AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DETERMINAÇÃO DAS DOSES LETAIS E ESTERILIZANTES PARA AS FASES DO CICLO DE VIDA DO *Alphitobius diaperinus* (PANZER, 1797)(COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

PAULA BERGAMIN ARTHUR

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:

Profa. Dra. Anna Lúcia C. H. Villavicencio

São Paulo

2018

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

DETERMINAÇÃO DAS DOSES LETAIS E ESTERILIZANTES PARA AS FASES DO CICLO DE VIDA DO *Alphitobius diaperinus* (PANZER, 1972)(COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

PAULA BERGAMIN ARTHUR

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:

Profa. Dra. Anna Lúcia C. H. Villavicencio

Versão Original
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa desde que seja citada a fonte.

ARTHUR, P. B. *Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797)(Coleoptera: Tenebrionidae)*. 2018. 76p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>.

Ficha catalográfica

Arthur, Paula Bergamin

Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). Paula Bergamin Arthur. Orientadora: Anna Lúcia Casanas Haasis Villavicencio.

São Paulo, 2018.

76p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Tecnologia Nuclear.

Área de concentração (Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo.

1. Irradiação. 2. Controle. 3. *Alphitobius diaperinus*. 4. Cascudinho. 4. Inseto. 1. Título.

DEDICATÓRIA

**Ofereço aos meus pais *Valter Arthur*
e *Cleide Roseli Bergamin Arthur*, pelos ensinamentos transmitidos
durante toda a trajetória da minha vida.**

E dedico

Ao meu filho *Matteo* por quem a vida continua

E

Em memória aos meus avós

Paulo Arthur e Rosina Bonato Arthur

Antonio Bergamin e Emilia Beluco Bergamin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar sempre meu caminho, pelos pensamentos, e por me dar saúde, paciência e sabedoria para o desenvolvimento deste trabalho.

A Profa. Dra. Anna Lucia C. H. Villavicencio, minha estimada orientadora, pela oportunidade, pela paciência e por acreditar mais uma vez nesse trabalho, agradeço pelas dicas, sugestões e críticas.

Ao meu pai Prof. Dr. Valter Arthur, pelo apoio, incentivo, paciência, amor, força e atenção dedicada durante a minha vida e pela co-orientação na execução deste trabalho.

Agradeço ao Rodrigo Sebastião Rossi, pela paciência, incentivo, otimismo e companhia nas horas boas e ruins, durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários, estagiários e pós-graduandos do laboratório de Radiobiologia e Ambiente do CENA/USP, pela contribuição ativa, pelas dicas, sugestões e ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação do IPEN pelas informações e conhecimentos transmitidos que contribuíram para a execução deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação de Ciências e Tecnologia Nuclear Aplicações do IPEN pela oportunidade concedida.

A todos os funcionários do Programa de Pós-Graduação do IPEN.

A CNPq, pela bolsa concedida durante o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

ARTHUR, P. B. *Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797)(Coleoptera: Tenebrionidae)*. 2018. 76p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo.

O cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) é um inseto da família Tenebrionidae originário do oeste africano, comumente encontrado em grãos armazenados e em galpões de criação de frangos de corte, matrizes e perus. É uma das principais pragas da indústria aviária em diversos países do mundo. Em razão deste fato a pesquisa teve como objetivo determinar as doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo de vida do cascudinho *A. diaperinus* visando o seu controle. O experimento foi realizado no Laboratório de Radiobiologia e Ambiente do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP. Todas as fases do ciclo evolutivo do inseto (ovo, larva, pupa e adulto) foram irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, de: 0 (controle), e de 10 - 300 Gy. Para ovos cada tratamento constou de 5 repetições com 10 ovos cada, num total de 50 por tratamento. Para larvas, pupas e adultos cada tratamento constaram de 5 repetições com 20 indivíduos cada, num total de 100 por tratamento. Após a irradiação os insetos foram mantidos em sala climatizada com $25 \pm 5^\circ\text{C}$; $75 \pm 5\%$ de umidade relativa e fotofase 12:12 hrs. Foram feitas as avaliações a cada 7 dias por um período de 49 dias da mortalidade e emergência dos adultos das fases de: ovos, larvas, pupas e adultos. O delineamento estatístico experimental para o ensaio foi inteiramente casualizado em esquema de 5x7 (5 tratamentos e 7 de avaliação). Os resultados obtidos nas avaliações foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e a comparação das medias pelo teste de Tukey a 5%, utilizando-se o sistema estatístico SAS (Statistical Analysis System, 1999). Pelos resultados obtidos concluiu-se que as dos letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo de vida do inseto, foram: ovos doses de 30 e 20 Gy; larvas 125 e 100 Gy; pupas 150 e 125 Gy e a dose esterilizante para adultos 150 Gy.

Palavras-chave: irradiação, controle, *Alphitobius diaperinus*, cascudinho, inseto.

ABSTRACT

ARTHUR, P. B. **Determination of lethal and sterilizing doses for life cycle phases of *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797)(Coleoptera: Tenebrionidae).** 2018. 76p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo.

The mealworm (*Alphitobius diaperinus*) is a family Tenebrionidae insect originally from West Africa, commonly found in stored grain and sheds creation of broilers, turkeys and matrices. It is one of the main pests of poultry industry in many countries. Because of this fact the survey was to determine the lethal and sterilizing doses for all phases of the life cycle of the mealworm *A. diaperinus* aimed at your control. The experiment was conducted at the Laboratory of Radiobiology and Environment of the Center for Nuclear Energy in Agriculture - CENA / USP. All phases of the life cycle of the insect (egg, larva, pupa and adult) were irradiated with increasing doses of gamma radiation from Cobalt-60 of: 0 (control), and 10 – 300 Gy. Each treatment to eggs consisted of 5 repetitions with 10 eggs each for a total of 50 per treatment. For larvae, pupae and adults each treatment consisted of 5 repetitions with 20 individuals each for a total of 100 per treatment. After irradiation the insects were kept in a room with $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$; $70 \pm 5\%$ relative humidity and photophase 12:12 hrs. The evaluations were done every 7 days for a 49-day period of mortality and adult emergence of stages: eggs, larvae, pupae and adults. The experimental statistical design for the test was completely randomized in a 5x7 layout (5 treatments and 7 processing). The results obtained in the evaluations were submitted to analysis of variance by F test and comparison of averages by 5% Tukey test, using the statistical system SAS (Statistical Analysis System, 1999). From the results obtained it was concluded that the lethal and sterilizing all stages in the life cycle of the insect were: egg lethal dose 30 Gy sterilizing 20 Gy; larva sterilizing and lethal dose 100 Gy and 125 Gy; pupa sterilizing and lethal dose 125 and 150 Gy and sterilizing adult dose 150 Gy.

Keywords: irradiation, control, *Alphitobius diaperinus*, mealworm, insect.

SUMÁRIO

	pagina
1. INTRODUÇÃO	10
2. ASPECTO DE ORIGINALIDADE	12
3. OBJETIVO	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1. Avicultura	13
4.2. Aspectos gerais do <i>Alphitobius diaperinus</i>	14
4.3. Pragas.de grãos armazenados	18
4.4. Controle de <i>A. diaperinus</i>	24
4.5. Controle químico.	24
4.6. Controle biológico	24
4.7. Aplicação direta das radiações ionizantes no controle de insetos	25
4.8. Aplicação indireta das radiações ionizantes no controle dos insetos pela Técnica do Inseto Estéril	37
5. MATERIAL E MÉTODOS	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
7. CONCLUSÕES.....	56
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE TABELAS

	pagina
Tabela 1 - Viabilidade média e desvio padrão de ovos, larvas eclodidas, pupas, emergência de adultos na geração P e na geração F ₁ de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.....	47
Tabela 2 - Viabilidade média e desvio padrão de ovos, larvas eclodidas, pupas, emergência de adultos na geração P e na geração F ₁ de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim	47
Tabela 3 - Numero médio e desvio padrão de pupas, adultos e gerações F ₁ provenientes de larvas de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.	49
Tabela 4 - Numero médio e desvio padrão de pupas, adultos e geração F ₁ provenientes de larvas de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim.	49
Tabela 5 - Numero médio e desvio padrão de adultos e geração F ₁ provenientes de pupas de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.	50
Tabela 6 - Numero médio e desvio padrão de adultos e geração F ₁ provenientes de pupas de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim.	51
Tabela 7 - Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações F ₁ e F ₂ provenientes de adultos de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em dieta artificial	52
Tabela 8 - Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações F ₁ e F ₂ provenientes de adultos de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em amendoim.....	52
Tabela 9 - Mortalidade media e desvio padrão de adultos de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 em dieta artificial por um período de 60 dias após a irradiação.....	53
Tabela 10 - Mortalidade media e desvio padrão de adultos de <i>Alphitobius diaperinus</i> irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 em amendoim por um período de 60 dias após a irradiação.	54

1. INTRODUÇÃO

O cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) é um inseto da família Tenebrionidae originário do oeste africano, comumente encontrado em grãos armazenados e em galpões de criação de frangos de corte, matrizes e perus. É uma das mais importantes pragas da indústria aviária em diversos países do mundo. Geralmente as aves são criadas em regime de confinamento, em ciclos que variam entre 35 e 50 dias, com intervalos entre lotes de uma a quatro semanas, portanto uma atividade bastante intensa e dinâmica. Neste sistema, as condições físicas e climáticas favorecem a proliferação de insetos (PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2007).

Em todo mundo, os ataques de insetos praga estão aumentando e preocupando os produtores com os impactos causados na produção. Na avicultura, os insetos praga provocam danos econômicos significativos todos os anos. Dentre as principais pragas avícolas, destaca-se *Alphitobius diaperinus* descrito por (PANZER, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae), popularmente conhecido como cascudinho da cama de frangos e considerado o principal inseto praga da avicultura mundial.

A. diaperinus tem maior importância em criações de aves destinadas à corte, em razão do sistema de criação utilizado: o piso é revestido por serragem, que misturado a fezes, ração excedente e água, tornam o ambiente propício ao desenvolvimento deste inseto. A população de cascudinho está localizada no solo, preferencialmente embaixo dos comedouros e bebedouros onde existe alimento abundante e umidade alta (SALIN et al., 2000; PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2007).

Um dos principais problemas causados pelo inseto é o fato das aves deixarem de se alimentar da ração balanceada e passaram a se alimentar de larvas e adultos do coleóptero, resultando heterogeneidade de animais. Além disso, é um veiculador de diversos patógenos, destacando-se enterobactérias, protozoários, fungos e viroses aviárias que podem levar às aves a morte (CHEMAKI-LIFFER et al., 2002).

No Brasil, os maiores problemas causados pelo cascudinho em aviários são as mutilações nas cortinas, o que é especialmente problemático no manejo inicial dos pintinhos. Com as cortinas danificadas não se pode ter um adequado isolamento contra ventos e nem se

manter a temperatura ideal para os pintinhos, o que prejudica seriamente o desenvolvimento inicial das aves determinando resultados insatisfatórios de ganho de peso, conversão alimentar e outros índices avaliados nas criações (SALIN et al., 2000; PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2007).

O uso indiscriminado de inseticidas químicos no controle das pragas agrícolas, como os organofosforados, carbamatos e piretróides sintéticos são tóxicos para o *A. diaperinus* mas também deixam resíduos nas estruturas e camas (PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2005, PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2007). Na maioria das vezes, os inseticidas são aplicados de forma inadequada, tem deixado resíduos na carne dos frangos e estes não podem ser exportados para o mercado europeu. Além disso, causam desequilíbrios nos ecossistemas, poluem o meio ambiente, são tóxicos ao ser humano e podem selecionar populações de insetos resistentes (JAPP; BICHO; SILVA, 2010; SALLET, 2013).

Pela exigência do mercado de exportação e conscientização da população, tem se buscado novas alternativas de controle de pragas que sejam economicamente viáveis e menos danosas ao meio ambiente e a saúde pública. Diante dessa situação, o controle pela utilização das radiações ionizantes como um método alternativo, já está sendo aplicado em muitos agros- ecossistemas no controle de insetos pragas agrícola (ARTHUR et al., 2013).

2. ASPECTO DE ORIGINALIDADE

O ataque de insetos praga está aumentando mundialmente e preocupando os produtores em razão dos danos econômicos causados na produção. Entre as principais pragas avícolas, destaca-se *Alphitobius diaperinus* popularmente conhecido como cascudinho da cama de frangos é considerado o principal inseto praga da avicultura e também praga secundária do amendoim. O controle é considerado muito difícil, e não existe nenhum método eficiente e seguro. O uso indiscriminado de inseticida químico no controle desse inseto praga é tóxico e tem alto poder residual na cama das aves e deixa resíduos na carne dos frangos impedindo a exportação. Além disso, causam desequilíbrios nos ecossistemas, poluem o meio ambiente, são tóxicos ao ser humano e os insetos praga adquirem resistência. Portanto uma das alternativas de controle para esse inseto é o uso da aplicação da radiação ionizante, por ser método eficaz, por ser um processo específico, não oferece riscos aos inimigos naturais, insetos polinizadores e ao meio ambiente.

Portanto o projeto de pesquisa é inédito para essa espécie de inseto, e os resultados obtidos são de suma importância, pois fornecerão subsídios para um possível controle da população deste inseto praga via liberação de insetos estéreis em aviários, ou no controle deste inseto via tratamento fitossanitário para desinfestação de amendoim.

3. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da radiação gama do cobalto-60 nas diferentes fases do ciclo de vida (ovo, larva, pupa e adulto) do *Alphitobius diaperinus* visando o seu controle.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Avicultura

A produção de frangos em meados da década de 1970 evoluiu da criação doméstica, para um sistema produtivo profissional. Neste período iniciaram-se as exportações brasileiras de carne de frango, e o Brasil se tornou um dos maiores exportadores mundiais (BELLUSSO e HESPANHOL, 2010). No Brasil a sua produção de corte é destinada principalmente ao mercado externo e estão concentrados principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país (ALVES et al., 2005).

A avicultura no Brasil tem se diferenciado pelo seu dinamismo produtivo, e em junho de 2017 exportou 410.102 milhões toneladas de frangos. Esse crescimento se deu principalmente em razão dos investimentos que possibilitaram maior incremento tecnológico, tanto nas áreas biológica e sanitária, como na econômica, e a busca constante por maior eficiência produtiva e diversificação de produtos. Assim, a cadeia tem demonstrado grande capacidade para captar novas tecnologias e transferi-las com maior eficiência aos consumidores finais, sob a forma de um produto mais acessível e de melhor qualidade (AVISITE, 2017).

O mercado consumidor, principalmente a Europa, tem sido cada vez mais exigente e vem buscando adquirir alimentos mais saudáveis, com menores concentrações de resíduos químicos, que causem um menor impacto ambiental e que garantam o mínimo de segurança

alimentar ao consumidor. Mesmo com o grande avanço tecnológico e organizacional a avicultura ainda se depara com diversos problemas como enfermidades e pragas. Dentre alguns dos procedimentos utilizados para a prevenção de enfermidades, destacam-se a utilização de aditivos, como os antimicrobianos, na composição da ração. Os aditivos têm a função de melhorar o desempenho da criação quanto aos parâmetros de produtividade e os agentes antimicrobianos são compostos que, em concentrações baixas, reduzem ou inibem o crescimento de microrganismos (CROMWELL, 2004).

O desenvolvimento da avicultura de corte conta com importante contribuição de empresas que possuem abatedouros e fazem uma produção descentralizada com a participação de grupos de pequenos e médios avicultores. Os avicultores constroem os galpões e recebem dessas empresas os filhotes, a ração e a assistência técnica para a produção do frango de corte. Esse sistema é conhecido como produção integrada. Esta atividade em regime de confinamento, com intervalos pequenos entre os lotes, faz com que os integrados não removam a cama de frango, e com isso aumenta proliferação de insetos nos galpões avícolas (VITAL; DROUVOY; SAMPAIO, 2009; BELLUSSO e HESPAHOL, 2010).

Neste sistema, as condições físicas e climáticas favorecem a proliferação de insetos, sendo o besouro *A. diaperinus* identificado por (PANZER, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae), conhecido como cascudinho da cama de frangos, é encontrado em altas populações (CHEMAKI-LEFFER et al., 2001).

MORAIS (2016) realizou dois experimentos, objetivou-se avaliar a distribuição e a ocorrência do cascudinho *A. diaperinus* em granjas da região do Médio Norte de Mato Grosso. O número de larvas e adultos de *A. diaperinus* decresceu com as reutilizações da cama. Houve diferença significativa do número de adultos com relação ao tratamento fermentativo, com menor população de insetos em aviários tratados. Conclui-se que existe uma correlação positiva entre a variável temperatura da cama e a infestação de larvas e adultos de cascudinho, ocorrendo um aumento da população desse inseto com o aumento da temperatura da cama. Com relação ao controle do cascudinho, constatou-se alta proliferação desse inseto no primeiro lote com cama nova, e que o tratamento da cama utilizando o método fermentativo em toda a extensão do aviário foi significativo na diminuição do número de cascudinhos adultos.

4. 2 Aspectos gerais do *Alphitobius diaperinus*

O *A. diaperinus* foi descrito por Panzer em 1797 e pertence à família Tenebrionidae, subfamília Tenebrioninae, tribo Alphitobiini (REITTER, 1917), gênero *Alphitobius* (STEPHENS, 1832), segundo definição de (DOYEN et al., 1989). Originário do leste africano onde ocorre em ninhos de pássaros e nas cavernas em guano de morcegos, se alimenta de fragmentos de detritos (McFARLANE, 1971). Conhecido popularmente como cascudinho da cama de frangos é uma espécie cosmopolita, comumente encontrado infestando resíduos de produtos úmidos estocados, e que provavelmente migrou para os aviários por meio de rações ou de fazendas vizinhas que estocavam alimentos (REZENDE et al., 2009)

O cascudinho da cama de frangos quando ingerido pelas aves, no lugar da ração balanceada, reduz a ingestão de nutrientes necessários afetando o seu desenvolvimento (UEMURA et al., 2008). Insetos e larvas de *A. diaperinus* podem causar obstrução intestinal nas aves confinadas para o abate. Este fato pode causar lesões microscópicas ao longo da parede intestinal das aves, proliferando doenças e reduzindo a ingestão de alimentos (FRANCISCO e PRADO, 2001).

