



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AUTARQUIA ASSOCIADA A UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA DO COBALTO-60 NAS
FASES DO CICLO EVOLUTIVO DE *Tribolium castaneum*
(HERBEST., 1797) (COLEOPTERA-TENEBRIONIDAE)**

LUCIA DA SILVA FONTES

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

**Orientador:
Prof. Dr. Valter Arthur**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**EFETOS DA RADIAÇÃO GAMA DO COBALTO-60 NAS FASES DO
CICLO EVOLUTIVO DE *Tribolium castaneum* (HERBST., 1797)
(COLEOPTERA-TENEBRIONIDAE)**

LUCIA DA SILVA FONTES



Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências.
Área de Concentração: Tecnologia Nuclear Básica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. VALTER ARTHUR

SÃO PAULO

1994

Aos meus pais:

ANTÔNIO JOSÉ e DULCINÉA

e IRMÃOS, pelo apoio constante

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. VALTER ARTHUR, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e valiosa orientação na realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. FREDERICO MAXIMILIANO WIENDL, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e versão do resumo para o Inglês: toda a minha gratidão e reconhecimento;

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-SP, pela oportunidade;

Aos Professores do IPEN, e em especial ao Dr. JOSÉ RUBENS MAIORINO, pela atenção e ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários da Secretária de Pós-Graduação do IPEN;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, pelas facilidades oferecidas;

Aos técnicos da seção de Entomologia do CENA, MARIA DE LOURDES ZAMBONI COSTA, LUIZ ANSELMO LOPES, ADILSON CORRÊA DA SILVA, CLARICE MATRAIA e em especial a LÚCIA CRISTINA APARECIDA DOS SANTOS pela amizade e colaboração no decorrer deste trabalho;

Às Professoras Dras. RACHEL ELIZABETH DOMARCO e REGINA TERESA ROSIM MONTEIRO, pela amizade e consideração;

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. VALTER ARTHUR, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e valiosa orientação na realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. FREDERICO MAXIMILIANO WIENDL, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e versão do resumo para o Inglês: toda a minha gratidão e reconhecimento;

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-SP, pela oportunidade;

Aos Professores do IPEN, e em especial ao Dr. JOSÉ RUBENS MAIORINO, pela atenção e ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários da Secretária de Pós-Graduação do IPEN;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, pelas facilidades oferecidas;

Aos técnicos da seção de Entomologia do CENA, MARIA DE LOURDES ZAMBONI COSTA, LUIZ ANSELMO LOPES, ADILSON CORRÊA DA SILVA, CLARICE MATRAIA e em especial a LÚCIA CRISTINA APARECIDA DOS SANTOS pela amizade e colaboração no decorrer deste trabalho;

Às Professoras Dras. RACHEL ELIZABETH DOMARCO e REGINA TERESA ROSIM MONTEIRO, pela amizade e consideração;

A funcionária do CENA, Maria Isabel dos Santos Vieira;

A Secretaria de Educação do Estado do Piauí;

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

A HENRIQUE C. SANTOS e MARIA APARECIDA B. SANTOS, pela amizade e consideração;

Ao companheirismo dos colegas do curso;

A MARIA DAS GRAÇAS SILVA AMORIM, pela amizade e consideração;

À CLOTILDE MARIA BATOCHIO CUNHA, pela amizade, incentivo e colaboração;

À KÁTIA M. ANDRADE FERRAZ, pela amizade e auxílio na elaboração das referências bibliográficas;

A NADIR HELENA VOLTARELLI, pela digitação deste trabalho;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

A DEUS, pela fé e perseverança.

