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

Determinação das doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle

RODRIGO SEBASTIÃO ROSSI LEANDRO

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

Orientador:
Prof. Dr. Valter Arthur

São Paulo
2021

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

Determinação das doses letais e esterelizantes para todas as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle

Versão Corrigida

RODRIGO SEBASTIÃO ROSSI LEANDRO

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

Orientador:
Prof. Dr. Valter Arthur

São Paulo
2021

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

LEANDRO, Rodrigo S. R. *Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle*. 2021. 33p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em:

Ficha catalográfica

Leandro, Rodrigo Sebastião Rossi

Determinação das doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle. Rodrigo Sebastião Rossi Leandro. Orientador:

Valter Arthur

São Paulo, 2021.

34p.

Dissertação (Mestrado) – 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. *Trogoderma granarium*. 4. Inseto. I. Título.

Autor: Rodrigo Sebastião Rossi Leandro

Título: Determinação das doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: 22/07/2021

Banca Examinadora

Profa. Dra...: Marcia Nalesso Costa Harder _____

Instituição: FATEC/Piracicaba _____ Julgamento: Aprovado

Prof. Dr.: Antonio Sampaio Baptista _____

Instituição: ESALQ/USP _____ Julgamento: Aprovado

DEDICATÓRIA

Ofereço ao meu pai Ademir Leandro

E em memória a minha mãe Violene Terezinha Rossi Leandro, pelos ensinamentos transmitidos durante toda a trajetória da minha vida.

E dedico

Aos meus filhos *Matteo* e *Lucca* por quem a vida continua

E

***Em memória* aos meus avós**

Antônio Rossi e Lucia Tolotti Rossi

Magdalena de Oliveira Domarco e José Leandro Domarco

AGRADECIMENTOS

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

Ao Prof. Dr. Valter Arthur, meu estimado orientador, pela oportunidade, pela paciência e por acreditar mais uma vez nesse trabalho, agradeço pelas dicas, sugestões e críticas.

Agradeço a Paula Bergamin Arthur, pela paciência, incentivo, otimismo e companhia nas horas boas e ruins, durante todo o período de 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 CNEN, pela bolsa concedida durante o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

LEANDRO, Rodrigo. S. R. *Determinação das doses letais e esterilizantes para todas as fases do ciclo evolutivo do *Trogoderma granarium* visando o seu controle..* 2021. 33p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo.

O *Trogoderma granarium* é um inseto comumente encontrado em grãos armazenados e subprodutos como farinhas e farelos, é uma das principais pragas 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 evolutivo do *T. granarium* 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 de vida do inseto (ovo, larva, pupa e adulto) foram irradiadas com doses crescentes de radiação gama do cobalto-60, de: 0 (controle), 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 e 175 Gy. Cada tratamento constou de 10 repetições com 10 ovos cada num total de 100 ovos. Já para larvas, pupas e adultos 20 por repetição 200 por tratamento. Após a irradiação os insetos foram mantidos em sala climatizada com 25 ± 5 °C e 70 ± 5 % de umidade relativa. Foram feitas as avaliações a cada 7 dias por um período de até 63 dias da mortalidade dos: ovos, larvas, pupas e adultos. O delineamento estatístico experimental para cada ensaio será inteiramente casualizado. 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%. As doses letais para ovos, larvas e pupas foram de: 30, 125 e 150 Gy e a esterilizante para adultos foi de 150 Gy. Portanto a dose recomendada para tratamento fitossanitário do *T. granarium* é a de 150 Gy.

Palavras chave: Irradiação, controle, inseto, *T. granarium*.

ABSTRACT

LEANDRO, Rodrigo. S. R.. *Determination of lethal and sterilizing doses for all the phases of evolutive cycle of *Trogoderma granarium* aiming at your control.* 2021. 33p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN/SP. São Paulo.