Quando atingem grandes quantidades os adultos e larvas podem perfura a pele das aves, se alimentando do exsudato sanguíneo e também provocando ferimento no trato digestivo (papo e moela), podendo levar à morte filhotes recém eclodidos ou confinados em pequenos espaços (REZENDE et al., 2009). Além disso, podem contaminar a carcaça durante o processamento no abatedouro, quando é feita a extração do papo e da moela. Este inseto é também um reservatório e transmissor potencial de protozoários, platelmintos, fungos, bactérias, vírus patogênicos às aves, incluindo corona vírus (VITTORI et al., 2007).

Estudos comprovam que o *Alphitobius diaperinus* é capaz de se contaminar facilmente com salmonelas e transmitir a doença às aves que se alimentam destes insetos contaminados, mesmo que a ingestão seja apenas no primeiro dia de vida. Ainda, o cascudinho contaminado pode contaminar o ambiente de produção e a infecção pode ficar persistente por longo período, favorecendo a manutenção e a disseminação da doença a outros lotes. O controle da salmonelose aviária é particularmente difícil, já que as aves podem permanecer assintomáticas, e há diversos fatores que também contribuem para a manutenção da bactéria nos galpões aviários. Assim, para um controle mais efetivo da doença nos sistemas

de produção, é fundamental reconhecer a importância do Cascudinho. Faz-se necessário o monitoramento contínuo da infestação e a adoção de medidas corretivas. Lembre-se que, para um resultado favorável, o controle do inseto deve incluir o combate das formas adultas e larvais, o que irá interromper seu ciclo de desenvolvimento (DANTAS, 2017).

O ciclo evolutivo do *A. diaperinus* da fase de ovo a adulto, passa por oito estágios larvais em média, pela fase de pupa e adulto. A FIG. 1 ilustra cada fase do ciclo evolutivo do *A. diaperinus*.

FIGURA 1 – Fases do ciclo de vida do *A. diaperinus*. A: ovo; B: larva; C: pupa; D: inseto adulto. Fonte: LAMBKIN, 2006.

Ovos: formato esférico e em dois dias adquirem forma elíptica, cório translúcido e frágil; coloração branca leitosa brilhante, com substância adesiva pela qual se aderem entre si e/ou ao substrato. O comprimento varia de 1 a 1,17 mm e a largura de 0,5 a 0,7 mm. Após a incubação cinco dias em temperatura controlada de 28 °C, as larvas eclodem (CHEMAKILIFFER et al., 2001; SILVA et al., 2005).

Larvas: larvas recém eclodidas são de coloração leitosa do primeiro ao terceiro estágio, em seguida, apresentam uma cor de tom marrom que vai escurecendo à medida que a larva vai se desenvolvendo. A cor clara volta a cada ecdise, porém logo retorna à cor anterior. A largura da cápsula cefálica, dos diferentes estádios larvais, pode chegar a medir de 0,20 mm (1° estágio) a 1,35 mm (8° estágio). As larvas apresentam 8 estádios na temperatura de 28 °C a 30 °C já em temperaturas inferiores a 28 °C podem apresentar 11 estádios (CHEMAKILIFFER et al., 2001; SILVA et al., 2005).

Pupas: logo após a formação as pupas apresentam coloração esbranquiçada com contornos dos olhos e asas. Posteriormente, ficam marrom avermelhadas. As pupas fêmeas geralmente são maiores no comprimento (6,24 mm a 7,5 mm) e largura de 2,25 mm a 2,5 mm, pupas machos geralmente são menores que as fêmeas. Os olhos com pigmentação mais visível no final do desenvolvimento. As antenas são protegidas no sulco prosternal. Na região dorsal do protórax tem finas pontuações. As asas e élitros são rudimentares, com inúmeras estrias. O abdome apresenta margens laterais denteadas. E a porção final com urogonfos larvais e acentuado dimorfismo sexual na região ventral: as fêmeas apresentam projeções musculares esclerotinizadas, os machos possuem pequenas papilas, sem projeção definida. Na porção posterior do ventre das fêmeas tem um marcado dimorfismo sexual (FIG. 2), apresentando um apêndice genital nas fêmeas, ausente nos machos, sendo este um critério seguro na sexagem (CHEMAKI-LIFFER et al., 2001; SILVA et al., 2005; ESQUIVEL et al., 2012).

FIGURA 2 - Dimorfismo sexual de pupas de *A. diaperinus*. A: pupa macho e B: pupa fêmea. Fonte: ESQUIVEL; CRIPPEN; WARD, 2012.

Adultos: são de coloração marrom com comprimento variando de 5,5 mm a 7 mm, largura de 2,5 mm a 3,2 mm, olhos ventrais. Apresentam 3 pares de pernas com esporões localizados no ápice das tíbias. Nas pernas médias e posteriores os espinhos da tíbia são curvos nos machos e retos nas fêmeas. Os élitros são truncados na base, com 8 fileiras de estrias pontuadas, cada ponto com uma pequena cerda e epipleura estreita. As asas são membranosas com venação pouco reduzida, com os 3 escleritos axilares definidos; abdome com esternos visíveis em ambos os sexos. A genitália da fêmea é composta pelo oitavo e nono segmentos abdominais; além desses segmentos, ocorre um apódema que sustenta toda a estrutura genital. A espermateca possui a forma de um C com tamanho equivalente a 1/3 da estrutura dos coxitos. A genitália do macho é formada pelos sétimo, oitavo e nono segmentos abdominais, além do espículo gastral; nono segmento invaginado e composto pelo pênis

esclerotizado que abriga um saco interno de onde sai o dueto ejaculatório (CHEMAKI-LIFFER et al., 2001; SILVA et al., 2005) (FIG. 3).

FIGURA. 3 – Fase adulta do *A. diaperinus* : A – <http://www.blog.ruralpecuaria.com.br>; B - <http://www.blomarkan.com.br>; C - ARTHUR, 2016.

O ciclo de vida do *A. diaperinus* depende muito da temperatura e ocorre em aproximadamente 55 dias na temperatura de 27 °C e 80 % de umidade relativa. Após 5 dias da oviposição, eclode uma larva esbranquiçada. A fase larval dura ao redor de 38 dias, passando por 11 estágios de desenvolvimento. Após 5 dias da empupação emergem os adultos que apresentam uma coloração branca e adquirem coloração característica (marrom). A reprodução dos adultos ocorre em média 20 dias após a emergência (SILVA et al., 2005).

As larvas de últimos estágios, pupas e adultos geralmente são localizadas no solo, em aproximadamente a 10 cm de profundidade, abaixo dos comedouros, onde o substrato apresenta-se mais denso, compactado e umidade baixa. Em relação do seu hábito alimentar faz com que o *A. diaperinus* seja um veiculador de diversos patógenos (CHEMAKI-FILLER et al., 2001; CHEMAKI-FILLER et al., 2002). Segundo JAPP et al., (2010) o *A. diaperinus* não é só causador de doenças aos animais mas também aos humanos tais como: sintomas alérgicos, urticárias, angioedema, asma e conjuntivite. Os cascudinhos podem também provocar danos nas instalações avícolas, por produzir túneis e orifícios nos equipamentos tornando-se um sério problema para a indústria avícola (SOUZA et al., 2009; ROGOVSKI e POVALUK, 2017).

4. 3 Pragas de grãos armazenados

O amendoim *Arachis hypogaea* (L.) é uma das oleaginosas mais plantada no mundo, é utilizada principalmente na produção de óleo comestível, confeitos, doces, pastas, ou mesmo para o consumo in natura. A produção brasileira de amendoim, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), foi estimada em aproximadamente em 410 mil toneladas. Deste total, somente o estado de São Paulo produziu aproximadamente 90%, ou seja 372,6 mil toneladas. A cultura está expandindo isso porque têm recebido inovações tecnológicas tais como: plantio de cultivares mais produtivas, colheita mecanizada, melhoria nos processos de pós-colheita e no controle de qualidade do produto.

O armazenamento do amendoim no Brasil geralmente é realizado em condições desfavoráveis para a sua conservação, conseqüentemente originando o ataque de insetos. A maioria dos insetos de grãos armazenados encontrados em sementes são os das ordens Coleoptera e Lepidoptera, sendo que mais de 600 espécies da ordem Coleoptera estão associados a produtos e grãos armazenados (PACHECO e PAULA, 1995).

Portanto o gênero *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), é uma praga cosmopolita, do grupo das pragas secundárias que ataca vários produtos armazenados entre eles o amendoim, produtos de cereais e de ração animal (SILVA et al., 2005a; BICHO et al., 2005; SILVA e FARONI, 1998).

Quando os insetos se alimentarem dos grãos armazenados eles provocam furos, perdas de peso deixam resíduos, além de alterações na composição química, redução no percentual de germinação e vigor das sementes, e conseqüentemente, um menor valor comercial (ALMEIDA, 1989).

No controle das pragas de grãos armazenados, o controle químico tem sido o mais utilizado por ser efetivo e de fácil manejo (COELHO et al., 2000). Os principais problemas na utilização dos produtos químicos são os efeitos adversos ao meio ambiente e, principalmente, aos inimigos naturais. E fatores como intoxicação de operadores, resíduos excessivos e resistência de insetos a inseticidas que cada vez mais vem limitando ao uso desses produtos (ALMEIDA et al., 2005).

Os produtos naturais extraídos de plantas têm se constituído numa alternativa importante para o programa de controle de pragas por serem mais seletivos e menos danosos

ao meio ambiente. Dentre estes, os produtos derivados da *Azadirachta indica*, o nim têm se destacado por apresentarem eficiência contra várias espécies de insetos-praga. É uma árvore da família Meliaceae, conhecida há séculos, principalmente na Índia, por sua ação medicinal, e nas últimas décadas seu estudo têm se difundido devido às substâncias inseticidas presentes nas folhas e frutos. Dentre os mais de 40 terpenóides já identificados na planta e que possuem ação contra insetos, a azadiractina é o composto mais eficiente. Esses compostos têm grande potencial no controle de pragas, apresentam toxicidade extremamente baixa aos vertebrados, sendo praticamente inócuos, causando baixo impacto ao ambiente (CARNEIRO et al., 2007).

JUNIOR et al., (2010) concluíram que os óleos essenciais de sassafrás e eucalipto podem ser empregados para o controle do cascudinho como uma nova estratégia no manejo integrado dessa praga.

JACOMINI et al., 2016 avaliaram o efeito do extrato de tabaco no controle do besouro cascudinho do aviário *Alphitobius diaperinus*. Utilizaram quatro tempos de contato (2½, 5, 7½ e 10 min.) e quatro concentrações do extrato de tabaco (0, 25, 50 e 75% de diluição). O tempo de contato e as diluições do extrato foram independentes; entretanto, o tempo de contato exerceu maior influência na mortalidade do inseto. O extrato de tabaco tem potencial inseticida no manejo de aviários, mas testes de toxicidade devem ser realizados com as aves.

Durante o período de armazenamento, os grãos e seus derivados são atacados por um grande número de espécies de insetos-praga, que causa prejuízos elevados nesses produtos. As perdas quantitativas anuais causadas por essas pragas são estimadas na ordem de 10% da produção mundial, o que equivale à quantidade de grãos necessária para alimentar 130 milhões de pessoas durante um ano de acordo com dados da FAO (Food and Agriculture Organization). Para o Brasil as perdas de grãos atingiram um índice de 10%, ou seja, cerca de 9,8 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (INDICADORES AGROPECUÁRIOS, 2004; MAPA 2018).

Entre os insetos e ácaros associados a essa cultura do amendoim e com potencial para alcançar o status de praga, são reconhecidos três principais grupos: os de hábito subterrâneo (pragas de solo), os que ocorrem infestando a parte aérea da planta e os que atacam os grãos armazenados. Neste último grupo são reconhecidas como principais pragas a

traça das vagens *Corcyra cephalonica*, *Tribolium castaneum* e o *Alphitobius diaperinus* (ALMEIDA, 2005).

As pragas de produtos armazenados são caracterizadas pela sua alta fecundidade e pelo elevado número de gerações que ocorre por ano, características essas que lhes permitem, a partir de uma pequena infestação inicial, atingir densidades populacionais elevadas, capazes de provocar grandes prejuízos, num período de tempo relativamente curto (ALMEIDA, 1989).

De acordo com GALLO et al., (2002), os insetos encontrados nos produtos armazenados podem ser classificados, segundo seus hábitos alimentares, em três grupos: pragas primárias, as quais são capazes de atacar os grãos íntegros e sadios; pragas secundárias, as quais não atacam os grãos íntegros, alimentando-se de grãos previamente danificados pelos insetos primários, acidentalmente quebrados ou trincados, com defeitos na casca e que apresentam infecção fúngica; e pragas associadas, que não atacam os grãos, alimentando-se apenas dos detritos e fungos. O *T. castaneum* e *A. diaperinus* enquadram-se ao grupo das secundárias.

O gênero *Alphitobius* (Coleoptera: Tenebrionidae), conhecido vulgarmente no Brasil como “cascudinho”, é uma praga cosmopolita comumente encontrada em grãos armazenados (FRANCISCO e PRADO, 2001). Os danos provocados por esse inseto estão relacionados ao aquecimento da massa de grãos e ao surgimento de patógenos (PUZZI, 2000). Dentre as espécies que atacam os produtos armazenados pode-se citar o *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) e o *Alphitobius laevigatus* (Fabr., 1781), destacando-se o primeiro entre os principais insetos-praga estudados.

A. diaperinus é uma praga secundária de grãos e se alimenta de produtos cereais e de ração animal. Considerada mundialmente como uma das principais pragas da avicultura moderna, foi introduzida em sistemas de produção animal, provavelmente, por meio de ração contaminada, dispersando-se e adaptando-se rapidamente às condições dos aviários (PACHECO e PAULA, 1995; SILVA et al., 2001; BICHO et al., 2005; CAMARGO NETO et al., 2006).

Além do *A. diaperinus* existem outras espécies e até outros gêneros da família Tenebrionidae que causam problemas em aviários como *Alphitobius piceus*, *Tribolium sp.* Da família Dermestidae o *Dermestes maculatus* é o mais comum. A atuação desses outros insetos como causadores de prejuízos na produção avícola, ainda não é bem conhecida ficando então a importância mais restrita ao *A. diaperinus* (PACHECO e PAULA, 1995; SILVA et al., 2001; BICHO et al., 2005).

A temperatura de 32 °C o ciclo de vida do *A. diaperinus*, que corresponde ao período de oviposição até a fase adulta, é completado em aproximadamente em 46 dias, sendo que 90% dos estágios imaturos atingem a fase adulta. Na temperatura de 16°C o desenvolvimento do ciclo de ovo a adulto ocorre em aproximadamente 92 dias, e a sobrevivência é reduzida em aproximadamente 30% (EVANS, 1981).

Em laboratório o *A. diaperinus*, alimentado com ração comercial para coelhos a temperatura de 27 °C e umidade relativa de 80%, o ciclo biológico é completado em 55 dias. Nessas condições, o período de pré-oviposição é de três dias e o período de incubação é de 5 dias. Os ovos são depositados entre as ranhuras da ração para facilitar a primeira alimentação das larvas e para proteção, pois não possuem suficiente quitinização, tornando-as vulneráveis às adversidades do meio em que vivem (SILVA et al., 2005).

As larvas do *A. diaperinus* possuem formato cilíndrico e no decorrer do desenvolvimento a coloração varia de branca a marrom, passando por de oito a onze estágios (EVANS, 1981). Sob condições climáticas de temperatura constante de 27°C e umidade e relativa de 80%, o período larval tem duração de 38 dias com 8 estágios, com mortalidade de 40% nos primeiros 15 dias após a eclosão. As pupas apresentam coloração esbranquiçada e são parecidas como o adulto. O período de pupa é de 5 dias com taxa de sobrevivência de 100%. Os adultos apresentam coloração branca e sem quitinização, a qual é adquirida em 4 dias, passando a coloração marrom-avermelhada (SILVA et al., 2005).

O controle de insetos-praga de grãos armazenados tem sido realizado em larga escala por meio de produtos químicos (COELHO et al., 2000). A alta capacidade reprodutiva aliada ao poder de infestação cruzada e a grande capacidade de destruição dos insetos que atacam os grãos, portanto justificam o uso destes produtos que induzem a mortalidade total das pragas, inclusive das formas jovens. Esses produtos também funcionam como controle

preventivo mesmo quando aparentemente não haja infestações no produto armazenado (CAMPOS, 2005).

A fumigação e o expurgo são as principais medidas de controle adotadas com o intuito de eliminar as pragas dos grãos e produtos armazenados em todas suas fases, através de inseticidas voláteis, procurando atingir 100% de eficiência, não conferindo imunidade aos grãos (PUZZI, 2000; GALLO et al., 2002; CAMPOS, 2005). Entretanto, seu uso indiscriminado tem levado ao desenvolvimento da resistência em insetos pragas, devido à alta frequência de aplicações de dosagens incorretas em períodos de exposição inadequados e em ambientes não herméticos. Esta resistência leva ao uso de dosagens cada vez mais elevadas, ao aumento de tempo de exposição, aos níveis inaceitáveis de resíduos, à possibilidade de intoxicação dos operadores e, conseqüentemente o aumento de custos sociais, ambientais e de produção (COELHO et al., 2000).

Relatos sobre o surgimento de mecanismos de resistência a tratamentos químicos em várias espécies de insetos têm sido cada vez mais constantes (MARTINAZZO et al., 2000). PACHECO et al., (1990) constataram a resistência a fosfina em populações de *Sitophilus oryzae*, *Rhyzopertha dominica*, *Cryptolestes* sp. e *T. castaneum*.

MILLS e ATHIÉ (2000a e 2000b) constataram o efeito da fumigação com fosfina em estágios imaturos de *S. oryzae* resistentes e suscetíveis em trigo e detectou que houve maior tolerância das pupas, possivelmente devido a um incremento do(s) mecanismo(s) de resistência (genes de resistência) ou devido a mecanismos adicionais, como a elevada frequência de espécies homozigóticas.

ATHIÉ et al., (2001) também verificaram resistência à fosfina em populações de *R. dominica* e *T. castaneum*. Segundo BECKEL et al., (2004) o comportamento *R. dominica* em superfície tratada com deltametrina é alterado em função do nível de resistência ao inseticida.

LAMBKIN e RICE (2006) verificaram a resistência ao piretróide ciflutrina por populações de *A. diaperinus*, os resultados apresentaram uma correlação positiva entre o grau de resistência e o número de aplicações do inseticida. Além do uso inadequado de medidas de controle de pragas que ocasionam as maiores perdas, a exemplo dos produtos químicos.

Também grande parte das safras agrícolas de grãos se perde anualmente, devido às falhas de colheita no transporte e no armazenamento (CAMPOS, 2005).

