.

RADHAKRISHNAN, P.; TAYLOR, P. W. Ability of male Queensland fruit flies to inhibit receptivity in multiple mates, and the associated recovery of accessory glands. **Journal of Insect Physiology**, v. 54, p. 421–428, 2008.

RULL, J.; BRUNEL, O.; MENDEZ, M. E. Mass rearing history negatively affects mating success of male *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) reared for Sterile Insect Technique programs. **Journal of Economic Entomology**, v. 98, p. 1510-1516, 2005.

RULL, J.; DIAZ-FLEISCHER, F.; ARREDONDO, J. Irradiation of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) revisited: optimizing sterility induction. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, p. 1153-1159, 2007.

SANTOS, R. S. S. dos. **Ocorrência de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) atacando frutos de morango no Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. 4 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 159).

SASSU, F.; NIKOLOULI, K.; PEREIRA, R.; VREYSEN, M. J. B.; STAUFFER, C.; CÁCERES, C. Irradiation dose response under hypoxia for the application of the sterile insect technique in *Drosophila suzukii*. **PLoS ONE**, v. 14, n. 12, p. e0226582, 2019.

SCHLESENER, D. C. H.; DEPRA, M.; GARCIA, F. R. M. Impact of gamma radiation dose on sterility and quality parameters of *Anastrepha fraterculus*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2021. No prelo.

SCHLESENER, D. C. H.; WOLLMANN, J.; NUNES, A. M.; CORDEIRO, J.; GOTTSCHALK, M. S.; GARCIA, F. R. M. *Drosophila suzukii*: nova praga para a fruticultura brasileira. **Biológico**, v. 77, n. 1, p. 45-51, 2015.

SINGH, S. R.; SINGH, B. N.; HOENIGSBERG, H. F. Female remating, sperm competition and sexual selection in *Drosophila*. **Genetics and Molecular Research**, v. 1, p. 178-215, 2002.

SNELLINGS, Y.; HERRERA, B.; WILDEMANN, B.; BEELEN, M.; ZWARTS, L.; WENSELEERS, T.; CALLAERTS, P. The role of cuticular hydrocarbons in mate recognition in *Drosophila suzukii*. **Scientific Reports**, v. 8, p. 1–11, 2018.

TOLEDO, J.; RULL, J.; OROPEZA, A.; HERNANDEZ, E.; LIEDO, P. Irradiation of *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) revisited: optimizing sterility induction. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 383-389, 2004.

VILELA, R. C.; MORI, L. The invasive spotted wing drosophila (Diptera: Drosophilidae) has been found in the city of São Paulo (Brazil). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 58, p. 371-375, 2014.

WALDER, J. M. M. Técnica do Inseto Estéril - Controle genético. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. **Moscas-das-frutas de Importância Econômica no Brasil**: conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 151-158.

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

Embrapa Clima Temperado
BR 392, Km 78, Caixa Postal 403
Pelotas, RS - CEP 96010-971
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

1ª edição
Obra digitalizada (2020)



Comitê Local de Publicações
Presidente

Luís Antônio Suíta de Castro

Vice-Presidente

Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-Executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando

Jackson, Marilaine Schaun Pelufé,

Sonia Desimon

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Marilaine Schaun Pelufé

Editoração eletrônica

Fernando Jackson

Foto da capa

Paulo Lanzetta