Trogoderma granarium is an insect commonly found in stored grains and by-products such as flour and bran, it is one of the main pests in several countries in the world. Because of this fact, the research aims was to determine the lethal and sterilizing doses for all phases of the evolutionary cycle of *T. granarium* aiming at its control. The experiment was carried out at the Radiobiology and Environment Laboratory of the Center for Nuclear Energy in Agriculture - CENA / USP. All phases of the insect's life cycle (egg, larva, pupa and adult) were irradiated with increasing doses of cobalt-60 gamma radiation, from: 0 (control), 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 and 175 Gy. Each treatment consisted of 10 repetitions with 10 eggs each for a total of 100 eggs. For larvae, pupae and adults 20 per repetition and 200 per treatment. After irradiation, the insects were kept in an air-conditioned room with 25 ± 5 °C and $70 \pm 5\%$ relative humidity. Assessments were made every 7 days for a period of up to 63 days for the mortality of: eggs, larvae, pupae and adults. The experimental statistical design for each trial was completely randomized. The results obtained in the evaluations was subjected to analysis of variance by the F test, and the comparison of the means by the Tukey test at 5%. The lethal doses for eggs, larvae and pupae were: 30, 125 and 150 Gy and the sterilizing for adults was 150 Gy. Therefore, the recommended dose for phytosanitary treatment of *T. granarium* is 150 Gy.

Keywords: Irradiation, control, insect, *T. granarium*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Aspectos biológicos do <i>T. granarium</i>	12
2.2 Controle do <i>T. granarium</i>	12
2.3 Controle químico	12
2.4 Controle biológico	13
2.5 Controle de insetos pela aplicação direta das radiações ionizantes	14
2.6 Controle de insetos pela aplicação indireta das radiações ionizantes	15
3. ASPECTOS DE ORIGINALIDADE.....	17
4. OBJETIVO.....	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
6. RESULTADOS E DISCUSSOES.....	18
7. CONCLUSÕES.....	25
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Viabilidade média e desvio padrão de larvas, pupas e emergência de adultos na geração F₁ provenientes de ovos de *Trogoderma granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial..... 19
- Tabela 2. Número médio e desvio padrão de pupas e, adultos da geração F₁ provenientes de larvas de *T. granarium* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.....20
- Tabela 3. Número médio e desvio padrão de adultos emergidos nas gerações P e F₁, provenientes de pupas de *T. granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.22
- Tabela 4. Número médio e desvio padrão de adultos da geração F₁ provenientes de adultos de *T. granarium* irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em dieta artificial.23

1. INTRODUÇÃO

Em todo mundo, os ataques de insetos-praga estão aumentando e vem cada vez mais preocupando os produtores com os impactos causados na produção. Na agricultura, os insetos-praga provocam danos econômicos e significativos todos os anos. Dentre as principais pragas agrícolas, destaca-se a espécie *Trogoderma granarium* descrito por (Everts, 1898) (Coleoptera: Dermestidae), popularmente conhecido como o besouro do arroz é considerado mundialmente um dos principais insetos praga dos produtos e grãos armazenados (MANSUR, 2016; ARTHUR, 2018).

O *Trogoderma granarium* é uma praga de importância quarentenária em muitas partes do mundo. Devido a isso, rigorosas medidas de quarentena são impostas contra produtos agrícolas importadas de países infestados por essa praga. Essa espécie de praga e outras pragas podem ser transferidas de um país para outro através de ovos, larvas, pupas e adultos no interior dos produtos comercializados (ARTHUR; SILVA, 2007; HALLMAN, 2013; MANSUR, 2016).