O conhecimento desses prejuízos face às diversas causas acima citadas e principalmente as provenientes do uso indiscriminado dos produtos químicos, além da preocupação dos consumidores quanto à qualidade dos alimentos, têm incentivado estudos relacionados a novos métodos de controle de pragas. (ARTHUR et al., 2013).

Uma alternativa para o controle de insetos-praga de grãos é o uso de plantas inseticidas, considerado um dos métodos mais estudado em todo o mundo para o controle de pragas de produtos armazenados (PROCÓPIO et al., 2003).

4. 4 Controle do *A. diaperinus*

O controle do *A. diaperinus* é considerado difícil, seus inimigos naturais são poucos conhecidos e atualmente ainda não existe nenhum método eficiente e seguro. Os existentes são de difícil aplicação em razão dos ambientes habitados por esses insetos.

4. 5 Controle químico

Os piretróides e organofosforados são os mais utilizados no controle do *A. diaperinus*, mas apresentam algumas desvantagens tais como: levam a seleção de populações de insetos resistentes, contaminam o ambiente e as aves, sendo uma barreira comercial para exportação de carne. Porque a União Européia não aceita o uso de determinados produtos químicos no controle de insetos. A eficácia desses produtos é limitada em razão do hábito dos insetos que se alojam abaixo da superfície da cama das aves. A limpeza frequente do aviário, com a remoção da cama dos animais, é uma das formas de reduzir o número de insetos (REZENDE et al., 2009).

CHERNAKI-LAFFER et al., (2001) utilizaram reguladores de crescimento tais como: clorfluazurom, triflumurum, diflubenzurom, lufenurom e metoxifenoazide em larvas de cascudinhos em condições de laboratório e concluíram que a maior mortalidade foi de 76,7 % com clorfluazurom.

4. 6 Controle biológico

Diversas pesquisas estão sendo realizadas com utilização de agentes biológicos que ocorrem naturalmente, como é o caso da *Beauveria bassiana*, devido principalmente as condições de temperatura e umidade que se mantém na cama de frango, que favorece o desenvolvimento desse agente biológico (SANTORO et al., 2008; ALMEIDA e FILHO, 2006).

Já os nematóides entomopatogênicos como *Steinernema glaseri* e *S. carpocapsae* foram pesquisados em larvas e adultos de cascudinhos, e as larvas foram mais susceptíveis que os adultos ao ataque do nematóide *S. carpocapsae* com uma patogenicidade maior que o *S. glaseri* sendo menor que 48%. Os produtos a base de nematóides e fungos entomopatogênicos ainda não estão sendo produzidos em escala comercial, necessitando de mais estudos com relação ao modo de aplicação nos aviários (ALVES et al., 2005).

REZENDE et al., (2009) em um experimento visando a avaliação da atividade dos fungos *B. bassiana*, *Cladosporium* sp. e *Trichoderma* sp., em larvas e adultos de *A. diaperinus*, fizeram a inoculação de suspensões de conídios na concentração de 107 conídios por mL⁻¹. Verificaram que o isolado de *B. bassiana* induziu uma maior mortalidade em insetos em comparação com os demais fungos, sendo que as larvas foram mais sensíveis do que os adultos. A mortalidade foi confirmada pela ação de *B. bassiana* de 95 % e 62,5 % para as larvas e adultos respectivamente.

GAZONI et al., (2012) trabalharam com um isolado de *B. bassiana* visando o controle de *A. diaperinus*, e aplicaram uma suspensão de conídios 3,83 x 10⁸ por mL⁻¹. Concluíram que essa suspensão não foi suficiente para causar a mortalidade de larvas e adultos dos insetos após sete dias da aplicação.

Existem no Brasil alguns programas de controle biológico de pragas utilizando os entomopatógenos, mas ainda são inexpressivos os estudos com a utilização de nematóides, fungos e bactérias como bioinseticidas, mas são poucos que enfatizam a biodiversidade das espécies e da eficiência dos isolados (RODRIGUEIRO et al., 2008; BIOCONTROLE, 2017)

4. 7 Aplicação direta das radiações ionizantes no controle de insetos

Como já foi citado anteriormente os insetos das ordens Lepidoptera e Coleoptera são os mais importantes pragas dos grãos e produtos armazenados. Devido a isso algumas medidas de controle são adotadas visando solucionar os danos e perdas ocasionadas pelos insetos tais como: boas práticas de armazenamento, monitoramento das pragas e tratamento químico, este por sua vez, acabam causando alguns danos, além da resistência dos insetos aos princípios ativos utilizados na composição dos produtos químicos, e devido a esses problemas, existe a necessidade de métodos de controle mais eficientes com custo baixo. Portanto a irradiação por inúmeros fatores vem se apresentando como a melhor solução no controle de pragas (FOLLETT et al., 2013; HALLMAN, 2013; ARTHUR, 1997; RAMOS, 2009; ARTHUR; MACHI; MASTRANGENO, (2015).

A partir de 1950 houve um grande avanço nesse tipo de pesquisa. Alguns fatores como a descoberta da resistência de certas pragas aos produtos químicos, o desequilíbrio biológico e os problemas toxicológicos causados por estes produtos, contribuíram para esse avanço. A irradiação dos produtos armazenados pode solucionar esses tipos de problemas, uma vez que não induz o aparecimento de resistência (HOSSAIN; BROWER; TILTON, 1972) e nem resíduos (ARTHUR et al., 1973; ARTHUR, 1985; ARTHUR, 1997; WIENDL et al., 1973 e 1974).

Devido aos problemas expostos com relação ao controle de insetos pragas de grãos e produtos armazenados referente às duas ordens de maior importância econômica os Lepidopteros e Coleopteros os trabalhos com a aplicação da radiação visando o controle foram citados separadamente para cada uma das ordens.

Trabalhos com aplicação da radiação no controle de insetos pragas de grãos e produtos armazenados da ordem Lepidoptera, tais como: *Corcyra cephalonica*, *Plodia interpunctella*, *Ephestia cautella* etc., apesar de não ser especificamente o foco principal do trabalho, estão sendo apresentados na revisão de literatura porque essas traças também atacam o amendoim.

O primeiro trabalho com irradiação de insetos no Brasil foi realizado por GALLO (1960), que irradiou pupas de *Ceratitis capitata* e pupas de *Diatraea*

saccharalis com radiação gama do Berílio, com o objetivo de esterilizar os insetos adultos. Mas não obteve resultado satisfatório devido a baixa atividade da fonte de radiação.

QURESHI et al., (1969) observaram os efeitos da radiação gama em pré-pupas de *Sitotroga cerealella*, colocando fêmeas irradiadas com 100 Gy em contato com machos virgens e vice-versa, sendo que tais cruzamentos não permitiram a obtenção de ovos viáveis. A dose de 200 Gy em pupas foi suficiente para induzir a esterilidade e a deformação das asas dos adultos emergidos de ambos os sexo. Nos adultos irradiados a dose de 250 Gy não foi suficiente para induzir a esterilidade.

BECNZER e FARKAS (1974) irradiaram todos os estágios de *Plodia interpunctella* e puderam observar que ovos são mais radiosensíveis das fases imaturas, sendo que a dose de 350 Gy foi suficiente para a desinfestação de produtos que contém ovos e larvas, mas para esterilizar o ciclo completo da praga é necessário a utilização de uma dose de 700 Gy.

GROSU (1976) irradiou todas as fases do ciclo evolutivo de *Plodia interpunctella* com radiação gama, sendo que a dose de 250 Gy inibiu completamente a eclosão das larvas, 400 Gy esterilizou os adultos provenientes de larvas irradiadas, e a dose esterilizante para os adultos provenientes de crisálidas irradiadas foi de 300 a 400 Gy para fêmeas e machos. A dose esterilizante para adultos foi maior que 400 Gy.

RODRIGUES et al., (1981) determinaram que as doses letais para ovos, e a esterilizante para adultos de *Sitotroga cerealella* foram respectivamente, 100 e 1000 Gy. Concluíram que a dose de 1 kGy pode ser usada para controlar essa praga em milho armazenado.

ASSAD e SHIKRENOV (1983) observaram que 100% dos ovos de *Euphestia kiuehniella*, não se desenvolveram quando foram irradiados com uma dose de 60 Gy. As larvas jovens quando irradiadas com as doses de 200 a 220 Gy, apresentaram 100% de mortalidade, 60 dias após o tratamento, para as larvas mais velhas, demoraram 70 dias para atingir uma mortalidade total com a dose de 200 Gy, e na maior dose de 220 Gy, este efeito só foi obtido aos 50 dias.

TSVETKOV e ATANASOV (1983) irradiaram ovos de *Euphestia kuehniella* e observaram os seguintes resultados: os ovos de 3 dias se tornaram completamente estéreis com a dose de 50 Gy, sendo o mesmo efeito observado nos ovos mais velhos, quando irradiados com a dose de 150 Gy, ou seja, estes são mais radioresistentes do que os ovos mais novos. No tratamento com pupas, os autores observaram que a dose de 300 Gy foi 100% letal para as pupas de 3 dias de idade, enquanto foi necessária a dose de 700 Gy, para causar o mesmo efeito para as pupas de 1 dia de idade.

RODRIGUES et al., (1983) observaram que a dose de 140 Krad foi totalmente letal para os ovos de *Sitotroga cerealella*, e que as doses variando de 300 a 320 Krad, não causaram a letalidade imediata da praga, mas essa letalidade foi obtida somente 2 dias após a irradiação dos insetos.

ARTHUR et al., (1984) observaram que a dose de 200 Gy causou a esterilidade nos adultos de *Plodia interpunctella*. Concluíram que essa dose pode ser empregada para o controle dessa praga em farinha de trigo armazenada.

ARTHUR (1985) irradiou as fases do ciclo evolutivo de *Sitotroga cerealella* e concluiu que a dose de 125 Gy foi letal para ovos e as doses de 150, 250 Gy foram esterilizantes para adultos provenientes de lagartas, crisálidas irradiadas respectivamente e a esterilizante para adultos foi a dose de 500 Gy. Já a dose letal imediata para adultos foi a de 4750 Gy. Concluiu que a dose de 500 Gy pode ser aplicada para o controle dessa praga em arroz e milho armazenado.

AHMED et al., (1985) observaram que a dose de 100 Gy de radiação gama, aplicada sobre pupas de 1 ou 2 dias de idade de *Euphestia kuehniella*, impediu a emergência de adultos, enquanto a dose de 600 Gy, provocou 100% de mortalidade nas pupas. Já as doses de 250 e 450 Gy, induziram a completa esterilização das fêmeas e machos, provenientes das pupas irradiadas respectivamente.

GYULAI et al., (1987) observaram que a dose de 400 Gy, foi suficiente para inibir a emergência de adultos, provenientes dos ovos, larvas e pupas de *Plodia interpunctella*, irradiadas, indicaram essa dose para o controle dessa praga em farinhas armazenadas.

ARTHUR (1988) irradiou lagartas de *Plodia interpunctella* com doses de 50 até 500 Gy em farinha de trigo. Concluiu que a dose de letal para as lagartas foi a de 150 Gy. Concluiu que houve um aumento na esperança de vida das lagartas superior a 100% para todos os tratamentos em relação a testemunha.

TAMBORLIN (1988) observou que as doses de 160 e 250 Gy de radiação gama, causaram a esterilização de adultos, provenientes, respectivamente, de larvas e pupas irradiadas de *Plodia interpunctella*. Para os adultos irradiados, a dose de 250 Gy causou a esterilização das fêmeas, o mesmo efeito foi obtido com os adultos machos, com uma dose de 300 Gy. Portanto uma dose de 350 Gy deve ser usada para o controle dessa praga.

DIEHL (1990) afirmou que diversos países permitem a irradiação de produtos e grãos armazenados para o tratamento fitossanitário de insetos com uma dose de 1 kGy.

BHUIYA et al., (1991) observaram que a dose de 400 Gy, aplicada em grãos de mostarda e sésamo, impediu o desenvolvimento de ovos, larvas e pupas de *Sitotroga cerealella* e *Oryzaephilus surinamensis*. No mesmo experimento constataram que as doses de 50, 200 e 500 Gy, aplicadas sobre as formas imaturas de *Lesioderma serricone*, propiciaram respectivamente, os seguintes resultados: não emergência de adultos provenientes dos ovos, não emergência de adultos provenientes de larvas e 36% de emergência de adultos, que sobreviveram somente 7 dias. Concluíram que a dose de 400 Gy pode ser aplicada para o tratamento fitossanitário dessas pragas.

ETMAN et al., (1991) observaram que a dose de 500 Gy de radiação gama, sobre os insetos adultos de *Corcyra cephalonica*, induziram a esterilidade total nos machos e fêmeas irradiadas. Concluíram que essa dose pode ser aplicada para controlar essa praga em arroz.

BOSIDRA e HASABALLA (1993) estudaram os efeitos das doses de radiação gama com doses variando de 100 a 650 Gy, sobre os adultos de *Plodia interpunctella*, observaram que as fêmeas foram mais radiosensíveis do que os machos, no tocante a esterilização, uma vez que a completa esterilidade dos machos e fêmeas foi obtida,

respectivamente, com as doses de 500 e 650 Gy. Concluíram que uma dose de 650 Gy pode ser aplicada para o controle de praga.

ARTHUR (1999) irradiou adultos de *Sitotrogra cerealella* em milho com doses de 200 a 400 Gy. Concluiu que a dose de 400 Gy foi suficiente para controlar machos e fêmeas dessa espécie de inseto em milho armazenado.

AYVAZ e TUNÇBILEK (2006) estudaram os efeitos da radiação gama sobre os estagios de vida (ovo, larva, pupa e adulto) de *Ephestia kuehniella*, com doses variando de 50 a 550 Gy. Concluíram que as doses de 200 e 250 Gy foram suficientes para inibir a emergência de adultos e que a dose de 300 Gy foi a esterilizante para os adultos, sendo essa dose a recomendada para o controle dessa praga.

FOLLETT (2009) citou que a dose genérica de radiação para o tratamento quarentenário para todos os insetos com exceção de pupas de lepidópteros a de 400 Gy suficiente para o tratamento fitossanitário.

GAOA et al., (2010) utilizaram energia da radio frequência como um método alternativo ao uso de fumegantes químicos para controlar *Plodia interpunctella*. Concluíram que os tempos de 6,4 e 8.8 minutos aplicados nos insetos foram os que apresentaram resultados satisfatórios no controle desse inseto.

ABBAS et al., (2011) irradiaram ovos, larvas e pupas de *Plodia interpunctella* com doses de 400 a 650 Gy e concluíram que a dose de 650 Gy foi suficiente para controlar todas as fases e que o processo de irradiação pode ser usado como um método alternativo de controle para pragas de produtos armazenados.

ARTHUR et. al., (2012) afirmaram a importância do tratamento quarentenário de pragas de importância agrícola pelas radiações ionizantes. Concluíram que uma dose de 400 Gy é suficiente para controlar essas pragas.

HALLMAN, (2012) e HALLMAN et al., (2013) sugeriram uma dose de 250 Gy para o tratamento quarentenário de ovos e larvas de lepidópteros de um modo geral.

SALEHI, et al., (2016) observaram os efeitos do ultrassom em diferentes frequências nas larvas, pupas e adultos de *Ephestia kuhniella* uma das mais importantes pragas de produtos armazenados. Concluíram que os insetos são altamente repelidos pelo efeito do ultrassom nas frequências de 43–45 kHz, podendo essa tecnologia ser aplicada para o controle dessa praga em locais de armazenamento ou em silos.

Como um dos efeitos causados nos insetos, talvez o mais marcante seja a esterilização. A esterilização depende das espécies estudadas, hábitos e demais características biológicas. De um modo geral podemos dizer que para os Lepidopteros pragas de grãos e produtos armazenados podem variar de 300 a 600 Gy.

A seguir serão relatados os trabalhos com aplicação da radiação no controle de insetos pragas de grãos e produtos armazenados da ordem Coleoptera.

HUNTER (1912) foi o pioneiro a utilizar radiação ionizante em entomologia, empregando raio-X no controle de *Sitophilus oryzae*, praga do arroz embora não obtivesse resultados satisfatórios, isso porque a ampola utilizada emitia radiações ionizantes de baixa energia.

RUNNER (1916) foi o primeiro autor, a provar a utilidade de radiação ionizante no controle de insetos, pois conseguiu esterilizar adultos de *Lasioderma serricone*, praga do fumo armazenado com a utilização de raio-X.

WIENDL (1969) irradiou todas as fases do ciclo evolutivo de *Zabrotes subfasciatus*, com doses crescentes de radiação gama e concluiu que uma dose de 80 Gy foi suficiente para controlar todas as fases do ciclo evolutivo do inseto.

WIENDL (1972) determinou a dose esterilizante para adultos de *Sitophilus zeamais* em milho no Brasil como sendo a dose de 8 krad, e que essa pode ser aplicada em milho infestado para o controle dessa praga.

PACHECO (1973) irradiou pupas de *Sitophilus oryzae* e determinou que a dose de 7.800 rads foi a que causou 100% na mortalidade das pupas sendo essa dose suficiente para a fase de pupa em arroz.

ARTHUR; WIENDL; FRANCO, (1974) irradiaram adultos de *Sitophilus granarius* em grãos de trigo com doses de 50 a 150 Gy. Concluíram que houve uma redução significativa na longevidade dos adultos irradiados e ausência de insetos emergidos a partir da dose de 60 Gy. Lembrando que uma população estéril é uma população extinta desde que não haja introdução de novos indivíduos férteis, a massa de grão estará protegida. E que a irradiação gama como método de proteção quarentenária contra *S. granarius* é exequível e recomendável.

ARTHUR (1974) irradiou com doses crescentes de radiação pupas de *Tribolium castenueum* com idade de 1 a 5 dias e concluiu que a dose letal foi a de 46 krad e a esterilizante foi a de 15 krad. Concluiu que a dose de 15 krad pode ser utilizada para o controle desse inseto em farinha de trigo.

WIENDL e ARTHUR (1974) estudaram a mortalidade de *Rhyzopertha dominica* em arroz irradiado com doses de até 5.000 krad e concluíram que o aumento da longevidade dos insetos foi proporcional ao aumento da dose de radiação.

ARTHUR et al., (1979) irradiaram larvas e pupas de *Acanthoscelides obtectus* com doses de 3 até 12 krad e observaram a emergência de adultos. Concluíram que a dose de 11,82 krad foi a letal para larvas, já para pupas a dose foi de 13,86 krad. A dose esterilizante para adultos irradiados na fase de pupa foi a de 3 krad. Portanto uma dose de 11,82 krad pode ser utilizada para o controle dessa praga em feijão.