ÍNDICE

- RESUMO.....	iii
- SUMMARY.....	iv
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4 - RESULTADOS.....	22
4.1 - Determinação das doses esterilizante e letal para ovos.....	22
4.2 - Determinação das doses esterilizante e letal para larvas.....	22
4.3 - Determinação das doses esterilizante e letal para pupas.....	23
4.4 - Determinação da dose esterilizante para adultos e longevidade média.....	23
4.5 - Determinação da dose letal imediata para adultos.....	24
5 - DISCUSSÃO.....	38
5.1 - Determinação das doses esterilizante e letal para ovos.....	38

	ii
5.2 - Determinação das doses esterilizante e letal para larvas.....	39
5.3 - Determinação das doses esterilizante e letal para pupas.....	40
5.4 - Determinação da dose esterilizante para adultos e longevidade média.....	40
5.5 - Determinação da dose letal imediata para adultos.....	41
6 - CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA DO COBALTO-60 NAS FASES DO CICLO
EVOLUTIVO DE *Tribolium castaneum* (HERBST., 1797)
(COLEOPTERA:TENEBRIONIDAE)**

AUTOR: Lúcia da Silva Fontes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Valter Arthur

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo determinar as doses esterilizante e letal para as fases do ciclo evolutivo de *T. castaneum* (Herbst.,) (Coleoptera:Tenebrionidae), através de doses crescentes de radiação gama.

Para todos os tratamentos com radiação gama, utilizou-se uma fonte de Cobalto-60, tipo Gammabeam-650, com uma taxa de dose de 1,24 a 3,05 kGy/hora. O experimento foi conduzido sob condições controladas com temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$.

A DL_{100} e a dose esterilizante para ovos foram respectivamente 30 e 20 Gy. A dose esterilizante para a fase de larvas foi 25 Gy. Para as fases de pupa e adulto as doses esterilizantes foram 50 e 75 Gy, respectivamente. A dose letal imediata (DL_{100}) obtida para os adultos foi 1.500 Gy.

**GAMMA RADIATION EFFECTS OF COBALTO-60 ON *Tribolium castaneum*
(HERBST., 1797) (COLEOPTERA:TENEBRIONIDAE)**

AUTHOR: Lúcia da Silva Fontes

ADVISER: Prof. Dr. Valter Arthur

SUMMARY

The objectives of this research was to verify the effects of gamma radiation of a Cobalt-60 source on the life cycle of the red-flour-beetle *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

The used dose rate was 1,24 A 3,05 kGy per hour, and the irradiated insects were kept under controlled environment condition of 23 to 27°C and 65 to 75 percent relative humidity after treatments.

For eggs the sterilizing and the LD₁₀₀ dose were respectively, 20 and 30 Gy. The sterilizing dose for larvae were 25 Gy. The dose to sterilize pupae and adults to avoid offspring were respectively 50 Gy and 75 Gy. The dose of gamma radiation to kill all adults (LD₁₀₀) were 1,500 Gy.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial há, uma maior demanda por alimentos. Estes quando armazenados, são danificados por diversas causas (temperatura, microrganismos e insetos), tornando o problema da conservação de alimentos cada vez mais sério.

Conforme cita FENEMORE (1983), a Organização de Agricultura e Alimentação das Nações Unidas tem estimado que um terço de todo alimento cultivado é perdido por ataques de pragas a partir de culturas desenvolvidas e em armazéns. As injúrias causadas pelas pragas variam, portanto, de acordo com a natureza dos danos produzidos e com a quantidade de pragas presentes. A maioria das pragas que atacam grãos armazenados, farinhas e farelos, desenvolvem-se bem em temperatura e umidade relativa elevadas, sendo estes fatores que determinam a grande atividade reprodutiva dos insetos nas regiões tropicais e subtropicais.

Tendo em vista os elevados danos causados aos grãos e produtos armazenados pelos insetos, torna-se necessário por em prática meios de controle, a fim de se evitar os prejuízos. Um dos métodos mais utilizados é a aplicação de produtos químicos, que apresenta vários inconvenientes, entre eles a possibilidade de causar intoxicação ao consumidor por deixar resíduos nos alimentos tratados. Por oferecer um método livre de resíduos para o controle de pragas, o tratamento com radiação é um substituto viável à fumigação para satisfazer os regulamentos quarentenários de vários países.

Em 1916, RUNNER, pela primeira vez obteve êxito na esterilização do caruncho do fumo, *Lasioderma serricone* (F.) utilizando raios-X.