O uso indiscriminado de inseticidas químicos no controle das pragas agrícolas, como os organofosforados, carbamatos e piretróides sintéticos são tóxicos e deixam resíduos (PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2005; PINTO; RIBEIRO; BERNARDI, 2007). Na maioria das vezes, os inseticidas são aplicados de forma inadequada, deixando resíduos no ambiente e nos produtos, 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 de insetos pela utilização das radiações ionizantes como um método alternativo, atualmente vem se tornando uma realidade em muitos agros ecossistemas (ARTHUR, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos biológicos do *T. granarium*

O ciclo de vida do besouro *Trogoderma granarium* conhecido como besouro do arroz armazenado foi estudado sob condições de climáticas de $25\pm 5^{\circ}$ C de temperatura e 70 ± 5 % de umidade relativa. A fase larval apresentou cinco instares e tempo para o desenvolvimento da fase de ovo até a fase adulta foi de 37 a 40 dias, em média 37,95 dias. A duração de cada estágio de desenvolvimento foi de ovo: 6,05 dias; primeiro instar: 3,8 dias; segundo instar: 4,7 dias; terceiro instar: 5,6 dias; quarto instar: 6,2 dias; quinto instar: 6,8 dias e pupa: 4,8 dias. As fêmeas tiveram uma fecundidade média de 80,2 ovos e a longevidade média das fêmeas foi de 12,4 dias (MANSUR, 2016).

2.2 Controle do *T. granarium*

O controle do *T. granarium* é considerado difícil, seus inimigos naturais são pouco 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. Devido a isso a aplicação da radiação como tratamento fitossanitário poderá resolver o problema (MANSUR, 2016).

2.3 Controle químico

Os piretróides e organofosforados são os mais utilizados no controle do *T. granarium*, 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 dos produtos tratados; a União Europeia, por exemplo, 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 camada do produto, e eles estão sendo banidos do comércio.

Alta tolerância de fosfina foi observada entre as larvas de *T. granarium* mantidas em fendas por 2 a 3 meses antes da fumigação a 20° C. A tolerância foi relacionada à densidade larval durante a criação e à idade larval. Quando larvas de um grupo de populações recém-obtidas de diferentes localidades da África e Ásia foram preparadas de forma semelhante para a fumigação, uma ampla gama de tolerâncias foi observada, indicando a possível presença de resistência à fosfina em pelo menos uma cepa. A variação individual de tolerância dentro das populações foi alta para as larvas e, devido a isso, foi elaborado um teste de resistência usando ovos de 48 horas e uma cepa da África foi identificada como resistente à fosfina (BELL et al., 1983).

2.4 Controle biológico

Diversas pesquisas foram realizadas com utilização de agentes biológicos que ocorrem naturalmente, como é o caso da *Beauveria bassiana* (Bals.), mas devido principalmente as condições climáticas de temperatura e umidade nas quais esses insetos se desenvolvem nos produtos por esse motivo dificultam o desenvolvimento desses agentes biológicos (SANTORO et al., 2008; ALMEIDA e FILHO, 2006).

Já a utilização dos nematóides entomopatogênicos como *Steinernema glaseri* e *S. carpocapsae* foram pesquisados nas fases de larvas e adultos, e mostraram que as larvas foram mais susceptíveis que os adultos ao ataque do nematóide *S. carpocapsae* com uma patogenicidade maior que o *S. glaseri*, sendo que este foi menor que 48 %. Os produtos a base de nematóides e fungos entomopatogênicos ainda não estão sendo produzidos em escala comercial, necessitando de mais pesquisas em relação a maneira de aplicação nos diferentes ecossistemas (ALVES et al., 2005).

REZENDE et al., (2009) desenvolveram um experimento visando a avaliação da atividade dos fungos *B. bassiana*, *Cladosporium* sp. e *Trichoderma* sp. em larvas e adultos de *Alphitobius diaperinus*, inocularam suspensões de conídios na concentração de 107 conídios por mL⁻¹. Verificaram que o isolado de *B. bassiana* foi o que induziu uma maior mortalidade em insetos em comparação com os demais fungos, concluíram que as larvas foram mais sensíveis do que os adultos. Sendo

que a proporção de mortalidade foi confirmada pela ação de *B. bassiana* de 95,0 % e 62,5 % para as larvas e adultos respectivamente.