ARTHUR et al., (1980) irradiaram adultos de *A. obtectus* com doses de 5 até 20 krad e concluíram que a dose esterilizante foi 10,65 krad, recomendaram essa dose para o controle dessa praga.

COSTA et. al., (1985) irradiaram adultos de *Rhyzopertha dominica* com doses de 60 até 120 Gy e concluíram que doses de 60 e 70 Gy aumentaram a esperança de vida dos insetos em até 21% e que doses maiores diminuíram em até 47%. Já a dose esterilizante foi a de 100 Gy.

ARTHUR, et. al., (1987) irradiaram *Sitophilus granarius* com doses de 40 até 100 Gy de radiação gama fracionadas em 3 vezes e não fracionadas. Concluíram que doses agudas de radiação maiores efeitos deletérios nos insetos. A dose esterilizante para os insetos foram de 60 e 90 Gy respectivamente quando irradiados com doses agudas e fracionadas.

ARTHUR, et. al., (1990) observaram a longevidade e reprodução de adultos de *Sitophilus oryzae*, em arroz irradiado com doses de 1 até 4 kGy. Concluíram que a irradiação não afetou as características do arroz portanto não afetou a longevidade e nem a reprodução dos insetos.

LORENZO (1990) aplicou doses de 0,2 a 1.0 kGy de radiações gama provenientes do Cobalto-60 para controlar *Lasioderma serricorne*, *Alphitobius diaperinus* e espécies de *Tenebrionideos* em arroz.. Concluiu que a dose of 0.6 kGy foi eficiente para controlar esses insetos em arroz armazenado.

FRANCO (1991) irradiou com doses crescentes de radiação gama as três espécies de *Sitophilus*: *oryzae*, *zeamais* e *granarius* e concluiu que o *S. granarius* foi o que apresentou maior resistência em relação as outras duas espécies. Foi necessária uma dose de 80 Gy para induzir a sua esterilização.

ARTHUR, et. al., (1993) irradiaram adultos de *Sphenophoru levis* com uma dose de 25 Gy e após cruzamento com insetos normais observou-se ausência total de descendentes sem o decréscimo da competitividade entre os insetos. Concluíram que esta metodologia pode servir de base aos programas da técnica do inseto estéril para controlar essa praga em campo.

ARTHUR, et. al., (1993) irradiaram adultos de *Rhyzopertha dominica* com doses de 50 até 250 Gy em um acelerador linear de elétrons com energia de aproximadamente 5 MeV, e concluíram que as doses de 150 Gy e 250 Gy foram as subesterilizante e esterilizante para essa espécie de insetos.

FONTES e ARTHUR (1994) determinaram a dose esterilizante e letal para ovos de *T. castaneum*, e aplicaram doses crescentes de radiação gama do cobalto-60. Concluíram que a dose letal e esterilizante para os ovos foram respectivamente 30 e 20 Gy.

BURDITT (1994) afirmou que o uso da radiação gama, em produtos a ser tratados devem ser embalado em caixas ou recipientes e devem ser transportadas através esteiras rolantes. O tratamento por irradiação dependendo da dose utilizada pode levar a prevenção de emergência de ovos, larvas, pupas, esterilização de adultos ou a morte do organismo.

SANTOS et. al., (1999) irradiaram cogumelo comestível com doses de 500 até 4000 Gy visando o controle de *Tribolium casteneum* e concluíram que dose de 2000 Gy foi a letal para os adultos em cogumelo desidratado.

FONTES e ARTHUR (1999) irradiaram a dieta com doses de 500, 1000 e 2000 Gy e observaram a reprodução de *Tribolium casteneum* nessas dietas irradiadas. Concluíram que até a sétima geração a duração das fases imaturas e o número de adultos emergidos não apresentaram diferenças significativas em relação a testemunha.

ARTHUR e FRANCO (1999) irradiaram trigo com doses de 125 até 4000 Gy e observaram o desenvolvimento de adultos de *Sitophilus granarius* nesses trigos irradiados e concluíram que com doses de até 2000 Gy não houve efeitos deletérios que prejudiciais para a longevidade desse inseto.

ARTHUR; FRANCO; FRANCO, (1999) irradiaram adultos de *Sitophilus granarius* em trigo com doses de 30 a 100 Gy. Concluíram que com doses de até 50 Gy não apresentaram diferença significativa na esperança de vida dos insetos. Já a dose esterilizante foi a de 80 Gy.

POTENZA; ARTHUR; SANTOS, (2000) irradiaram adultos de *Cryptolestes ferrugineus* e *Lasioderma serricorne* para fazer a desinfestação de cogumelo desidratado comestível com doses de 500 a 4000 Gy. Concluíram que a dose esterilizante e letal para adultos de *C. ferrugineus* foram 250 e 3000 Gy respectivamente. Já para *L. serricorne* as doses foram as de 250 e 2000 Gy.

FARUKI; DAS; KHATUM (2005) irradiaram larvas de *Alphitobius diaperinus* com radiação ultravioleta e observaram a mortalidade larval, formação de pupas e emergência de adultos. Concluíram que a radiação ultravioleta não foi suficiente para inibir o desenvolvimento de pupas e adultos quando as larvas foram irradiadas.

ARTHUR e SILVA (2007) irradiaram adultos de *Trogoderma granarium* com doses de 25, 50, 75 e 100 Gy. Concluíram que uma dose de 100 Gy foi suficiente para esterilizante para os insetos adultos. Como sabemos uma população estéril é uma população extinta, portanto uma dose de 100 Gy é suficiente para controlar esta praga em produtos armazenados. Mas como margem de segurança uma dose de 200 Gy foi a recomendada pelos autores.

BEGUM; PARWEEN; FARUKI, (2007) irradiaram ovos de *Alphitobius diaperinus* com radiação ultravioleta com tempos de 1, 2, 4 e 8 minutos. Concluíram que a completa redução da população foi obtida após 6 a 9 meses da irradiação dos ovos por 8 minutos.

RAMOS (2009) Estudou os efeitos da radiação gama em rações para alimentação de animais domésticos infestadas por pragas e pelos resultados obtidos concluiu que para *Sitophilus zeamais* e *Lasioderma serricorne* doses a partir de 0,5 kGy foram suficientes para causar letalidade dos ovos e larvas recém emergidas. Já para *Plodia interpunctella* doses a partir de 1,50 kGy, não houve emergência de insetos adultos, e que essas doses foram suficientes para causar letalidade dos ovos e larvas.

OEPP/EPPO (2009) Organização Européia e Mediterrânea de Proteção de Plantas aprovaram o uso da irradiação para o tratamento fitossanitário para insetos pragas dos produtos armazenados em substituição ao tratamento de fumigação com brometo de metila. A desinfecção de produtos armazenados também tem como objetivo reduzir efeitos negativos ou perdas dos produtos através da alimentação dos insetos ou dos estágios dos insetos. A dose aprovada foi a de 1 kGy, sendo essa dose de radiação ionizante suficiente para induzir a morte de todos os insetos nos produtos armazenados e inibir o desenvolvimento de estágios imaturos.

HOSSEINZADEH et al., (2010) irradiaram os diferentes estágios de desenvolvimento do *Oryzaephilus surinamensis* e concluíram que a dose de 60 Gy foi a letal para ovos e as doses de 350 Gy e 700 Gy foram as que impediram a emergência de adultos quando as larvas e pupas foram irradiadas.

HAYNES (2011) utilizou doses fracionadas de 6.250-8.000 rads de irradiação gama em pupas do bicudo do algodoeiro, *Anthonomus grandis* Boh., para esterilização de adultos de ambos os sexos. A mortalidade dos machos tratados com doses de 6.250 e 8.000 rads fracionadas foram de 14% e 27%, respectivamente, em 5 dias pós-tratamento em comparação com 46% de mortalidade quando foi aplicada uma dose aguda. Este procedimento pode ser utilizado para a esterilização em grande escala de insetos em um programa de erradicação. Podendo também esta técnica ser aplicável a insetos altamente suscetíveis a doses agudas de radiação gama.

ARTHUR (2012) irradiou adultos *Lasioderma serricorne*, *Plodia interpunctella*, *Sitophilus zeamais* e *Sitophilus oryzae*, em quatro marcas de ração existentes no comércio utilizadas para alimentação de animais de pequeno porte. As amostras foram irradiadas com doses de: 0 (controle) 0,5; 1,0 e 2,0 kGy. Concluiu que a dose de 0,5 kGy foi suficiente para induzir a esterilização e conseqüentemente a desinfestação de todas as rações estudadas.

REIS, (2013) trabalhou com as plantas medicinais condimentares e aromáticas infestadas com formas jovens de *Lasioderma serricorne* e *Sphaericus gibboides* e concluiu que uma dose de 0,25 kGy foi suficiente para causar a desinfestação desses insetos.

HALLMAN (2013) afirmou que irradiação de alimentos para a prevenção de doenças transmitidas por alimentos e desinfestação de commodities de pragas está aumentando em vários países. O objetivo desta revisão é analisar a literatura e o uso atual da irradiação para controlar as pragas dos produtos armazenados e sugerir pesquisas para otimizar seu potencial. As doses para evitar a reprodução de pragas de produtos armazenados variam de 0,05 kGy para *Tenebrio molitor* a 0,45 kGy para *Sitotroga cerealella*. Quantidades pequenas e crescentes de grãos estão sendo irradiadas no mundo hoje, especialmente na Ásia. Pelo menos 33 países permitem a irradiação de alguns produtos armazenados, e que 14 países permitem a irradiação para todos os produtos armazenados.

FOLLETT et al., (2013) irradiaram *Sitophilus oryzae* em arroz para fazer o tratamento quarentenário desse inseto, com doses de 30 a 120 Gy. Concluíram que as doses de 90 Gy foi suficiente para controlar as fases de ovos, larvas e pupas, e a dose de 120 Gy para o controle quarentenário desse inseto em arroz.

FOLLETT (2014) Estados Unidos aprovou a dose genérica de 400 Gy para outros insetos exceto pupas e lepidópteros adultos. Os desenvolvimentos recentes na irradiação fitossanitária são discutidos. As pesquisas atuais são focadas em: desenvolvimento de doses específicas para o tratamento quarentenário para os Lepidopteros e não incluído pelos tratamentos genéricos; redução dos níveis de dose para pragas específicas e commodities para reduzir o tempo de tratamento; desenvolvimento de doses genéricas inferiores a 400 Gy para grupos de artrópodes de importância quarentenária diferentes das moscas da fruta; e o desenvolvimento de informações sobre a tolerância das mercadorias e novos métodos para reduzir lesões e prolongar a vida útil. Portanto várias questões apresentam barreiras ao uso mais amplo da irradiação como tratamento fitossanitário, incluindo o limite de 1 kGy, requisitos de rotulagem, restrições sobre o uso de atmosfera modificada e o número limitado de aprovações de países para o uso de irradiação fitossanitária. Essas questões devem ser direcionadas para facilitar a expansão. O desenvolvimento em pequena escala das máquinas de raios-x do modelo gabinete poderiam fornecer aos agricultores e mercados de empacotamento com capacidade de tratamento por irradiação e acelerar a adoção desta tecnologia.

JUNIOR et al., (2016) citaram que a aplicação da radiação ionizante na pós-colheita é baseada principalmente no fato de que este tipo de radiação causa danos efetivos no DNA, sendo capaz de inativar células vivas. Portanto, gametas de insetos e o meristema das plantas não conseguem se reproduzir. Além disso, são mínimas as outras mudanças químicas induzidas pela radiação nos alimentos, sendo a tecnologia de irradiação efetiva em reduzir perdas pós-colheita, desinfestar produtos armazenados.

MANSUR (2016) irradiou todas as fases do ciclo evolutivo de *Trogoderma granarium* com doses de 50 a 200 Gy de radiação gama. Concluiu que uma dose de 100 Gy foi suficiente para controlar os insetos dessa espécie e essa dose de radiação pode ser aplicada para o tratamento quarentenário.

ARTHUR et al., (2017) irradiaram todas as fases do ciclo evolutivo (ovos, larvas e pupas) de *Callosobruchus maculatus* com doses de: 0 (controle), 25, 50, 75 e 100 Gy. Concluíram que a dose de 50 Gy foi letal para ovos e larvas. Já dose de 100 Gy não foi suficiente para eliminar totalmente as pupas. A esterilização de adultos proveniente de pupas

irradiadas foi obtida com a dose de 100 Gy. Os autores recomendam uma dose de 150 Gy para o tratamento quarentenário para esse inseto em grãos de feijão *Vigna sinensis*.

KUMAR et al., (2017) pesquisaram o manejo do besouro de cigarro, expondo a diferentes doses de radiação gama de 200 a 1200 Gy e um tratamento controle sem irradiação. Os tratamentos mostraram que o aumento da dose de radiação gama resultou no aumento de percentual de mortalidade, diminuição da fecundidade e emergência dos adultos. Concluíram que a dose de 1.200 Gy mostrou desempenho superior em relação aos outros tratamentos e foi considerado o melhor tratamento que resultou em mortalidade completa em pouco tempo (8 dias) e impediu o subsequente desenvolvimento da praga.

Portanto todos os autores dos trabalhos citados são unânimes em afirmar que de todos os efeitos das radiações ionizantes nos insetos os mais marcantes são a sua eficiência para esterilizar ou matar insetos. A mortalidade e a esterilização dependem das espécies estudadas, hábitos e demais características biológicas. Mas de um modo geral podemos dizer que a dose de esterilização para os coleópteros situa-se entre 100 e 250 Gy. Para lepidópteros essa dose pode se elevar sendo de 300 a 600 Gy. Mas especificamente para essa espécie *Alphitobius diaperinus* o cascudinho do aviário e praga secundária do amendoim nenhum trabalho foi realizado utilizando a radiação ionizante como um método alternativo visando o seu controle.

4. 8 Aplicação indireta das radiações ionizantes no controle dos insetos pela Técnica do Inseto Estéril

O uso da radiação ionizante constitui-se em uma técnica atrativa e eficaz para o controle de pragas, por ser um método específico e não oferecer riscos aos inimigos naturais, aos polinizadores e ao meio ambiente (ARTHUR, 1997).

A Técnica do Inseto Estéril (TIE) consiste em criar em laboratório os machos, que são esterilizados por meio do processo de irradiação e posteriormente são liberados no ambiente para que se acasalem com fêmeas silvestres e consequentemente não resultando daí a descendência de insetos. Se o número de insetos libertado for suficientemente grande, então a probabilidade das fêmeas encontrarem e acasalarem com um macho estéril é bem maior que a probabilidade de encontrarem e acasalarem com um macho silvestre que é fértil,

consequentemente os machos estéreis provoca uma gradativa diminuição da população selvagem sem poluir o ambiente (ARTHUR et al., 2012).

Técnica do Inseto Estéril (TIE) consiste na criação massal, esterilização e posterior liberação em campo de insetos pragas que é empregada com sucesso no controle de pragas, principalmente de dípteros, como moscas das frutas, e também de lepidópteros (KNIPLING, 1955; BLOEM e CARPENTER, 2001; ALPHEY, 2002; BENEDICT e ROBINSON, 2003; DYCKY; HENDRICHS; ROBINSON, 2005; IAEA, 2017; ARTHUR; MACHI; MASTRANGELO, 2015).

DYCKY; HENDRICHS; ROBINSON, (2005) afirmaram que a Técnica do Inseto Estéril foi inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos, e atualmente é empregada nos seis continentes, sendo oficialmente considerado um tipo de controle biológico. Consiste na supressão de populações de insetos pragas via liberação de insetos estéreis, é um método ambientalmente seguro, específico e que não gera impactos adversos em organismos não alvos. Pode ser integrada a outros métodos de controle biológico, tais como uso de predadores, parasitóides e patógenos (HENDRICHS, 2000).

O princípio desta técnica está na maior sensibilidade das células germinativas à radiação em relação às somáticas. A esterilização de insetos irradiados resulta da fragmentação cromossômica nas células germinativas, levando à produção de gametas desbalanceados, e consequentemente, inibição da mitose e morte de embriões fertilizados (ROBINSON, 2002).

O mais importante na esterilização é seleccionar a dose de radiação ionizante que venha a minimizar os danos somáticos nas células e consequentemente não altere o comportamento normal do inseto (BARKI et al., 2005).

Aplicação de doses substerilizantes nos insetos da ordem Lepidoptera é muito importante para diminuir os danos induzidos por altas doses de radiação visando a esterilização. As doses substerilizantes induzem a esterilidade hereditária nos insetos, nas gerações posteriores (BLOEM e CARPENTER, 2001).

Diversos programas de controle de pragas utilizam a Técnica do Inseto Estéril para suprimirem a população de insetos pragas da mesma espécie (BLOEM e CARPENTER, 2001). Existem aproximadamente 20 programas de manejo integrado de pragas no mundo utilizando esta técnica para controlar as moscas-das-frutas. Inclusive em Juazeiro na Bahia, Brasil tem também um programa de criação e esterilização de moscas-das-frutas, visando o controle desse inseto no campo.

A Técnica do Inseto Estéril consiste no controle de pragas usando liberações inundativas de insetos estéreis em grandes áreas visando reduzir população selvagem da mesma espécie ou chegar à erradicação (DYCK et al., 2005; MORELLI DE ANDRADE, 2008; MASTRANGELO et al., 2010).

Em um programa de erradicação de um inseto-praga, pela aplicação da Técnica do Inseto Estéril, para garantir a sua viabilização ela deve ser realizada principalmente em regiões onde existe isolamento geográfico, e sendo mais efetiva quando aplicada em grandes áreas, levando-se em consideração a população total da praga e não somente em pequenos talhões ou propriedades rurais isoladamente. Barreiras fitossanitárias devem ser realizadas, devido ao risco de reinfestações em regiões sem isolamento (DIAS e GARCIA, 2014).

IMPERATO e RAGA, (2015) afirmaram que a viabilização da TIE aumenta com o uso prévio de técnicas adicionais em grandes áreas, tais como: o controle químico e o controle biológico inundativo com parasitóides. Nos programas de erradicação e supressão de pragas a TIE é uma ferramenta valiosa quando é usada nos procedimentos quarentenários, quando visa estratégias de prevenção, contenção e exclusão de espécies pragas.