No Brasil, os primeiros estudos foram realizados por GALLO (1960), irradiando pupas de *Ceratitis capitata* (Wied.) e *Diatraea saccharalis* (F.), com irradiação gama proveniente do berílio, com o objetivo de obter insetos estéreis. Ainda no Brasil, foi somente em 1969 que WIENDL, trabalhando com *Zabrotes subfasciatus* (Boh.), iniciou o problema de desinfestação por radiações ionizantes.

Dentre os insetos que causam grandes perdas qualitativas e quantitativas, destaca-se o *Tribolium castaneum* (Coleoptera:Tenebrionidae), que ataca todos os tipos de cereais

móidos, como farelos, rações farinhas, fubá e grãos quebrados, defeituosos ou já atacados por outras pragas. Ataca raízes de gengibre, frutos secos, chocolate, nozes e grãos de leguminosas (GALLO et al., 1988). Além do real prejuízo causado por sua atividade alimentar deixa cheiro e sabor desagradável ao material infestado. A farinha é o principal material infestado por *T. castaneum*. Praticamente todo tipo de farinha pode ser infestada, e a farinha de trigo integral parece ser, especialmente, propensa ao ataque (GOOD, 19386).

Devido a importância dessa praga para produtos armazenados, o presente trabalho teve como objetivo determinar as doses esterilizantes e letais de radiação gama do Cobalto-60 para todas as fases do ciclo evolutivo de *T. castaneum* em farinha de trigo visando o seu controle.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Biologia

A espécie *Tribolium castaneum* (Herbst.) constitui um inseto praga que ataca em nosso meio todos os tipos de cereais como: farelos, rações, farinhas, fubá, grãos quebrados ou defeituosos já atacados por outros insetos. Possuem distribuição cosmopolita, ocorrendo em todo o mundo. No Brasil, sua distribuição se encontra nos estados de São Paulo, Amazonas, Pará, Ceará, Pernambuco, Bahia, Alagoas, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Temperatura e umidade são fatores importantes para a reprodução de *T. castaneum* (Herbst.). Conforme MARICONE (1976), esses insetos, geralmente, depositam seus ovos nas superfícies das sementes, o período de incubação é de 3 a 11 dias. À 30°C o período larval é de 22 a 25 dias e a 25°C é de 38 a 61 dias. O período pupal varia de 4 a 8 dias, e os adultos podem viver até 4 anos.

Efeitos das Radiações em *T. castaneum* (Herbst.)

BARTLETT & BELL (1961) estudaram os efeitos da radiação sobre a reprodução de duas raças de *T. castaneum* (Herbst.), observaram que as mesmas não diferenciaram na produção de ovos, e a raça não selecionada teve uma taxa de reprodução superior. A produção de ovos não foi afetada por doses acima de 1000 rad¹. Verificou-se um declínio no número de progênie de fêmeas irradiadas com dose até 6000 rad.

SOKOLOFF (1961), expôs imagos de *T. castaneum* (Herbst.) e *T. confusum* (Du Val) a dosagens de raios-X de 1500, 3000 e 6000 rad, administrada em 2,5; 5 e 10 minutos respectivamente. Concluiu que a reprodutividade de fêmeas irradiadas e cruzadas com machos não irradiados de *T. castaneum* (Herbst.) foi maior com a dose de 1500 rad em relação a testemunha, a reprodutividade caiu em 75% com a dose de 3000 rad e 100% com a dose de 6000 rad (a reprodutividade da testemunha foi de 100%). Machos de *T. castaneum* (Herbst.) foram mais sensíveis ao raio-X do que fêmeas, e machos de *T. confusum* (Du Val) foram mais sensíveis do que machos de *T. castaneum* (Herbst.). A reprodutividade de *T. castaneum* (Herbst.) em relação a testemunha, foi de 11,5% com a dose de 3000 rad e 0,5% com a

¹ rad - (dose absorvida de radiação) = esta unidade expressa a absorção de energia em qualquer meio e não depende nem do tipo nem da energia de radiação ou material absorvedor. Por definição, 1 rad - é a absorção de 100 ERG de energia por grama.

dose de 6000 rad, para *T. confusum* (Du Val) os valores correspondentes foram de 8% e 0,5% em relação a testemunha.