GAZONI et al., (2012) trabalharam com um isolado do fungo de *Beauveria bassiana* para o controle de *A. diaperinus*, e aplicaram uma suspensão de conídios $3,83 \times 10^8$ por mL⁻¹. Chegaram conclusão de que essa suspensão não foi suficiente para induzir a mortalidade nas larvas e adultos dos insetos após sete dias da aplicação da suspensão dos conídios.

Atualmente existem no Brasil programas de controle biológico de pragas utilizando os entomopatógenos, mas ainda são poucos os estudos com a utilização de nematóides, fungos e bactérias como bioinseticidas, e poucos enfatizam a biodiversidade das espécies e da eficiência dos isolados (RODRIGUEIRO et al., 2008; BIOCONTROLE, 2018).

2.5 Controle de insetos pela aplicação direta das radiações ionizantes

As medidas de controle adotadas para solucionar os danos e perdas ocasionadas pelos insetos são: boas práticas no armazenamento, monitoramento das pragas e tratamento com produto químico; sendo que este, por sua vez, causa danos ao meio ambiente, além dos insetos adquirirem resistência aos princípios ativos dos produtos químicos, e devido a esses problemas, há necessidade de lançar mão de métodos de controle mais eficientes e de baixo custo. Devido a isso a irradiação por diversos fatores se apresenta como uma solução viável no controle de pragas (FOLLETT et al., 2013; FOLLETT, 2014; HALLMAN, 2013; ARTHUR; MACHI; MASTRANGENO, 2015; ARTHUR, 2018).

A primeira utilização de radiações ionizantes em insetos foi realizada por HUNTER, (1912) quando irradiou *Sitophilus oryzae* com raio X, mas não obteve resultados satisfatórios. Os resultados promissores só foram obtidos por RUNNER, (1916) que utilizou raios X para controlar *Lasioderma serricorne*, praga do tabaco armazenado. A partir de 1950 houve um grande avanço nesse tipo de pesquisa. Mas devido alguns fatores como: a resistência de certas pragas aos produtos químicos, o desequilíbrio biológico e principalmente aos problemas toxicológicos. Portanto a irradiação dos produtos armazenados pode solucionar esses tipos de problemas, uma vez que ela não deixa resíduos tóxicos nos produtos e não induz o

aparecimento de resistência nos insetos (HOSSAIN; BROWER; TILTON, 1972; ARTHUR et al., 1973; ARTHUR, 1985; ARTHUR, 1997; WIENDL et al., 1973; WIENDL et al., 1974; ARTHUR, 2018).

Como podemos observar em relação ao controle de insetos pragas de produtos armazenados dessa mesma ordem, ou seja, os Coleópteros são inúmeros os trabalhos realizados no Brasil tais como os de: (ARTHUR; WIENDL, 1975; ARTHUR, et al., 1979a; ARTHUR, et al., 1979b; ARTHUR, et al., 1987; ARTHUR; WIENDL, 1993; ARTHUR; WIENDL; FRANCO, 1993; WIENDL, ARTHUR, 1993; FONTES; ARTHUR, 1994; ARTHUR; WIENDL; HENRIQUE, 1993; MARTINS; ARTHUR, 1994; ARTHUR; HENRIQUE, 1994; WIENDL; ARTHUR, 1994; ARTHUR; FRANCO; WIENDL, 1995; FONTES; ARTHUR; WIENDL, 1996; FRANCO; FRANCO; ARTHUR, 1997; SANTOS; ARTHUR; POTENZA, 1999; POTENZA; ARTHUR; SANTOS, 2000; ARTHUR; FRANCO, 2000; ARTHUR et al., 2000; ARTHUR; ARTHUR, 2001; ARTHUR; FRANCO; ARTHUR, 2001; BOTELHO; ARTHUR, 2001; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; ARTHUR; ARTHUR, 2003; ARTHUR; BERTI-FILHO; ARTHUR, 2003; ARTHUR; SILVA, 2007; ARTHUR, 2012; ARTHUR; MACHI; MASTRANGENO, 2015; ARTHUR, 2018).