A esterilização sexual nos insetos pode ser induzida pela exposição aos raios gama, conseqüente danificando os cromossomos presentes no esperma do adulto. Já quando os óvulos das fêmeas selvagens são fertilizados com o esperma de machos irradiados, a divisão celular é interrompida e o embrião morre. Quando um número suficientemente grande de machos estéreis é liberado na natureza durante algumas gerações, o sucesso reprodutivo da população selvagem pode ser progressivamente reduzido e/ou extinto. Essa esterilidade causada nos insetos pode ser causada por infecundidade nas fêmeas, aspermia ou inativação espermática dos machos, pela incapacidade de acasalar ou mutação letal dominante (MLD) nas células reprodutivas. A esterilidade devido à mutação letal dominante é o único

tipo de esterilidade usada com sucesso no controle de insetos. A liberação de insetos estéreis pode ser feita imediatamente após o tratamento, pois a irradiação não deixa resíduos nocivos, podendo até mesmo ser realizada com os insetos já embalados para liberação. Estes insetos estéreis podem ser liberados por aviões e helicópteros etc.. (PROVERBS, 1969; THOMAS et al., 2000; BAKRI; METHA; LANCE, 2005; MASTRANGELO, 2009; IMPERATO e RAGA, 2015).

BAKRI; METHA; LANCE, 2005; BAKRI et al., (2005) citam que de um modo geral as espécies de insetos podem variar em relação a sua sensibilidade para a indução de esterilidade por radiação ionizante; por exemplo, doses menores do que 5 Gy são suficientes para esterilizar um Acrididae (Orthopteros) e uma Blaberidae (Dictyoptera), já doses maiores do que 200 Gy são necessários na maioria dos casos para esterilizar pupas ou adulto de Lepidópteros.

De um modo geral os insetos podem ser divididos em dois grupos, conforme o tipo de cromossomas que possuem. Ordens tais como: Lepidoptera e Hemiptera têm cromossomos holocêntricos (propriedades do centrômero estão distribuídos sobre a totalidade cromossoma) que são muito resistentes à radiação e altas doses de radiação ionizante são necessárias para induzir a esterilidade (KUZNETSOVA e PETROPAVLOVSKAIA, 1979) No entanto, a maioria das ordens de insetos que tem cromossomos monocêntricos são consideravelmente mais sensíveis a radiação. Portanto doses altas de radiação necessária para esterilizar as Lepidopteras podem reduzir a qualidade e, conseqüentemente, prejudicar a sua utilidade em programas de controle de insetos no campo (VREYSEN e ROBINSON, 2011).

CASARETT, (1968) citou que a lei da Bergonie e Tribondeau, explica que as células que se dividem mais rapidamente são as mais radiosensíveis, ou seja, as células que têm um elevado índice mitótico como, por exemplo, as células produtivas são células mais radiosensíveis.

BAKRI; METHA; LANCE, (2005) concluíram que os efeitos das radiações nos insetos provocam alterações no DNA das células germinativas podendo resultar no comprometimento fisiológico dos gametas, aspermia, infertilidade, e até mesmo incapacidade para acasalar. E que a esterilização pode ser causada pelo resultado da fragmentação das células germinativas, no caso de cromossomos que geram aleatórios dominantes letais,

mutações, translocações, deleções, e outras aberrações, o que poderá levar à uma produção de gametas desbalanceados e morte zigótica. Sendo que as células somáticas são mais radioresistentes do que as células germinativas, por serem geralmente células diferenciadas, portanto isso explica porque as doses de radiação letais são mais elevadas do que doses esterilizantes.

HUTCHINSON et al., (1997) cita que regra de Dyar explica as diferenças de sensibilidade à dos insetos a radiação, e porque um inseto é bem mais sensível à radiação do que uma bactéria vírus, protozoários, porque nos insetos as células se dividem apenas no processo de muda.

Apesar de algumas dificuldades na aplicação da técnica do inseto estéril em traças, que requerem a esterilização quando se aplica doses tidas como de alta a média (geralmente acima de 100 Gy), Devido a esse problema estudos radiobiológicos já foram realizados em mais de 30 espécies de lepidópteros (BLOEM; BLOEM; CARPENTER, 2005; CARPENTER; BLOEM; MAREC, 2005).

VREYSEN e ROBINSON, (2011) afirmaram que a esterilização também pode ser explorada por um método de controle genético, que se baseia essencialmente na transferência de espermatozoides competitivos de machos irradiados liberados com as fêmeas selvagens.

Atualmente, mais ênfase tem sido colocada sobre A qualidade do inseto estéril, é o principal fator estudado nas instalações de criação de insetos. Este fator associados com outras novidades, tais como: o desenvolvimento de estirpes genéticas, melhor entendimento dos efeitos da radiação nas espécies rádio-resistentes, principalmente nos insetos da ordem Lepidoptera, visando o desenvolvimento do conceito de esterilidade F1, visando o controle pela esterilidade induzida, etc. Conseqüentemente aumentando significativamente a eficiência da técnica de insetos estéreis para várias espécies (VREYSEN e ROBINSON, 2011).

Segundo IMPERATO e RAGA (2015) a Técnica do Inseto Estéril ainda é um método de controle pouco aplicada no Brasil, possivelmente porque exige o envolvimento de instituições públicas e privadas interagindo continuamente com o setor produtivo e a sociedade, viabilizando a aplicação de recursos em longo prazo se não a técnica não funciona. O sucesso dessa técnica em todo o mundo ocorre porque ela é incentivada e incrementada

pelos programas oficiais de manejo e erradicação de pragas em agroecossistemas e comunidades rurais e urbanas.

A TIE se torna mais eficiente com o uso prévio de técnicas adicionais em grandes áreas, tais como: o controle químico e o controle biológico inundativo com parasitoides. Além de aumentar a eficiência nos programas de erradicação e supressão de pragas, a Técnica do Inseto Estéril é uma ferramenta valiosa em procedimentos quarentenários, principalmente quando se visa estratégias de prevenção, contenção e exclusão de espécies pragas (IMPERATO e RAGA, 2015).

A TIE para ser bem sucedida em um programa de controle deve ser baseada, em aspectos do comportamento reprodutivo da espécie. Sendo que a competitividade e a compatibilidade entre os insetos estéreis e selvagens são muito importantes para se ter certeza de que os machos irradiados tenham a capacidade de copular as fêmeas selvagens, e que esses machos sejam também competitivos com os demais no campo., Alguns estudos realizados para a moscas-das-frutas *C. capitata* demonstraram que os machos estéreis apresentaram a capacidade de competir nos sítios de agregação, copular as fêmeas, transferir esperma e induzir a infertilidade e que estes continuaram menos competitivos que os machos selvagens (HENDRICHS et al., 2002; KRAAIJEVELD e CHAPMAN, 2004).

A chance das fêmeas selvagens após terem sido copuladas serem novamente copuladas por machos estéreis é muito importante para a eficiência da TIE, esta eficiência deve ser analisada através da avaliação da capacidade do macho estéril em promover um aumento no período refratário (ou seja o intervalo entre a cópula e a primeira recópula) nas fêmeas com as quais copulam (MORELLI DE ANDRADE, 2008).

A duração do tempo de acasalamento, a quantidade de esperma e de substâncias provenientes das glândulas acessórias, são alguns fatores que podem explicar as alterações na receptividade da fêmea após a cópula (MOSSINSON e YUVAL, 2003). Sendo que o maior tempo de cópula pode prevenir acasalamentos consecutivos, reduzindo o tempo disponível para esta procurar novos parceiros (VERA et al., 2006).

As liberações de insetos estéreis produzem efeito muito mais drástico quando o tratamento inicial tem 90% de efetividade para evitar a reprodução. A primeira liberação de 9

milhões de insetos estéreis teoricamente tem o mesmo efeito que o tratamento inicial com inseticidas, se esse tratamento reduzir em 90% a população. Entretanto, liberações contínuas de insetos estéreis em número igual o inicial, o que corresponderia à mesma "dose", causam um efeito progressivamente maior na redução da taxa de crescimento de cada geração ao contrário do controle convencional. A TIE é ineficiente quando o número de insetos na população é alto, mas bastante eficiente quando é baixo, justamente o oposto do tratamento com inseticida. Esse fato deve ser aproveitado para se integrar os dois métodos de controle (ARTHUR et al., 2012).

5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios de Radiobiologia e Ambiente do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Campus da Universidade de São Paulo no município de Piracicaba – SP, localizado a 22°43'12"S e 47°38'54"O, com 580 m de altitude.

Para a irradiação dos insetos foi utilizado um irradiador tipo Gammacell-220 de Cobalto-60, instalado no CENA/USP. Foram utilizados neste trabalho insetos da espécie: *Alphitobius diaperinus* coletados na cidade de Pinhal, Estado de São Paulo, foram criados em ração de coelho triturada [ração de coelho marca comercial da Purina] cuja composição é: milho moído, farelo de soja, farelo de trigo, farelo de arroz, farinha de carne, calcário calcítico, sal, premix vitamínico e mineral, com os seguintes níveis: Proteína bruta: 16%, extrato etéreo: 3%, matéria fibrosa: 10%, material mineral: 8%, cálcio: 2,5%, fósforo: 0,5% e umidade de 12%) essa ração foi triturada em triturador elétrico da marca Arbel fabricado pela Walita e mais a serragem de madeira, na proporção de 1:1 segundo (SILVA et al., 2005).

A serragem foi irradiada com uma dose de 10 kGy, no irradiador multipropósito de Cobalto-60 instalado no IPEN, para diminuir a carga microbiana desse substrato. A serragem foi adicionada sobre a ração para auxiliar na manutenção da umidade dentro da caixa de criação dos insetos. Como as caixas não apresentavam nenhuma ondulação nas laterais e nas profundidades foi utilizado papelão corrugado, pois as ranhuras do papelão simularam as fendas encontradas no piso e madeiras dos galpões de criação das aves. As caixas plásticas eram transparentes, medindo 30 cm de comprimento x 15 cm de largura x 13,5 cm de altura. Que foram usadas como recipientes para criação de *A. diaperinus*, na tampa

da caixa de criação dos insetos foi recortado um terço do seu tamanho e nesse espaço recortado foi colado um tecido de voil, com cola entomológica para que houvesse as trocas gasosas facilitando a aeração dentro das caixas de criação dos insetos. Essa mesma metodologia foi utilizada também para a criação dos insetos em grãos amendoim.

A criação foi mantida em sala climatizada com temperatura de 25 ± 5 °C; umidade relativa de 75 ± 5 % e fotofase de 12:12 horas. As caixas de criação dos insetos foram observadas semanalmente, sendo que os insetos adultos eram transferidos para novas caixas para manutenção da criação dos insetos. Todas as fases do inseto (ovo, larva, pupa e adulto) foram irradiadas com doses crescentes de radiação gama de: 0 (controle), e de 10 a 300 Gy, sob uma taxa de dose de 0,235 kGy/h.

5. 1 Irradiação de ovos

Para a coleta dos ovos foram observados os papéis corrugados colocados nas caixas de criação dos insetos para que as fêmeas realizassem a oviposição. Os papéis com as posturas eram retirados dos recipientes de criação dos insetos para realização da contagem dos ovos. Esta contagem dos ovos foi feita com o auxílio de um microscópio estereoscópico. Após a obtenção dos ovos com idade variando de 1 a 3 dias, eles foram colocados em papel de filtro e dentro de placas de petri medindo 10 cm de diâmetro por 1 cm de profundidade, contendo a dieta utilizada para a criação e amendoim, para que as larvas eclodidas dos ovos chegassem até a fase adulta. Posteriormente foram irradiados com doses de: 0 (controle), 10, 20 30, 40, 50, 75 e 100 Gy, doses essas estabelecidas de acordo com os trabalhos citados na literatura. Cada tratamento constou de 5 repetições com 10 ovos por tratamento num total de 50 ovos por tratamento. O experimento foi mantido nas condições climáticas já citadas anteriormente. Após dez dias foram realizadas as avaliações das larvas eclodidas, e posteriormente aguardou-se o desenvolvimento das larvas, pupas e adultos e a geração F₁.

5. 2 Irradiação de larvas

Quando as larvas nos recipientes de criação estavam atingindo a sua fase final, ou seja, antes de se transformarem em pupas, foram colocados pedaços de papel corrugado para que elas pudessem buscar abrigo nas ranhuras dos mesmos para se transformarem pupas. Nessa fase foram coletas as larvas e colocados em copinhos plásticos com tampa e com

capacidade de 200 ml medindo 10 cm de diâmetro por 5 cm de profundidade, contendo a dieta utilizada para a criação e amendoim, para que as larvas chegassem até a fase adulta. Posteriormente foram irradiados com doses de: 0 (controle), 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 175 Gy doses essas estabelecidas de acordo com os trabalhos citados na literatura. Cada tratamento constou de 5 repetições com 20 larvas por tratamento num total de 100 larvas por tratamento. O experimento foi mantido nas condições climáticas já citadas anteriormente. A cada 7 dias foram realizadas as avaliações das larvas transformadas em pupas, e posteriormente aguardou-se o desenvolvimento das pupas em adultos e a geração F_1 .

5. 3 Irradiação de pupas

Quando as larvas nos recipientes de criação estavam atingindo a sua fase final, foram colocados pedaços de papel corrugado para que elas pudessem buscar abrigo nas ranhuras dos mesmos para se transformarem em pupas. Nessa fase foram coletas as pupas e colocados em copinhos plásticos com tampa e com capacidade de 200 ml medindo 10 cm de diâmetro por 5 cm de profundidade, contendo a dieta utilizada para a criação e amendoim, para que as pupas chegassem até a fase adulta. Posteriormente foram irradiados com doses de: 0 (controle), 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 175 Gy doses essas estabelecidas de acordo com os trabalhos citados na literatura. Cada tratamento constou de 5 repetições com 20 pupas por tratamento num total de 100 pupas por tratamento. O experimento foi mantido nas condições climáticas já citadas anteriormente. A cada 7 dias foram realizadas as avaliações das pupas que se transformaram em adultos, e posteriormente aguardou-se a emergência dos adultos da geração F_1 .

5. 4 Irradiação de adultos

Os adultos foram coletas da criação de laboratório ao acaso e colocados em copinhos plásticos com tampa e com capacidade de 200 ml medindo 10 cm de diâmetro por 5 cm de profundidade, contendo a dieta utilizada para a criação e amendoim, para que os adultos se desenvolvessem e chegassem até as gerações F_1 e F_2 . Posteriormente foram irradiados com doses de: 0 (controle), 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 175 Gy doses essas estabelecidas de acordo com os trabalhos citados na literatura. Cada tratamento constou de 5 repetições com 20 adultos por tratamento num total de 100 adultos por tratamento. O experimento foi mantido nas condições climáticas já citadas anteriormente. A cada 15 dias foram realizadas as

avaliações da mortalidade dos adultos até 60 dias, e também se aguardou a emergência dos adultos das gerações F_1 e F_2 . Portanto essa metodologia foi feita também para os insetos criados em ração e amendoim.

O delineamento estatístico experimental foi inteiramente casualizado. Os resultados obtidos das avaliações dos ensaios foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e a comparação das medias foi feita pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando-se o sistema estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SISTEM, 1999).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a literatura consultada podemos observar que existem algumas variações sobre as doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo evolutivo dos insetos mesmo sendo da mesmo ordem. Isso provavelmente esteja diretamente relacionado com a metodologia utilizada em cada experimento, taxa de dose de irradiação, idade do inseto em cada fase do ciclo de vida e principalmente as condições climáticas, que são os fatores mais importantes que contribuem para que ocorram essas discrepâncias nos resultados.

6. 1 Irradiação de ovos

Constam nas Tabelas 1 e 2 as viabilidades médias de ovos, larvas eclodidas, pupas e emergência de adultos na geração P e geração F_1 de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, 0 (controle); 10; 20 e 30 Gy em dieta artificial e em grãos de amendoim. Pelos resultados dessas Tabelas podemos observar que os ovos irradiados na idade de 1 a 3 dias foram susceptíveis aos efeitos da radiação gama, sendo que a dose de 30 Gy foi suficiente para induzir a letalidade total ($DL_{100\%}$) nos embriões (ovos) irradiados e conseqüentemente evitando a eclosão de larvas. Também podemos observar que os efeitos da radiação gama nos ovos foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. Já com as doses menores de 10 e 20 Gy estas causaram uma redução significativa na eclosão de larvas, transformação em pupas e emergência de adultos quando comparadas ao tratamento controle, mas não foram suficientes para causar a mortalidade total dos embriões. A esterilidade de adultos provenientes de ovos irradiados só foi obtida com a dose de 20 Gy, onde não houve emergência de adultos na geração F^1 . Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; FONTES e ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017), que irradiaram ovos de insetos

das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus orizae* e *Trogoderma granarium* da mesma ordem do cascudinho do aviário.

Tabela 1. Viabilidade média e desvio padrão de ovos, larvas eclodidas, pupas, emergência de adultos na geração P e na geração F₁ de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial

Doses/Gy	Numero médio de ovos irradiados	Numero médio de larvas eclodidas	Numero médio de pupas	Numero médio de adultos emergidos na geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	10	8,2±1,0a	6,8±1,0a	5,1±3,0a	195,7±3,0a
10	10	6,1±2,0b	4,1±1,0b	2,1±1,0b	55,8±2,0b
20	10	3,2±1,0c	2,2±2,0c	1,2±0,4c	0,0±0,0c
30	10	0,0±0,0d	0,0±0,0d	0,0±0,0d	0,0±0,0c

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Viabilidade média e desvio padrão de ovos, larvas eclodidas, pupas, emergência de adultos na geração P e na geração F₁ de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim

Doses/Gy	Numero médio de ovos irradiados	Numero médio de larvas eclodidas	Numero médio de pupas	Numero médio de adultos emergidos na geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	10	7,5±1,5a	7,0±1,2a	4,0±2,0a	165,0±2,0a
10	10	5,2±1,0b	4,0±1,5b	2,0±0,8b	51,1±1,5b
20	10	2,2±1,3c	1,0±1,7c	1,0±0,3c	0,0±0,0c
30	10	0,0±0,0d	0,0±0,0d	0,0±0,0d	0,0±0,0c

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

6.2 Irradiação de larvas

Constam nas Tabelas 3 e 4, a viabilidade media de pupas e adultos nas gerações P e F₁ provenientes de larvas de *A. diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama

do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125 e 150 Gy, em dieta artificial e amendoim. Pelos resultados dessas Tabelas, podemos observar que todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas significativas. A fase de larva irradiada antes de se transformarem em pupas foi bem mais resistente aos efeitos da radiação gama do que quando os ovos foram irradiados, sendo que a dose de 125 Gy foi suficiente para induzir a letalidade total ($DL_{100\%}$) nas larvas irradiadas conseqüentemente evitando a transformação das larvas em pupas.