Em 1962, BARTLETT & BELL determinaram os efeitos do raio-X sobre a fecundidade e fertilidade de duas raças de *T. castaneum* (Herbst.), e concluíram que as raças dos insetos apresentaram diferenças na radiosensibilidade.

CROOCK (1962) verificou a suscetibilidade de todos os estádios de desenvolvimento de *T. castaneum* (Herbst.) à radiação gama, observou que as doses de 11.100 rad, 10.800 rad e 21.900 rad, causaram a mortalidade de ovos, larvas, pupas e adultos respectivamente.

SOLIMAN (1962) verificou os efeitos de uma única dose de radiação-X (10 krad^2), sobre pupas de duas populações de *T. castaneum* (Herbst.) e *T. confusum* (Du Val), a uma temperatura de 33°C e 70% de umidade relativa, observou que o tempo de sobrevivência após a irradiação foi diferente entre as populações de *T. castaneum* (Herbst.), com uma variação de 8-50 dias e 5-48 dias. *T. confusum* (Du Val) não mostrou nenhuma diferença entre as populações. Verificou-se uma diferença total entre as duas espécies que foi de 7-25 dias para *T. castaneum* (Herbst.) e 5-70 dias para *T. confusum* (Du Val).

² krad - dose absorvida de radiação: $1 \text{ krad} = 10^3 \text{ rad} = 10 \text{ Gy}$.

ERDMAN (1962) comparou a sensibilidade de *T. castaneum* (Herbst.) e *T. confusum* (Du Val) aos raios-X, em diferentes idades de seu ciclo de vida, e observou que o estágio de ovo com idade de 1-3 horas após a oviposição foi o estágio mais radiosensível. Neste período, as doses de 1-2 krad foram letais. Em estádios subseqüentes, as doses letais foram maiores que as esterilizantes. *T. confusum* (Du Val) foi mais sensível ao raio-X que *T. castaneum* (Herbst.). A radioresistência marcante em condições de letalidade de pupas de *T. castaneum* (Herbst.) permaneceu até adulto.

HUQUE (1963) irradiou adultos de *R. dominica* (Fabr.), *T. castaneum* (Herbst.), *S. granarius* (L.), *T. granarium* (Ervest.). Após a exposição a uma dose de 250 krad, obteve 100% de mortalidade.

NAIR & SUBRAMANYAN (1963) trabalhando com *T. castaneum* (Herbst.), observaram que, variando a taxa de irradiação de 126 para 14000 rad/hora, houve um declínio na fertilidade de adultos. Também a viabilidade dos ovos foi grandemente reduzida com o aumento da taxa, mas com uma taxa extremamente elevada a viabilidade aumentou significativamente.

DISYAN (1966) estudou os efeitos da radiação sobre os vários estádios do ciclo evolutivo de *T. castaneum* (Herbst.), verificou que a fase de ovo foi o estágio mais radiosensível. As

doses que causavam 100% de mortalidade de ovos, larvas, pupas e adultos, foram respectivamente: 1.530, 2.200, 6.200 e 62.000 rad. A dose esterilizante para adultos foi de 6.000 rad.

ERDMAN (1966a) observou os efeitos do dimetilsulfóxido sobre a produtividade de *T. castaneum* (Herbst.) exposto ao raio-X, verificou que houve influência indireta quimioesterilizante.

MATSUYAMA (1966) pesquisando a radiosensibilidade do *Sitophilus* sp., *C. chinenses* (L.) e do *T. castaneum* (Herbst.), determinou as doses de 5 a 7 krad como esterilizantes para essas espécies, e a de 300 krad a letal.

WATTERS & MACQUEEN (1967) irradiando cinco espécies de insetos: *T. castaneum* (Herbst.), *T. confusum* Du Val, *Cryptolestes ferrugens* (Sdpteph), *Rhyzopertha dominica* (Fabr.) e *Sitophilus granarius* (L.), concluíram que doses de radiação gama entre 625 a 150.000 rad foram capazes de controlar essas cinco espécies de insetos pragas de grãos armazenados.