Todos esses trabalhos citados acima são unânimes em afirmar que as radiações ionizantes são eficientes para esterilizar ou matar os insetos dessa referida ordem, ou seja, os Coleópteros. Mas especificamente para essa espécie *Trogoderma granarium* nenhum trabalho completo, ou seja, para todas as fases do ciclo evolutivo (ovo, larva, pupa e adulto) foi realizado no Brasil utilizando a radiação ionizante visando o seu controle quarentenário.

2.6 Controle de insetos pela aplicação indireta das radiações ionizantes

Nesse contexto 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 acasale com fêmeas silvestres e consequentemente não resultando daí a descendência de insetos. O número de insetos a serem libertados quanto maior for mais eficiente será o controle, pois a probabilidade das fêmeas encontrar e acasalar com um macho estéril será bem

maior do que a probabilidade de encontrar e acasalar com um macho silvestre que é fértil, conseqüentemente os machos estéreis induzem uma gradativa diminuição da população selvagem sem poluir o ambiente (ARTHUR et al., 2012; MACHI, 2019)

Uma técnica atrativa e eficaz no controle de pragas é a técnica do inseto estéril através do uso da radiação ionizante por ser um método específico e não oferecer riscos aos inimigos naturais, aos polinizadores e ao meio ambiente (ARTHUR, 1997). A criação massal de insetos, a esterilização e posterior liberação em campo para o controle de insetos pragas constituem a Técnica do Inseto Estéril (TIE), a qual já é empregada com sucesso, principalmente para os dípteros, como moscas das frutas, e também para os lepidópteros (KNIPLING, 1955; BLOEM; CARPENTER, 2001; ALPHEY, 2002; BENEDICT; ROBINSON, 2003; DYCKY; HENDRICHES; ROBINSON, 2005; IAEA, 2018; ARTHUR; MACHI; MASTRANGELO, 2015; MACHI, 2019; PASQUALINI; ARTHUR, 2020).

Desenvolvida nos Estados Unidos, a Técnica do Inseto Estéril é empregada nos seis continentes, foi oficialmente considerada com um tipo de controle biológico (DYCKY; HENDRICHES; ROBINSON, 2005). Consiste na supressão de populações de insetos pragas pela liberação de insetos estéreis, o método é ambientalmente seguro, específico e não gera impactos adversos em organismos que não são alvos. Pode ser utilizada com outros métodos de controle biológico, com o uso de predadores, parasitóides e patógenos (HENDRICHES, 2000; MACHI, 2019; PASQUALINI; ARTHUR, 2020).

O princípio desta técnica está relacionado com a maior sensibilidade das células germinativas às radiações ionizantes em comparação com às células somáticas. Na esterilização de insetos pela radiação ionizante ocorre a fragmentação cromossômica nas células germinativas, induzindo à produção de gametas desbalanceados, e conseqüentemente ocorre a inibição da mitose que leva a morte dos embriões fertilizados. Geralmente o objetivo é selecionar a dose de radiação que minimize o máximo os danos somáticos nas células, e ocorra, o comportamento normal do inseto (BARKI et al., 2005). Nos insetos da ordem Lepidoptera, as doses substerilizantes podem ser utilizadas para diminuir os danos causados por altas doses requeridas para à sua esterilização. Conseqüentemente estas doses levam a esterilidade hereditária, sendo que altos níveis de esterilidade são atingidos nas fêmeas e machos nas gerações subsequentes (BLOEM; CARPENTER, 2001; PASQUALINI; ARTHUR, 2020).