Também podemos observar que os efeitos da radiação gama nas larvas foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. As doses de 50, 75 e 100 Gy causaram uma redução significativa na transformação das larvas em pupas e emergência de adultos quando comparados ao tratamento controle, mas estas doses não foram suficientes para causar a mortalidade total das larvas. A esterilidade de adultos provenientes de larvas irradiados só foi obtida com a dose de 100 Gy, onde não houve emergência de adultos na geração F_1 . Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; ARTHUR et al., 1979; FONTES e ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017), que irradiaram larvas de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Tribolium castaneum*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus orizae* e *Trogoderma granarium* da mesma ordem do cascudinho do aviário.

Convém lembrar também que a taxa de dose de radiação é um fator muito importante no processo de irradiação. Portanto, sempre que possível, utilizar alta taxa de dose de radiação para tratamento quarentenário, visando ao controle de insetos pragas (FONTES; ARTHUR; ARTHUR, 2003) determinaram as doses letais para formas imaturas do inseto *Callosobruchus maculatus* irradiados nas taxas de dose de 55 e 1.418 Gy/hora, as doses letais nessas taxas de doses foram de 100 Gy e 25 Gy, respectivamente. Portanto quanto menor a taxa de dose de radiação maior será dose de radiação para induzir o mesmo o mesmo efeito biológico nas células dos insetos.

Tabela 3. Numero médio e desvio padrão de pupas, adultos e gerações F₁ provenientes de larvas de *Alphitobius diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial

Doses/Gy	Numero médio de larvas irradiadas	Numero médio de larvas transformadas em pupas	Numero médio de adultos emergidos na geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	20	17,2±1,0a	12,6±0,9a	354,3±2,7a
25	20	13,2±0,8b	10,4±1,2b	256,1±1,9b
50	20	10,4±1,5c	9,2±0,4b	141,5±3,1c
75	20	7,5±0,0d	6,1±0,3c	54,8±1,5d
100	20	4,1±0,5e	2,2±0,5d	0,0±0,0e
125	20	0,0±0,0f	0,0±0,0e	0,0±0,0e
150	20	0,0±0,0f	0,0±0,0e	0,0±0,0e

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Numero médio e desvio padrão de pupas, adultos e geração F₁ proveniente de larvas de *Alphitobius diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim.

Doses/Gy	Numero médio de larvas irradiadas	Numero médio de larvas transformadas em pupas	Numero médio de adultos emergidos na geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	20	16,7±1,5a	13,8±1,2a	324,9±1,7a
25	20	12,3±1,0b	11,1±0,9b	226,6±1,8b
50	20	10,5±1,7c	9,6±0,6c	141,8±2,1c
75	20	8,1±0,6d	6,1±0,8d	65,2±1,8d
100	20	4,2±0,7e	3,1±0,4e	0,0±0,0e
125	20	0,0±0,0f	0±0,0f	0,0±0,0e
150	20	0,0±0,0f	0±0,0f	0,0±0,0e

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

6. 3 Irradiação de pupas

Constam nas Tabelas 5 e 6, a viabilidade de adultos das gerações P e F₁ provenientes de pupas de *A. diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125; 150 e 175 Gy, em dieta artificial e amendoim. Pelos

resultados dessas Tabelas, podemos observar que todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas significativas. A fase de pupa irradiada antes de se transformarem em adultos foi bem mais resistente aos efeitos da radiação gama do que quando as larvas foram irradiadas, sendo que a dose de 150 Gy foi suficiente para induzir a letalidade total (DL_{100%}) nas pupas irradiadas conseqüentemente evitando a transformação das pupas em adultos.

Também podemos observar que os efeitos da radiação gama nas pupas foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. As doses de radiação a partir de 50 Gy causaram uma redução significativa na transformação das pupas em adultos, sendo acima de 50% quando comparados ao tratamento controle, mas não foram suficientes para causar a mortalidade total nas pupas. A esterilidade de adultos provenientes de pupas irradiadas só foi obtida com a dose de 125 Gy, onde não houve emergência de adultos na geração F¹. Pelos resultados dessas Tabelas podemos também observar que a fase de pupa foi a mais resistente das fases imaturas (ovo, larva e pupa) desse inseto em relação às doses para induzir a letalidade total (DL_{100%}). Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; FONTES e ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; FONTES; ARTHUR; ARTHUR, 2003; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017), que irradiaram pupas de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus orizae* e *Trogoderma granarium* da mesma ordem do cascudinho do aviário.

Tabela 5. Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações P e F₁ provenientes de pupas de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial

Doses/Gy	Numero médio de pupas irradiadas	Numero médio de adultos emergidos geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	20	18,3±3,0a	126,9±4,0a
25	20	15,4±2,0b	97,6±1,0b
50	20	9,5±1,0c	23,3±0,5c
75	20	6,6±0,7d	10,7±0,7d
100	20	4,1±1,2e	5,4±0,0e
125	20	2,3±0,7f	0,0±0,0f
150	20	0,0±0,0g	0,0±0,0f
175	20	0,0±0,0g	0,0±0,0f

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 6. Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações P e F₁ provenientes de pupas de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em amendoim

Doses/Gy	Numero médio de pupas irradiadas	Numero médio de adultos emergidos geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	20	19,4±2,0a	147±3,0a
25	20	13,7±1,5b	97,1±1,0b
50	20	10,2±1,3c	21,4±1,5c
75	20	7,2±1,0d	11,9±1,7d
100	20	3,5±1,7e	3,2±0,7e
125	20	1,3±0,7f	0±0,0f
150	20	0±0,0g	0±0,0f
175	20	0±0,7g	0±0,0f

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

6. 4 Irradiação de adultos

Constam nas Tabelas 7 e 8, o número médio de adultos nas gerações F₁ e F₂ provenientes de adultos de *A. diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125; 150 e 175 Gy, em dieta artificial e amendoim. Pelos resultados dessas Tabelas, podemos observar que todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas significativas e que os efeitos da radiação gama nos adultos foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. As doses de radiação de 50 Gy a 125 Gy causaram uma redução significativa no desenvolvimento dos insetos, sendo esta acima de 60% quando comparados ao tratamento controle, mas não foram suficientes para causar a esterilidade total nos adultos. A esterilidade dos adultos da geração P irradiados só foi obtida com a dose de 150 Gy, onde não houve emergência de adultos na geração F₁. Já os adultos da geração F₁ provenientes de adultos da geração P irradiada foi a dose de 125 Gy. Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; ARTHUR et al., 1980; FONTES e ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017), que irradiaram adultos de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus orizae* e *Trogoderma granarium* da mesma ordem do cascudinho do aviário.

Tabela 7. Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações F₁ e F₂ provenientes de adultos de *Alphitobius diaperinus* irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em dieta artificial

Doses/Gy	Numero médio de adultos irradiados geração P	Numero médio de adultos emergidos geração F ₁	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₂
0	20	118,4±3,0a	126,9±4,0a
25	20	105,5±2,0b	97,7±1,0b
50	20	89,1±1,0c	73,3±0,5c
75	20	36,7±0,7d	40,4±0,7d
100	20	24,8±1,2e	15,5±0,0e
125	20	12,1±0,7f	0,0±0,0f
150	20	0,0±0,0g	0,0±0,0f
175	20	0,0±0,0g	0,0±0,0f

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Numero médio e desvio padrão de adultos das gerações F₁ e F₂ provenientes de adultos de *Alphitobius diaperinus* irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em amendoim

Doses/Gy	Numero médio de adultos irradiados geração P	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₁	Numero médio de adultos emergidos na geração F ₂
0	20	116,6±3,0a	136,9±4,0a
25	20	102,5±2,0b	86,9±1,0b
50	20	79,1±1,0c	20,8±0,5c
75	20	36,1±0,7d	12,5±0,7d
100	20	22,1±1,2e	4,5±0,0e
125	20	10,5±0,7f	0,0±0,0f
150	20	0,0±0,0g	0,0±0,0f
175	20	0,0±0,7g	0,0±0,0f

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Constam nas Tabelas 9 e 10, o número médio de mortalidade após um período de 60 dias de adultos de *A. diaperinus* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125; 150 e 175 Gy, em dieta artificial e amendoim. Pelos resultados dessas Tabelas, podemos observar que os tratamentos controle e as doses de 25, 50 e 75 Gy não apresentaram diferenças estatísticas significativas na mortalidade dos adultos aos 15, 30 e 60 dias após irradiação. E os efeitos da radiação gama na mortalidade dos adultos foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação. A porcentagem de mortalidade dos adultos na dose esterilizante de 150 Gy, aos 15, 30 e 60 dias foram de aproximadamente 20%, 30% e 40% menores em relação ao tratamento controle. Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; FONTES e ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; WIENDL e ARTHUR, 1974; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017; KAMUR et al., 2017), que irradiaram adultos de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Trogoderma granarium* e *Lasioderma serricorne* da mesma ordem do cascudinho do aviário.

Tabela 9. Mortalidade media e desvio padrão de adultos de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 em dieta artificial por um período de 60 dias após a irradiação

Doses/Gy	Numero médio de adultos irradiados	Média de adultos vivos após 15 dias	Média de adultos vivos após 30 dias	Média de adultos vivos após 60 dias
0	20	18,0±1,8a	17,1±1,3a	16,1±2,1a
25	20	17,2±2,2a	17,4±1,5a	16,4±1,2a
50	20	17,2±1,8a	16,5±2,6a	15,5±2,6a
75	20	17,4±1,4a	16,1±1,8a	14,8±1,9ab
100	20	16,7±2,7ab	14,7±2,1ab	13,7±2,2b
125	20	16,1±3,8ab	13,5±3,2b	11,1±1,3c
150	20	16,3±1,4ab	12,1±1,4b	10,5±2,2d
175	20	15,9±1,3ab	10,3±1,5c	8,7±1,9e

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 10. Mortalidade media e desvio padrão de adultos de *Alphitobius diaperinus* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 em amendoim por um período de 60 dias após a irradiação

Doses/Gy	Numero médio de adultos irradiados	Média de adultos vivos após 15 dias	Média de adultos vivos após 30 dias	Média de adultos vivos após 60 dias
0	20	18,1±1,1a	17,0±1,8a	15,8±2,2a
25	20	17,8±1,2a	17,3±1,5a	15,2±1,1a
50	20	17,1±1,8a	16,9±2,1a	15,5±2,2a
75	20	16,8±1,4ab	16,0±2,4a	14,9±2,4a
100	20	16,1±2,8b	15,1±1,1ab	13,1±1,2b
125	20	16,5±3,8b	14,9±2,1b	12,2±2,8c
150	20	16,1±1,8b	12,9±1,3c	10,0±0,9d
175	20	14,1±1,8c	11,1±2,8d	7,9±2,1e

Médias seguidas com as mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com as normas internacionais para medidas fitossanitárias NIMF N° 18, (2003) o uso da irradiação como medida fitossanitária é prevenir a introdução ou disseminação de pragas regulamentadas. Isto pode ser realizado através da obtenção de certas respostas na(s) praga(s) alvo, tais como: mortalidade; prevenção do desenvolvimento bem sucedido (por exemplo, não emergência de adultos); incapacidade de reproduzir (por exemplo, esterilidade); ou a inativação. Uma gama de opções específicas pode ser determinada quando a resposta necessária é a incapacidade de reprodução da praga. Estas podem incluir: esterilidade completa; fertilidade limitada de apenas um sexo; postura de ovos e/ou eclosão sem desenvolvimento posterior; comportamento alterado; e esterilidade da geração F1.

Essa normativa identifica os intervalos de doses mínimas determinada para alguns grupos de pragas, com base em pesquisas relatadas na literatura científica. Testes para confirmação devem ser feitos antes de adotar a dose mínima para o tratamento específico de uma praga. Por exemplo, de acordo com a tabela desta normativa, temos que para os Carunchos de sementes (Bruchidae) para esterilizar adulto em reprodução ativa as doses variam de 70-300 Gy; Gorgulhos (Curculionidae) para esterilizar adulto em reprodução ativa as doses variam de 80-165 Gy; Besouros de produtos armazenados (Coleoptera) para

esterilizar adulto em reprodução ativa as doses variam de 50-400 Gy; Brocas (Lepidoptera) evitar o desenvolvimento do adulto a partir do final do estágio larval as doses variam de 100-280 Gy; Traças de produtos armazenados (Lepidoptera) para esterilizar adulto em reprodução ativa as doses variam de 100 -1.000 Gy.

Com relação ao tratamento fitossanitário do *A. diaperinus* em amendoim pelos resultados obtidos no experimento deve ser aplicada uma dose de 150 Gy, isso porque essa dose foi letal para todas as fases imaturas do inseto (ovo, larva e pupa) conseqüentemente inibindo a emergência dos adultos da geração paterna. Esta dose também induziu a esterilização nos insetos adultos, e como sabemos uma população estéril é uma população extinta. Estando de acordo com as normas internacionais para medidas fitossanitárias NIMF N° 18, de (2003), onde cita que para besouros de produtos armazenados da ordem Coleoptera para esterilizar adulto em reprodução ativa requer doses variando de 50-400 Gy.

Já se o amendoim estiver também infestado com traças de produtos armazenados da ordem Lepidóptera, para o tratamento fitossanitário requer doses que variam de 100-1.000 Gy de acordo com a NIMF N° 18 e com os trabalhos citados na revisão bibliográfica. Pois se tratando de grãos e produtos armazenados que de um modo geral são armazenados com umidade de 10% a 12%, os efeitos da radiação são menos pronunciados nas características físico químicas desses produtos. Portanto uma dose de 1 kGy pode ser recomendada porque está dentro dos parâmetros recomendados pela normativa internacional para medidas fitossanitárias.

Pelos resultados obtidos no experimento visando uma possível aplicação da Técnica do Inseto Estéril para o controle do *A. diaperinus* em aviários, deve ser usada uma dose de 125 Gy se os insetos forem irradiados na fase de pupa e uma dose de 150 Gy se eles forem irradiados na fase adulta. Portanto apesar de ser tecnicamente viável a utilização da TIE para o cascudinho do aviário em cama de criações de frangos não é recomendada a sua aplicação separadamente, ele teria que ser realizada após a aplicação de outro método de controle para diminuir o máximo o numero de insetos no ambiente da aplicação da técnica. Sendo assim um numero bem menor de insetos estéreis seriam liberados. Se isso não for feito temos que liberar um número muito grande de insetos para o controle do cascudinho, conseqüentemente estaríamos aumentando a disponibilidade de insetos no aviário, facilitando ainda mais a captura dos insetos liberados pelas aves para a sua alimentação. Além da

difficuldade de separação de um grande numero machos, que neste caso somente os machos estéreis seriam liberados para competir com os machos férteis pela fêmea no ambiente de criação das aves.

A TIE pode ser considerada um método eficiente em programas de manejo integrado de, *Alphitobius diaperinus* desde que atenda os requisitos básicos para sua utilização. Observa-se a necessidade de um refinamento dos estudos de biologia e comportamento de insetos estéreis, para um embasamento sólido na aplicação desta técnica para o controle do cascudinho do aviário.

Outra alternativa de controle seria a irradiação da cama para se fazer a desinfestação que seria mais rápida e mais eficiente o controle dos insetos e microorganismos existentes isso porque poderia ser aplicada doses de até 5 kGy. Devemos lembrar que após a desinfestação da cama para a reutilização esta teria que ser colocada em locais previamente desinfestados porque se houver reinfestação com os insetos e microorganismos eles se desenvolveram normalmente isso porque o processo de irradiação não deixa resíduos nos produtos, sendo o oposto do tratamento químico que deixam resíduos e conseqüentemente evitam a reinfestação. Tem que ser analisados a logística do processo, ou seja, custo benefício, do processo de irradiação, pelo que sabemos o que mais encarece o processo de irradiação é o transporte do material até o local onde está instalado o irradiador. Futuramente, acreditamos que um irradiador com radiação gama ou com raios-X seja instalado em um caminhão. Como é o projeto de pesquisa que vem sendo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares para prestação de serviços dessa natureza, se deslocando até aos produtores, conseqüentemente sem sombra de duvida diminuindo o custo-benefício do processo de irradiação e acelerando o processo de adoção desta tecnologia de acordo com (FOLLETT, 2014).

7. CONCLUSÕES

A dose letal e esterilizante para ovos foram 30 e 20 Gy respectivamente.

A dose letal e esterilizante para larvas foram 125 e 100 Gy respectivamente.

A dose letal e esterilizante para pupas foram 150 e 125 Gy respectivamente.

A dose esterilizante e subesterilizante para adultos foi a de 150 e 125 Gy respectivamente.

Os efeitos da radiação gama na mortalidade dos adultos foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de radiação.

A porcentagem de mortalidade dos adultos na dose esterilizante de 150 Gy, aos 15, 30 e 60 dias foram de aproximadamente 20%, 30% e 40% menores em relação ao tratamento controle.

Não houve influencia dos substratos de criação dos insetos em relação às doses de esterilização.

Para o tratamento fitossanitário do *Alphitobius diaperinus* em amendoim deve ser usada uma dose de 150 Gy.

Para uma possível aplicação da Técnica do Inseto Estéril deve ser usada uma dose de 125 Gy se os insetos forem irradiados na fase de pupa, e 150 Gy se forem irradiados na fase adulta.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, H.; NOURADDIN, S.; REZA, Z. H.; IRAJ, B.; MOHAMMAD, B.; HASSAN, Z.; HOSSEIN, A. M.; HADI, F. Effect of gamma radiation on different stages of Indian meal moth *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 20, p. 4259-4264, 2011.

AHMED, M.Y.Y.; ABDEL-BAKY, S.M. Gamma radiation effects on the pupal estage of *Ephestia kuehniella* (Z.). *Egyptian Journal of Radiation Sciences and Applications*, v. 2, n. 1 p. 69-77, 1985.

ALMEIDA, J. E.; FILHO, A. B. Microrganismos no controle de pragas. In: PINTO, A.S.; NAVA, D.E.; ROSSI, M. M.; MALERBO-SOUZA, D. T. *Controle Biológico de Pragas na Prática*, Piracicaba, 287 p. 2006.

ALPHEY, L. Re-engineering the sterile insect technique. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, n. 32: 1243-1247, 2002.

ALVES, L. F. A.; BUZARELLO, G. D.; OLIVEIRA, D. G. P.; ALVES, S. B.

Patogenicidade de *Steinernema glaseri* e *S. carpocapse* (Nematoda: Rhabdita) contra o cascudinho *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 1, p. 139-141, 2005.

AVISITE. <http://www.avisite.com.br>. Consultado em 2/06/2017.

ARTHUR, V. Determination of sterilizing and lethal doses for pupae of *Tribolium castaneum* (Herbst). *Information Circular on Radiation Techniques and their Applications to Insect Pest*, IAEA, n. 18, p. 19, 1974.

ARTHUR, V. *Efeitos esterilizantes e letais das radiações gama nas diferentes fases do ciclo evolutivo de Sitotroga cerealella em arroz e milho*. (Tese de Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, 77p. 1985.

ARTHUR, V. Controle de insetos pragas por radiações ionizantes. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 64, n.2, p. 77-79, 1997.

ARTHUR, V. Utilização da radiação gama no controle de *Sitotroga cerealella* em milho. *I Conferencia Brasileira de Pós-Colheita*, v. 2, 65-75, 1999.

ARTHUR, V. Influencia da dose de radiação na longevidade de lagartas de *Plodia interpunctella* (Hubn., 1813) (Lep.; Pyralidae) em dieta artificial. *Energia Nuclear na Agricultura*, v. 9, n. 1, 28-35, 1988.

ARTHUR, P. B. *Emprego da radiação gama do Cobalto-60 na desinfestação de alguns tipos de rações para alimentação de animais de pequeno porte*. (Dissertação de Mestrado) IPEN, 68p. 2012.

ARTHUR, V. ; ARTHUR, P. B. Effect of temperature and gamma radiation on pupae of *Tenebrio molitor* (Linne). *Journal of Nuclear Agriculture and Biology*, v. 30, p. 56-58, 2001.

ARTHUR, V. ; ARTHUR, P. B. Control of rice meal moth *Rhyzopertha dominica* by microwave radiation. *Journal of Nuclear Agriculture and Biology*, v. 32, n.2, p. 119-121, 2003.

ARTHUR, V. ; FRANCO, S. S. H. Longevidade de adultos de *Sitophilus granarius* (L.) em trigo pré-irradiado com radiação gama do Cobalto-60. *Ecossistema*, v. 25, n.1, p. 93-94, 2000.

ARTHUR, V.; HENRIQUE, B. C. Determinação da dose esterilizante de radiação gama para adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Col., Curculionidae) praga da cana-de-açúcar.. *Ecossistema*, v. 19, p. 23-29, 1994.

ARTHUR, V.; SILVA, L. C. A. S. Control of *Trogoderma granarium* through of gamma radiation of Cobalt-60. *International Nuclear Atlantic Conference – INAC - 2007* Santos, SP, Brazil, September 29 to October 5, 2007, 4p.

ARTHUR, V.; CONSOLMAGNO, C.; WIENDL, F.M. Indução de esterilidade por radiação gama do Cobalto-60 (⁶⁰Co) em imagos de traça *Plodia interpunctella* (Hub., 13) (Lep., Pyralidae), proveniente de arroz. *Ciência e Cultura* v. 36, n. 7, p. 802, jul., 1984. Suplemento./ Apresentado a 36º Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, 1984.

ARTHUR, V.; WIENDL, F. M.; FRANCO, S. S. H. Controle de *Sitophilus granarius* (L., 1785)(Coleoptera: Curculionidae) em grãos de trigo *Triticum* sp., através das radiações gama do Cobalto-60. *XVII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo*. Resumos. 1994. v. 1, p.19, 1994.

ARTHUR, V. ; WIENDL, F. M.; WALDER, J. M. M. Determinação da dose letal para pupas de *Tribolium castaneum* (Herbst). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, n. 4, p. 109-115, 1975.

ARTHUR, V. ; WIENDL, F. M. The influence of irradiated wheat on longevity and reproduction of the grain *Rhyzopertha dominica* (Fab., 1792)(Col., Bostrichidae). *Journal of Nuclear Agriculture an Biology*, v. 22, n. 3-4, p. 222-224, 1993.

ARTHUR, V.; MACHI, R.A.; MASTRANGELO, T. Ionizing Radiation in Entomology: *In: Topics in Ionizing Radiation Research*, II Ed., In Tech. n. 1, p. 1-17, 2015.

ARTHUR, V.; BERTI-FILHO, E.; ARTHUR, P. B. Use of gamma radiation to control *Sitophilus linearis* (Herbst, 1785)(Coleoptera: Curculionidae) attacking *Tamarindus indica* (Leguminosae: Foboidae). *Journal of Nuclear Agriculture and Biology*, v. 29, n.3-4, p. 217-219, 2003.

ARTHUR, V.; WIENDL, F. M.; HENRIQUE, B. C. Comportamento e competitividade sexual de adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera- Curculionidae), uma praga de cana-de-açúcar, irradiados com radiações gama do Cobalto-60. *Revista de Agricultura*, v. 68, n. 1, p. 57-66, 1993.

ARTHUR, V. ; FRANCO, S. S. H. ; WIENDL, F. M. Comparação entre dois métodos para a determinação da dose esterilizante de radiações gama do Cobalto-60 em *Sitophilus oryzae* (L., 1763)(Col., Curculionidae) em arroz. *Lavoura Arrozeira*, v. 48, n. 421, p. 8-11, 1995.

ARTHUR, V.; FRANCO, S. S. H.; FRANCO, J. G. Emprego da radiação gama do Cobalto-60 na desinfestação de *Sitophilus granarius* em trigo. *Anais da XVIII Reunião Nacional de Pesquisa do Trigo*, v. 1, p. 17-36, 1999.

ARTHUR, V. ; FRANCO, S. S. H ; ARTHUR, P. B. Reprodução de adultos de *Sitophilus granarius* (L.) em trigo pré-irradiado com radiação gama do Cobalto-60. *Ecossistema*, v. 26, n. 2, p. 163-164, 2001.

ARTHUR, V.; WIENDL, F. M.; FRANCO, S. S. H. The influence of irradiated wheat on longevity and reproduction of the grain weevil *Sitophilus granarius* Lnné, 1758 (Col., Curculionidae). *Acta Agriculturae Nucleatae Sínica*, v. 7, n. 4, p. 223-226, 1993.

ARTHUR, V.; MANTELATO, M. A.; WALDER, J. M. M.; DOMARCO, R. E. Influencia do arroz irradiado n longevidade e reprodução de *Sitophilius oryzae* (L., 1763)(Col., Curculionidae). *Energia Nuclear na Agricultura*. v.11, n.1, 34-41, 1990.

ARTHUR, V. ; WIENDL, F. M.; ARRUDA NETO, J. ; TAVARES, M. Control of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) infesting wheat through accelerated electrons. ***Journal of Nuclear Agriculture and Biology***, v. 29, n. 2, p. 117-119, 2000.

ARTHUR, V.; WIENDL, F. M.; PACHECO, J.M.; WALDER, J.M.M.; SCRILLO, R.B. Mortalidade e reprodução de *Sitophilus zeamais*, Mots. Em macarrão irradiado In: ***Uso y calibracion de fuentes intensas de radiacion***, 18-22 de jun., 1973, Santiago, Informe del Seminario, Santiago., 10p., 1973.

ARTHUR, V. ; WALDER, J. M. M. ; WIENDL, F. M. ; DOMARCO, R. E.; FRANCO, S. S. H. Efeito do fracionamento da dose de radiação gama do Cobalto-60 sobre a longevidade e reprodução do *Sitophilus granarius* (L., 1785)(Col., Curculionidae) em trigo. ***Energia Nuclear e Agricultura***, v. 8, n.1/2, p. 67-78, 1987.

ARTHUR, V. ; CAMPANHOLA, C. ; WIENDL, F. M. ; WALDER, J. M. M. ; SGRILLO, R. B. Mortalidade larval, pupal e esterilidade de adultos induzida em pupas de *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831)(Col., Bruchidae) por radiações gama de Cobalto-60. ***Energia Nuclear e Agricultura***, v. 1, n. 2, p. 76-81, 1979.

ARTHUR, V. ; CAMPANHOLA, C. ; DOMARCO, R. E. ; WIENDL, F. M. ; SGRILLO, R. B. Determinação da dose esterilizante de radiação gama do Cobalto-60 para imagos de *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831)(Col., Bruchidae). ***Energia Nuclear e Agricultura***, v. 2, n.1, p. 1-7, 1980.

ARTHUR, V.; ARTHUR, P. B.; GAVA, M. A.; FRANCO, S. S. H.; MACHI, A. R. Uso de técnicas nucleares em entomologia no Brasil. In: BUSOLI, A. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; SOUZA, L. A.; KUBATA, M. M.; COSTA, E. N.; SANTOS, L. A. O.; NETTO, J. C.; VIANA, M. A. ***Tópicos em entomologia agrícola V***. Jaboticabal: Gráfica e Editora Multipress. p. 13-25, 2012.

ARTHUR, V.; FONTES, L. S.; ARTHUR, P. B.; MACHI, A. R.; HARDER, M. N. C.; ROSSI, R. S.; FRANCO, J. G.; FRANCO, S. S. H. Quarantine treatment by gamma radiation for different stages of *Callosobruchus maculatus* in bean *Vigna sinensis*. ***International***

Nuclear Atlantic Conference - INAC 2017 Belo Horizonte, MG, Brazil, October 22-27, 2017.

ASSAD, Z.; SHIKRENOV, D. Gamma rays for *Ephestia kuehniella* control. **Rastitelna Zashchita-Bulgaria**, Bulgaria, v. 31 (11) p. 37-39. 1983.

ATHIÉ, I.; OLIVEIRA, J. J. V.; CASTRO, M. F. P. M.; BARBIER, M. K. Resistance by Storage Grain Insects to Phosphine, Determined Using Gas Chromatography. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 4, p. 43-47, 2001.

AYVAZ, A.; TUNÇBILEK, A. S. Effects of gamma radiation on life stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal Pest Science**, v. 5, n. 3, p. 116-121, 2006.

BAKRI, A.; METHA, K.; LANCE, D. R. Sterilizing insects with ionizing radiation. In: DYCK, V. A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (Ed.). **Sterile insect technique**. Principles and practice in area-wide integrated pest management. Dordrecht: Springer, 2005. p. 233–268.

BARKI, A.; HEARTHER, N.; HENDRICH, J.; FERRIS, I. Fifty years of radiation biology in entomology: lessons learned from IDIDAS. **Annals of the Entomological Society of America**, n. 98, p. 1-12, 2005.

BEGUM, M.; PARWEEN, S.; FARUKI, S. I. Combined effect of UV-radiation and triflumuron on the progeny of *Alphitobius diaperinus* (Panzer)(Coleoptera: Tenebrionidae) at different storage period. **University Journal of Zoology**, Rajshahi University, v. 26, 45-48, 2007.

BELLUSSO, D.; HESPANHOL, N. A. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percorso**, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.

BENEDICT, M.Q.; ROBINSON, A.S. The first releases of transgenic mosquitoes: an argument for the sterile insect technique. **Trends Parasitology**, n. 19, p. 349-355, 2003.

BCNZER, J.; FARKAS, J. Investigation into the radioresistance of *Plodia interpunctella* (Hub.). *Acta Phytopathology academiae scientiarum hungaricae*. v. 9, no 1/2, p. 153-160, 1974. In: Entomology Abstrats. Hungria, v. 6, n. 11, p. 204, 1975.

BHUIYA, A.D.; AHMED, M.; REZAUR, R; NAHAR, G.; HUDA, S.M..S.; HOSSAIN, S.A.K.M. Radiation disinfestation of pulses, oil seeds and tabacco leaves. Final research co-ordination meeting on insect disinfestation o food and agricultural products by irradiation. Beijing (China), 25-29 May, 1987. *Painel proceedings series. Vienna (Austria). International Atomic Energy Agency*, p. 27-50, 1991.

BLOEM, S.; CARPENTER, J.E. Evaluation of population suppression by irradiated Lepidoptera and their progeny. *Florida Entomologist*, n. 84, p. 165-171, 2001.

BLOEM, K. A.; BLOEM, S.; CARPENTER, J. E. Impact of moth suppression/eradication programmer using the sterile insect technique or inherited In: DYCK, V. A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (Ed.). *Sterile insect technique*. Principles and practice in area-wide integrated pest management. Dordrecht: Springer, p. 677-700, 2005.

BOSIDRA, S.A.; HASABALLA, Z.A. Sterilization studies on the adult indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hubner). *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*, Egypt, v .26, n. 1, p.254-259, 1993.

BURDITT, A. K (1994) Irradiation. In: *Quarantine Treatment for Pests and Food Plants*. SHARP, J.L.; HALLMANN, G. J. West view Press, Denver (US), p.101–117, 1994.

BURDITT, A.K.; MOFFITT, H. R Irradiation as a quarantine treatment for fruit subject to infestation by codling moth larvae. In: *Radiation desinfestation o food and agricultural products*, Honolulu, 1983. University of Hawai, p. 87-97, 1985.

BIOCONTROLE. *Métodos de Controle de Pragas* Ltda. Disponível em:<http://www.biocontrole.com.br/pragas/lasioderma_serricorne.php> Acesso em: 07 maio. 2017.

BOTELHO, A. C. G. ; ARTHUR, V. Avaliação eficiência do controle por radiações gama do Cobalto-60 de populações de *Rhyzopertha dominica* de diferentes procedências. **Revista de Agricultura**, v. 76, n. 3, p. 331-337, 2001.

CARPENTER, J. E.; BLOEM, S.; MAREC, F. Inherited sterility in insects. In: DYCK, V. A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (Ed.). **Sterile Insect Technique**. Principles and practice in areawide integrated pest management. Dordrecht: Springer, 2005. p. 115-146.

CASARETT, A. P. **Radiation biology**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1968.

CHEMAKI-LEFFER, A. M.; LZZARI, F. A.; LAZZARI, S. M. N.; ALMEIDA, L. M. Controle do cascudinho. **Avicultura Industrial**, n.1094, p. 22-25, 2001.

CHEMAKI-LEFFER, A. M.; BIESDORF, S. M.; ALMEIDA, L. M.; LEFFER, E. V. B.; VIGNE, F. Isolamento de enterobactérias em *Alphitobius diaperinus* e na cama de aviários no oeste do estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 3, p. 243-247, 2002.

COSTA, N.; ARTHUR, V.; WIENDL, F. M.; WALDER, J. M. M. Efeitos da radiação gama em adultos de *Rhyzopertha dominica* (Fabr., 1792)(Coleoptera: Bostrichidae), praga do trigo armazenado. **Energia Nuclear na Agricultura**, v. 7, n. ½, 53-63, 1986.

CROMWELL, G. L. Feed supplements: antibiotics: **Encyclopedia of Animal Science** (W. G. Pond and A. W. Bell, Eds.) Marcel Dekker, New York, NY. 2004.

DANTAS, E. Cascudinho transmite e mantém salmonelose na avicultura. **O presente rural**, v. 24, n. 25, p.37, 2017.

DIAS, N. P.; GARCIA, F. R. M. Fundamentos da técnica do inseto estéril (TIE) para o controle de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae). **O Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 1, p. 58-62, 2014.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated Foods**. Marcel Dekker New York (US):345 p., 1990.

DYCK, V. A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. *Sterile insect technique*. Principles and practice in areawide integrated pest management. Dordrecht: Springer, 787 p. 2005.

DYCK, A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A.S. *The Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Heidelberg, Germany: Springer, 787p., 2005.

DOYEN, J. T.; MATTHEWS, E. G.; LAWRENCE, J. T. Classification and annotated checklist of the Australian genera of Tenebrionidae (Coleoptera). *Invertebrate taxonomy*, n.3, p. 229-260, 1989.

ESQUIVEL, J. F.; CRIPPEN, T. L.; WARD, A. L. Improved Visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) - Part I: *Morphological Features for Sex Determination of Multiple Stadia*. Hindawi Publishing Corporation, Psyche, 2012.

FARUKI, S. I.; DAS, D. R.; KHATUN, S. Effects of UV-radiation on the larvae of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer)(Coleoptera: Tenebrionidae) and their progeny. *Journal of Biological Sciences*, v.5, n. 4, 444-448, 2005.

FOLLETT, P.A. Generic Radiation Quarantine Treatments: The Next Steps. *Journal of Economic Entomology*, v. 102, n. 4, p. 1399-1406, 2009.

FOLLETT, P. A. Phytosanitary irradiation for fresh horticultural commodities: generic treatments, current issues, and next steps. *Stewart Postharvest Review*, v. 3, n. 1, 12-15, 2014.

FOLLETT, P. A.; ESNOOK, K.; JANSON, A.; ANTONIO, B.; HARUKI, A.; OKAMURA, M.; BESEL, J. Irradiation quarantine treatment for control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice. *Journal Stored Products Research*, n. 52, p. 63-67, 2013.

FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)(Col., Tenebrionidae). *Scientia Agrícola*, v. 51, n.3, p. 403-406, 1994.

FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Influencia da dieta pré-irradiada sobre a reprodução de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)(Coleóptera: Tenebrionidae). **Revista de Agricultura**, n. v. 89, n. 4, p. 57-62, 1999.

FONTES, L. S.; ARTHUR, V.; WIENDL, F. M. Gamma radiation effects on pupae of *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Nuclear Agriculture an Biology**, v. 25, n.3, p. 176-179, 1996.

FONTES, L. S.; ARTHUR, V.; ARTHUR, P. B. Influencia da taxa de dose de radiação gama do cobalto-60 para desinfestação de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.) infestados com formas imaturas de *Callosobruchus maculatus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 3, p. 21-23, 2003.

FRANCO, S. S. H. **Comparação de dois métodos utilizados na determinação da dose esterilizante de radiação gama do Cobalto-60 para três espécies do gênero Sitophilus em arroz, milho e trigo**. Ribeirão Preto, FFCLRP. 51p. 1991. (Dissertação de Mestrado).

FRANCISCO, O.; PRADO, A. P. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. **Brazilian Journal Biology**, n. 6, 125-131, 2001.

FRANCO, S. S. H. ; FRANCO, J. G. ; ARTHUR, V. . Determinação da dose esterilizante de radiação gama do Cobalto-60 para *Sitophilus oryzae*, *S. zeamais*, *S. granarius*, em arroz milho e trigo. **Ecossistema**, v. 22, p. 120-122, 1997.

FRANCO, J. G.; ARTHUR, V.; FRANCO, S. S. H. Efeitos das radiações microondas nas fases de ovo e larva de *Sitophilus oryzae* em arroz, visando o seu controle. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 69, p. 271-274, 2002.