Vários programas de controle de pragas estão sendo utilizados através da Técnica do Inseto Estéril para supressão de populações de insetos pragas (BLOEM; CARPENTER, 2001). Também já existem pelos menos 20 programas de manejo integrado de pragas no mundo que utilizam a TIE no controle de moscas-das-frutas. No Brasil nos temos também dois programas de criação e esterilização de moscas das frutas visando a aplicação da Técnica do Inseto Estéril um em Juazeiro na Bahia, e outro em Vacaria no Rio Grande do Sul. Já para o controle de insetos em grãos armazenados apesar de ser eficiente esta técnica não é recomendada (ARTHUR, 1985).

3. ASPECTOS DE ORIGINALIDADE

O ataque de insetos praga vem aumentando mundialmente e preocupando os produtores devido aos danos econômicos causados na produção. Uma das principais pragas agrícolas, é o *Trogoderma granarium* popularmente conhecido como besouro do arroz, é praga dos grãos e subprodutos armazenados. 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, além de deixar resíduos tóxicos nos produtos dificultando a sua exportação. 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 a aplicação da radiação ionizante, que se constitui num processo atrativo e eficaz, por ser específico e não oferecer riscos.

4. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da radiação gama do Cobalto-60 nas diferentes fases do ciclo evolutivo (ovo, larva, pupa e adultos) do *Trogoderma granarium* visando o seu controle.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Radiobiologia e Ambiente do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP. Para a irradiação dos insetos foi utilizado um irradiador de Cobalto-60, tipo Gammacell.

Foram utilizados neste trabalho insetos da espécie: *Trogoderma granarium* coletados em alpiste em Piracicaba – SP, que estão sendo criados a várias gerações nos seguintes substratos: farinhas de trigo, farelo de arroz, germe de trigo e levedura de cerveja. Estes estão sendo mantidos em sala climatizada com temperatura de 27 ± 2 °C e umidade relativa de 70 ± 5 %. Todas as fases do inseto foram irradiadas com doses crescentes de radiação gama: 0 (controle), 10 a 175 Gy, sob uma taxa de dose de 0,754 kGy/h. Cada tratamento para a fase de ovos constou de 10 repetições por tratamento com 10 ovos cada, num total de 100 por tratamento. Já para as demais fases larva, pupa e adulto foram 20 insetos por repetição num total de 200 por tratamento.

As avaliações das mortalidades dos: ovos, larvas, pupas e adultos, foram realizadas a cada 7 dias, durante um período de 63 dias após a irradiação dos insetos, posteriormente foi observado o número de: larvas eclodidas de ovos irradiados, de larvas irradiadas transformadas em pupas e adultos, adultos emergidos de pupas irradiadas e viabilidade dos ovos dos adultos irradiados, em cada repetição dentro de cada tratamento. O delineamento estatístico experimental para os ensaios foram inteiramente casualizado. Os resultados obtidos das avaliações dos ensaios 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).

6. RESULTADOS E DISCUSSOES

Irradiação de ovos

Constam na Tabela 1 as viabilidades médias de larvas eclodidas, pupas e emergência de adultos da geração F₁ provenientes de ovos de *Trogoderma granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, 0 (controle); 10; 20 e 30 Gy em dieta artificial. Pelos resultados dessa Tabela 1

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 consequentemente 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 induzir a mortalidade total dos embriões.

Tabela 1. Viabilidade média e desvio padrão de larvas, pupas e emergência de adultos na geração F_1 provenientes de ovos de *Trogoderma granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.

Doses/Gy	Número médio de ovos irradiados	Número médio de larvas eclodidas	Número médio de pupas	Numero médio de adultos emergidos na geração F_1
0	10	7,5±1,5 ^{a*}	7,0±1,2a	4,0±2,0a
10	10	5,2±1,0b	4,0±1,5b	2,0±0,8b
20	10	2,2±1,3c	1,0±1,7c	1,0±0,3c
30	10	0,0±0,0d	0,0±0,0d	0,0±0,0d

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

Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; FONTES; ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017; ARTHUR, 2018), quando irradiaram ovos de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Trogoderma granarium* e *Alphitobius diaperinus* pertencentes a essa mesma ordem (Coleoptera).

Irradiação de larvas

Constam na Tabela 2, a viabilidade média de pupas e adultos na geração provenientes de larvas de *T. granarium* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125 e 150 Gy, em dieta artificial. Pelos resultados dessa Tabela, 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 consequentemente evitando a transformação das larvas em pupas.

Tabela 2. Número médio e desvio padrão de pupas e, adultos da geração F₁ provenientes de larvas de *T. granarium* irradiadas com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.

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

Também se pode 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. Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; ARTHUR et al., 1979; FONTES; ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017; ARTHUR, 2018), que irradiaram larvas de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Tribolium castaneum*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Trogoderma granarium* e *Alphitobius diaperinus* pertencentes a essa mesma ordem (Coleoptera).

Irradiação de pupas

Constam na Tabela 3, a emergência de adultos das gerações P e F₁ provenientes de pupas de *T. granarium* 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. Pelos resultados dessa Tabela, 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 consequentemente 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 dessa Tabela 3 podemos também observar que a fase de pupa foi a mais resistente das fases imaturas (ovo e, larva) desse inseto em relação as doses para induzir a letalidade total (DL_{100%}). Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; FONTES; ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; FONTES; ARTHUR; ARTHUR, 2003; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017; ARTHUR, 2018; HOSSAIN et al., 2021), que irradiaram pupas de insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Trogoderma granarium* e *Alphitobius diaperinus* pertencentes a essa mesma ordem (Coleoptera).

Tabela 3. Número médio e desvio padrão de adultos emergidos nas gerações P e F₁, provenientes de pupas de *T. granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60, em dieta artificial.

Doses/Gy	Número médio de pupas irradiadas	Número médio de adultos emergidos na geração P	Número médio de adultos emergidos na geração F ₁
0	20	18,3±3,0a	116,9±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

Irradiação de adultos

Constam na Tabela 4, o número médio de adultos na geração F₁ provenientes de adultos da geração P de *T. granarium* irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 de: 0 (controle); 25; 50; 75; 100; 125; 150 e 175 Gy, em dieta artificial. Pelos resultados dessa Tabela, 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. Estando esses resultados de acordo com obtidos por (WIENDL, 1969; ARTHUR et al., 1980; FONTES; ARTHUR, 1994; FRANCO; ARTHUR; FRANCO, 2002; MANSUR, 2016; ARTHUR et al., 2017; ARTHUR, 2018; HOSSAIN et al., 2021), que irradiaram insetos das espécies *Zabrotes subfasciatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Trogoderma granarium* e *Alphitobius diaperinus* pertencentes a essa mesma ordem (Coleoptera). Portanto os resultados obtidos nesse trabalho são de suma importância, pois fornecem subsídios

para o um possível controle quarentenário da população deste inseto praga através do processo de irradiação isso porque a dose de 150 Gy foi letal para as fases imaturas e esterilizantes para os adultos.

Tabela 4. Número médio e desvio padrão de adultos da geração F₁ provenientes de adultos de *T. granarium* irradiados na geração P com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60, em dieta artificial.

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

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

As normas internacionais para medidas fitossanitárias NIMF N° 18, (2003) sobre o uso da irradiação é prevenir a introdução ou disseminação de pragas regulamentadas. Sendo que isto pode ser feito através da obtenção de algumas 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. Portanto algumas opções específicas podem ser determinadas quando a resposta necessária for a incapacidade de reprodução da praga. Podendo incluir: esterilidade completa; fertilidade limitada apenas para 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 *T. granarium* 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) consequentemente inibindo a emergência de adultos. Esta dose de 150 Gy 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 os besouros de produtos armazenados da ordem Coleoptera para esterilizar adulto em reprodução ativa requer doses variando de 50-400 Gy.