GALLO, D. Radioisótopos no controle de pragas. **O Solo**, Piracicaba, v. 7, p. 30-31,

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D. **Manual de entomologia agrícola**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 786p. 2002.

GAOA, M.; TANG, J.; WANG, Y.; POWERS, J.; WANG, S. Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestations. *Postharvest Biology and Technology*, v. 58, n. 3, p. 225-231, 2010.

GAZONI, F. L.; FLORES, F.; BAMPI, R. A.; SLVEIRA, F.; BOUFLEUR, R.; LOVATO, M. Avaliação da resistência do cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) a diferentes temperaturas. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.79, n.1, p. 69-74, 2012.

GROOSU, S. Influence of radiation gamma on the development of different stage of *Plodia interpunctella* (Hub.) (Lep. Phycitidae). *Studu si Cercetari de Biologie*. v.28, n.2, p.145-148. In: Entomology Abstrats, Bethesda, v.8, n.4, p.83. 1976.

GYULAI, P.; KOVACS, E.; SZALMA, A. Radappertization of agricultura! and food products. *Noevenyvedelmi es Agrokemiai Allomas*, Miskolc-Hungary, v.23, n. 2, p.81-84, 1987.

HALLMAN, G.J. Generic phytosanitary irradiation tratments. *Radiation Physics and Chemistry*, Oxford, v. 81, p. 861-866, 2012.

HALLMAN, G. J. Control stored product pests by ionizing radiation. *Journal Stored Products Research*, v. 52, p. 36-41, 2013.

HALLMAN, C.J.; ARTHUR, V.; BLACKBURN, C.M.; PARKER, A.G. The case for generic phytisanitary irradiation dose 250 Gy for eggs and larvae. *Radiation Physics and Chemistry*, Oxford, v. 88, 70-75, 2013.

HAYNES, J. H. Sterilization of boll weevil pupae with fractionated doses of gamma irradiation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 21, n. 1, p. 57 – 62, 2011.

HENDRICHS, J. Use of the Sterile Insect Technique Against Key Insect Pests. *Sustainable Development International*, v. 2, p. 75-79, 2000.

HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (Ed.). *Sterile Insect Technique*. Principles and practice in areawide integrated pest management. Dordrecht: Springer, p. 677-700. 2005.

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

HOSSAIN, M. M.; BROWER, J. H.; TILTON, E. W. Sensitivity to an acute gamma radiation exposure of successively irradiated generations of the cowpea weevil. *Journal Economic Entomology*, v. 65, n. 6, p. 1566-1568, 1972.

HOSSEINZADEH, A.; SHAYESTEH, N.; ZOLFAGHAIEH, H.; BABARI, M.; ZARESHAHI, H.; MOSTAFAVI, H.; FATOLLAHI, H. Gamma radiation sensitivity of different stages of saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* L (Coleoptera: Silvanidae). *Journal of plant protection research*, v. 50, n. 3. p. 1427-4345, 2010.

HUNTER, W. D. Results of experiments to determine the effects of roentgen upon insects. *Journal Economic Entomology*, v. 5, p. 118, 1912.

HUTCHINSON, J. M. C.; MCNAMARA, J. M.; HOUSTON, A. I.; VOLLRATH, F. Dyar's rule and the investment principle: optimal moulting strategies if feeding rate is size dependent and growth is discontinuous. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, London, v. 352, p. 113–138, 1997.

IAEA. Development of the Sterile Insect Technique for mosquitoes. [<http://www.iaea.org/programmes/naal/agri/index.htm>] website, 2017.

IMPERATO, R.; RAGA, A. *Técnica do Inseto Estéril*. Campinas: Instituto Biológico, 2017. 16 p. (Documento Técnico, 18). Disponível em: http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/docs/dt/DT_tecnica_inseto_esteril.pdf<http://www.biologico.sp.gov.br/>.

JACOMINI, D.; TEMPONI, L. G.; ALVES, L. F. A.; SILVA, E. A. A.; JORGE, T. C. M. Extrato de tabaco no controle do besouro cascudinho de aviário. *Pesquisa agropecuária brasileira*, vol.51, n.5, p. 680-683, 2016.

JAPP, A. K.; BICHO, C. L.; SILVA, A. V. F. Importância e medidas de controle para *Alphitobius diaperinus* em aviários. ***Ciência Rural***, v. 40, n. 7, 2010.

JUNIOR, A. R. P.; CARVALHO, R. I. N.; NETTO, S. P.; WEBER, S. H.; SOUZA, E.; FURIATTI, R. S. Bioatividade de óleos essenciais de sassafrás e eucalipto em cascudinho. ***Ciência Rural***, v. 40, n. 3, p. 637-643, 2010.

JUNIOR, A. B.; TOPONIAK, L.; DIAS, A. D. F.; MEDINA, M. C. R.; OLIVEIRA, C.; NASCIMENTO, N. Uso da radiação gama na agricultura, ***Revista Edutec***, v.1, n.1, p.1-18, 2016.

KNIPLING, E. F. Possibilities of insect population control through the use of sexually sterile males. ***Journal Economic Entomology***, n. 48, p. 459-462, 1955.

KUMAR, K. R.; REDDY C. N.; LAHSHMI, K V.; RAMEASH, K.; KESHAVULU, K.; RAJESWARI, B. Management of cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Fabricius) in turmeric *Curcuma longa* (Linnaeus) by using of gamma radiation. ***Journal of Entomology and Zoology Studies***, v. 5 n. 3. p. 1723-1727, 2017.

KUZNETSOVA, V. G.; PETROPAVLOVSKAIA M .B. Behaviour of holokinetic chromosomes in the spermatogenesis of bugs. ***Tsitologiia***, Moscow, v. 18, p. 702–711, 1976.

KRAALJEVELD, D. K.; CHAPMAN, T. Effects of male sterility of Mediterranean fruit fly females alternately mated with normal and irradiated males. ***Journal Economic Entomology***, v. 63, p. 1247-1250, 2004.

LORENZO, P. Application of ^{60}Co gamma radiation to control insects in stored rice. Part IV. *Lasioderma serricorne* (Anobiidae: Coleoptera), *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrionido* sp. (Tenebrionidae: Coleoptera). ***Ciencia y Técnica en la Agricultura***, v.13, n.1-2, p. 67-76, 1990.

MANSUR, M. Irradiation as a phytosanitary treatment against *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). ***Florida Entomologist***, v. 99, n. 2, p. 138-142, 2016.

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

MARTINS, M. ; ARTHUR, V. Determinação da dose esterilizante de radiação gama do Cobalto-60 para adultos de *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Col., Curculionidae) em milho. *Revista de Agricultura*, v. 69, n. 1, p. 67-72, 1994

McFARLANE, J. A. The carnivorous beetles of Ithunda caves, Kenya. *Stud. Speleol.*, n. 2, p. 149 – 158, 1971.

MILLS, K.A.; ATHIÉ, I. The development of a same-day test for the detection of resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* (L.) and *Oryzaephilus surinamensis* (L) and findings on the genetics of the resistance related to a strategy to prevent its increase, *Proceedings of the 7 International Working Conference on Stored-product Protection*, Beijin, China, v.1, p. 594-602, 2000a.

MILLS, K.A.; ATHIÉ, I. Control of immature stages of *Sitophilus oryzae* (L.) susceptible and resistant to phosphine, by phosphine fumigation. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 3, 171-176, 2000b.

MORAIS, M. D. G. *Ocorrência de Alphytobius diaperinus e tratamento fermentativo da cama de frangos*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, 2016, 64 f.

MORELLI DE ANDRADE, R. *Influência da recópula de fêmeas selvagens de Ceratitis capitata (Wied., 1824) (Diptera: Tephritidae) na eficiência da técnica do inseto estéril*. 2008. 57 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MORRINSON, S.; YUVAL, B. Regulation sexual receptivity of female Mediterranean fruit fly. *Journal of Insect Physiology*, v. 45 p. 1021-1028, 2003.

OEPP/EPPO. Phytosanitary treatments: Irradiation of stored products to control insects in general. OEPP/EPPO, *Bulletin*, n. 39, 37–38, 2009.

PACHECO, J. M. *Efeitos da radiação gama em Sitophilus oryzae (L., 1763)(Coleóptera: Curculionidae)*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1973. 76p. (Dissertação de Mestrado).

PACHECO, I. A.; PAULA, D. C. *Insetos de grãos armazenados: identificação e biologia*, Campinas: Fundação Cargil, 67p., 1995.

PANZER, G. W. F. *Faunae insectorum germanicae initia, oder Deutschlands Insecten*, Heft, 37p., 1797.

POTENZA, M. R.; ARTHUR, V. ; SANTOS, P. A. Emprego da radiação gama (Co-60) na desinfestação de *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) e *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) em cogumelo comestível desidratado (*Lentinula edodes*). *Ecossistema*, v. 25, n.1, p. 55-57, 2000.

PINTO, D.M.; RIBEIRO, P.B.; BERNARDI, E. Flutuação populacional de *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1879) (Coleoptera: Tenebrionidae), capturados por armadilha do tipo sanduíche, em granja avícola, no Município de Pelotas, RS. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 72, n. 2, p.199-203, 2005.

PINTO, D. M.; RIBEIRO, P. B.; BERNARDI, E. Avaliação de métodos para monitorar populações de artrópodes em granja avícola, em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 74, n. 2, p.95-99, 2007.

QURESHI, A. Z.; WILBUR, D. A.; MILIS,, R B. Sub-lethal gamma radiation effects on prepupal adults of Angoumois grain moth. *Journal of Economic Entomology*, v. 61, n. 6, p. 1699-1705, 1969.

RAMOS, A. C. O. *Aplicação da radiação na desinfestação de rações a base de grãos para alimentação de animais domésticos*. 2009. Dissertação (Mestrado) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN - São Paulo, 68p.

REIS, F. C. *Levantamento da entomofauna de plantas medicinais, aromáticas e condimentares e desinfestação pelo processo de irradiação*. 2013. Dissertação (Mestrado) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo, 68p.

REITTER, E. *Fauna germanica*, Bild, 4., 1917.

REZENDE, S. R. F.; CURVELLO, F.; FRAGA, M. E.; REIS, R. C. S.; CASTILLO, A. M. C.; AGOSTINO, T. S. P. Control of the *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) with entomopathogenic fungi. *Revista Brasileira de Ciências Avícola*, v. 11, v. 2, p. 112-120, 2009.

ROBINSON, A. S. Mutations and their use in insect control. *Mutat. Res.*, v. 511, p. 113-132, 2002.

RODRIGUEZ, A.; REGO, A. M.; OLIVEIRA, M. L.; FERREIRA, D. Efeitos da Radiação gama do Cobalto-60 em ovos de *Sitotroga cerealella* (Oliver, 1819) (Lepidoptera, Gelechiidae) em laboratório. *Ciência e Cultura*, São Paulo, Brasil, 1983, v.35, n.11, p.1657-1661, 1983.

RODRIGUEIRO, T. S. C.; GINARTE, C. M. A, LEITE, L. G.; TAVARES, F. M.; GOULARTE, R. M.; GIOMETTI, F. H.C. Eficiência de *Heterorhabditis indica* IBCB-N05 (Rhabditida: Heterorhabditidae) no controle de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) sob comedouros de granja avícola. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 75, n. 3, p. 279-284, 2008.

ROGOVSKI, L. M.; POVALUK, M. Ciclo e controle do *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera, Tenebrionidae) no município de Quitandinha; PR. *Saúde Meio Ambiente*, v. 6, n. 1, p. 107-122, 2017.

RUNNER, G. A. Effects of roentgen rays on the tobacco or cigarette beetle and results of experiments with a new form of roentgen tube. *Journal Agriculture Research*, v. 6, n. 11, p. 383-388, 1916.

SALLET, L. A. P. *Seleção de estirpes de Bacillus thuringiensis para o controle de Alphitobius diaperinus (Coleoptera: Tenebrionidae)*. (Tese de Doutorado). Apresentada ao Departamento de Biologia Celular e Molecular da Universidade de Brasília para a obtenção do título de Doutor em Biologia Molecular, 92 p. 2013.

SALEHI, S. S.; RAJABPOUR, A.; RASEKB, A. FARKHARI, M. Repellency and some biological effects of different ultrasonic waves on Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, v. 69, 14-21, 2016.

SALIN, C.; DELETTRE, Y. R.; CANNAVACCILO, M.; VEMON, P. Spatial distribution of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) in the soil of a poultry house along a breeding cycle. *Journal Soil Biology*. v. 36, p. 107-115, 2000.

SANTOS, P. A. ; ARTHUR, V. ; POTENZA, M. R. Emprego da radiação gama do Cobalto-60 na desinfestação de *Tribolium castaneum* (Coleoptera:Tenebrionidae) em cogumelo comestível desidratado *Lentinula edodes*. *Revista de Agricultura*, v. 55, n.1, p. 131-137, 1999.

SANNTORO, P. H.; NEVES, P. M. O. J.; ALEXANDRE, T. M.; SARTORI, D.; ALVES, L. F. A.; FUNGARO, M. H. P. Selection of *Beauveria bassiana* isolates to control *Alphitobius diaperinus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 97, n. 2, p. 83-90, 2008.

SAS Institute. *SAS user'sguide: Statistics*. Version 8.0. Cary: SAS, 1999.

SAOUR., G.; MAKEE, H. Effect of gamma irradiation on fertility of potato tuber moth males and study of inherited sterility phenomena in partially sterile males. *Atomic Energy Commission*, Damascus (Syrian Arab Republic). Dept. of Radiation Agriculture, 33p., 1996.

SILVA, A. S.; HOFF, G.; DOYLE, R. L, SANTUARIO, J. M.; MONTEIRO, S. G. Ciclo biológico do cascudinho *Alphitobius diaperinus* em laboratório. *Acta Scientiae Veterinariae*, v. 33, n. 2, p. 177-181, 2005.

- SOUZA, L. M.; SILVA, G. S.; BELO, M. A. A.; SOARES, V. E.; COSTA, A. J. Controle de *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) em instalações para frangos de corte. *Archives of Veterinary Science*, v. 14, n. 4, p. 214-220, 2007.
- STEPHENS, J. F. *Illustrations of British entomology*, vol. 5. Baldwin & Cradock. v. 5, p. 448, 1832.
- PROVERBS, M. D. Induced sterilization and control in insects. *Annual Review of Entomology*, 14:81-102, 1969.
- TAMBORLIN, M. J. *Efeitos da radiação gama nas fases do ciclo evolutivo de Plodia interpunctella* (Huebner, 1813) (Lepidoptera, Pyralidae) em dieta artificial. 1988. 104p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- THOMAS, D.D.; DONNELLY, C.A.; WOOD, R.J.; ALPHEY, L.S. Insect population control using a dominant, repressible, lethal genetic system. *Science*, 287:2474-2476, 2000.
- TSVETKOV, D.; ATANASOV, K. Possibilities to use radiation disinfection in the control of the Mediterranean meal moth. *Rasteoievdydoi-Nauki-Bulgaria*, Bulgaria, v.20, n. 5, p.51-59, 1983.
- UEMURA, D. H.; ALVES, L. F. A.; OPAZO, M. U.; ALEXANDRE, T. M.; OLIVEIRA, D. G. P.; URSI, M. V. Distribuição e dinâmica populacional do cascudinho *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) em aviários de frango de corte. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 75, n. 4, p. 429-435, 2008.
- VERA, M. T.; WOOD, R. J.; CLADERA, J. Z.; GILBURN, A. S. Factors affecting female remitting frequency in the Medfly. *Florida Entomologist*, v. 85, n.1, p. 156-164, 2006.
- VITAL, T.; DROUVOY.; SAMPAIO, H. Y. Avicultura integrada e estratégias de mercado de grandes empresas em Pernambuco. *Revista Contemporânea de Economia e Gestão - Contextus*, v. 7, n. 2, p. 29-40, 2009.

VITORRI, J.; SCHOCKEN-ITURRINO, R. P.; TROVO, K. P.; RIBEIRO, C. A. M.; BARBOSA, G. G.; SOUZA, L. M.; PIGATTO, C. P.. *Alphitobius diaperinus* como veiculador de *Clostridium perfringens* em granjas avícolas do interior paulista – Brasil. *Ciência Rural*, v. 37, n. 3, p. 894-896, 2007.

VREYSEN, M. J. B.; ROBINSON, A. S. Ionising radiation and area-wide management of insect pests to promote sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Agriculture*, Heidelberg, v. 31, p. 233–250, 2011.

WIENDL, F. M. *Efeitos das radiações gama nas fases do ciclo evolutivo de Zabrotes subfasciatus em feijão*. (Tese de Doutorado) – Piracicaba, ESALQ/USP, Piracicaba, 1969. 157p.

WIENDL, F. M. *Efeitos das radiações gama em Sitophilus zeamais Mots., 1855 (Col., Curculionidae)*. (Tese de Livre-Docência) - Piracicaba, ESALQ/USP, Piracicaba, 1972. 156p

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V. Mortalidade e reprodução de *Rhyzopherta dominica* (Fabr) em arroz irradiado. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 3, n 1, 34-43, 1974.

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V. Efeitos da radiação gama ^{60}Co sobre reprodução e longevidade de *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Col. Antribiedae). In: Reunião Anual da SBPC, 29., São Paulo, 1977. Resumos. *Ciência e Cultura*. Suplemento, v.29, n.7, p.83, jul. 1977.

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V. Controle de pragas em grãos armazenados através de radiações ionizantes. *Lavoura Arrozeira*, v. 13, p. 39-43, 1993.

WIENDL, F. M. ; ARTHUR, V. Longevidade e reprodução de *Cryptolestes pusillus* (Col., Cucujidae) após a irradiação gama com Cobalto-60 e mantido em duas temperaturas. *Scientia Agrícola*, v. 51, n. 2, p. 222-225, 1994.

WIENDL, F. M.; ARTHUR, V.; PACHECO, J. M.; SGRILLO, R. B.; WALDER, J. M. M. Mortalidade e reprodução de *Sitophilus zeamais* em milho pré-irradiado. In: *Uso y calibracion de fuentes intensas de radiacion*, 18-22 de jun., 1973, Santiago Informe del Seminario Santiago., 1973.

WIENDL, F. M.; PACHECO, J. M.; WALDER, J. M. M. SGRILLO, R. B.; DOMARCO, R. E. A method of determining the gamma radiation doses for sterilization. *Sterility for Control*. IAEA, p. 289-315, 1974.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

**O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada
à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela
Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.**