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.

Com relação a TIE pode ser considerada um método eficiente em programas de manejo integrado desde que atenda os requisitos básicos para sua utilização. Mas convém lembrar que para o controle de insetos em grãos armazenados apesar de ser eficiente esta técnica não é recomendada, devido ao grande numero de insetos que devem ser liberados a cada geração, consequentemente prejudica a aceitabilidade e consumo dos grãos (ARTHUR, 1985).

7. CONCLUSÕES

As doses letais para ovos, larvas e pupas foram de: 30, 125 e 150 Gy e a esterilizante para adultos foi de 150 Gy.

Portanto a dose recomendada para tratamento fitossanitário do *T. granarium* é a de 150 Gy.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, 287p. 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.
- ARTHUR, V. **Efeitos esterilizantes e letais das radiações gama nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitotroga cerealella* em arroz e milho**. Tese (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, 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, P. B. **Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae)**. (Tese de Doutorado) IPEN, 76p. 2018.

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. ; WIENDL, F. 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 ; 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 Sinica**. v. 7, n. 4, p. 223-226, 1993.

ARTHUR, P. B.; VILLAVICENCIO, A. L. C.; MACHI, A. R.; ROSSI, R. S.; ARTHUR, V. Control of *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) (Coleoptera Tenebrionidae) by gamma radiation. **Australian Journal of and Basic Applied Science**, v. 7, n.12, p. 85-88, 2018.

ARTHUR, V. ; WALDER, J. M. M. ; WIENDL, F. M. ; HENRIQUE, B. C. Dispersão de adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1789 (Col., Curculionidae) em cana de açúcar marcados com P-32. **Energia Nuclear e Agricultura**, v. 8, n.1/2, p. 79-86, 1987.

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 e 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, 1979a.

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, 1979b.

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.

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.

BELL, C. H.; WILSON, S. M.; BANKS, H. G.; SMITH R. H. An investigation of the tolerance of stages of kharpa beetle *Trogoderma granarium* to phosphine. ***Journal of Stored Product Research***, v. 11, p245-247, 1983.

BELLUSSO, D.; HESPANHOL, N.A. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. ***Revista Percorso*** - Nemo Maringá, 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 Parasitologia*, n. 19, p. 349-355, 2003

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

BIOCONTROLE – *Métodos de Controle de Pragas* Ltda. Disponível em:< http://www.biocontrole.com.br/pragas/lasioderma_serricorne.php> Acesso em: 07 maio. 2018.

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

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

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.; 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.

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.

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.

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

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

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.

HOSSAIN, F.; FOLLETT, P.; SHANKAR, S.; BEGUM, T.; LACROIX, M. Radiosensitization of rice weevil *Sitophilus oryzae* using combined treatments of

essential oils and ionizing radiation with gamma-ray and X-Ray at different dose rates. ***Radiation Physics and Chemistry***, v. 180, p. 86-92, 2021.

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

IAEA. Development of the Sterile Insect Technique for mosquitoes. [<http://www.iaea.org/programmes/naal/agri/index.htm>] webcite, 2018.

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.

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

MACHI, A. R. ***Efeitos da radiação ionizante nas fases do ciclo evolutivo de Aedes aegypti L. visando o seu controle através da técnica do inseto estéril.*** (Tese de Doutorado) IPEN, 75 p., 2019.

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

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.

PASQUALINI, A. A.; ARTHUR, V. Efeito do cobalto-60 em fêmeas *R. (B) microplus* na postura e na incubação dos ovos. ***Medicina Veterinária e Zootecnia***, v. 14, n. 2, p. 1-6, 2020.

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.

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.

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.

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 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.

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**, San Diego, v. 97, n. 2, p. 83-90, 2008.

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

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* (M) 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, Inovações e Comunicações.