ERDMAN (1968) testou a sensibilidade de linhagens da espécie *Tribolium* e radiação-X, verificou que as doses de 1-3 krad foram letais para ovos, as de 8-15 krad letais para adultos e as doses esterilizantes foram de 4-60 krad. O *T. confusum* (Du Val) (Linhagem Chicago Standart) foi mais sensível em todos os

estádios que as linhagens de *T. castaneum* (Herbst.) (Linhagens Brasil cI e sooty).

YANG & DUCOOF (1969) estudando a radiosensibilidade de larva de *T. castaneum* (Herbst.) em diferentes idades (de 2-17 dias) ao raio-X, verificaram que as larvas mais jovens foram menos radiosensíveis que as larvas mais velhas. As DL50(60) para larvas com idades de 2, 7, 12 e 17 dias, mantidas a 30°C, foram 4,95; 3,20 e 3,20 krad, respectivamente. a uma taxa de exposição de 230 krad/min. A DL50(100) de larvas com 14 dias, mantidas a temperatura de 22°C, após a irradiação não apresentou diferença significativa quando comparada com aquela de larvas não tratadas. A exposição de larvas a 15°C por 24 horas antes da irradiação revelou um pequeno aumento na radiosensibilidade.

ERDMAN (1970) observou os efeitos da radiação-X e o inseticida DDT sobre a mortalidade e reprodução de *T. confusum* (Du Val) e *T. castaneum* (Herbst.), verificou que houve uma diminuição na capacidade reprodutora com o aumento da exposição ao raio-X. Houve também maior mortalidade de fêmeas em relação aos machos.

BROWER et al. (1973) em estudos feitos com *T. madens* (Charpentier) e *T. castaneum* (Herbst.), verificaram os efeitos da radiação gama com doses entre 5 e 100 krad em todos os

estádios do ciclo evolutivo desses insetos e observaram que o *T. madens* mostrou-se mais radiossensível que o *T. castaneum*.

BROWER & DAVIS (1973) irradiaram ovos de *T. castaneum* (Herbst.) com uma dose de 2,5 krad, sob uma taxa de dose de 6; 18 e 43 krad/seg, em diferentes idades (18 ± 6 , 42 ± 6 e 66 ± 6 horas), observaram que os ovos com dois dias de idade (42 ± 6 horas) foram mais sensíveis a radiação gama. A eclosão das larvas quando os ovos foram irradiados com uma taxa de dose de 43 rad/seg foi menor do que os irradiados com uma taxa de dose de 6 a 18 rad/seg.

BROWER et al. (1973) estudaram a fecundidade de quatro populações de *T. castaneum* (Herbst.) e de *Sitophilus oryzae* (L.), que foram tratados com: 0 (testemunha), 0,5; 1 e 2 krad de radiação gama. Adultos da sexta geração de cada população de *T. castaneum* (Herbst.) e *S. oryzae* (L.) foram expostos a radiação aguda com doses de 16 a 50 krad e não apresentaram diferença na mortalidade.

SOLIMAN (1973) em estudos realizados com populações de *T. castaneum* (Herbst.) e *T. confusum* (Du Val) em diferentes localidades, submeteu esses insetos a uma dose de 10 krad de raio-X. Observou que o percentual de emergência de adultos foi de 5,35% para *T. castaneum* (Herbst.) e 28,48% para *T. confusum* (Du Val). Verificou ainda um aumento no período de pupação dentro das populações.

SOLIMAN (1973) irradiou *T. castaneum* (Herbst.) e *T. confusum* (Du Val) com raio-X, e observou que *T. castaneum* (Herbst.) foi mais resistente que *T. confusum* (Du Val) com 5,5% e 18,6% de anormalidade, respectivamente.

BROWER (1974a) irradiou *T. castaneum* (Herbst.), com doses sub-letais de radiação gama por 25 gerações, observou uma diminuição na capacidade reprodutiva e um aumento na esterilidade desses insetos, com doses de 0,5 a 4 krad.

BROWER (1974b) em estudos feitos com *T. castaneum* (Herbst.) para obter dados relativos a tolerância à radiação de uma raça resistente ao DDT e Malathion, observou que a raça resistente aos inseticidas produziu menos descendentes que a raça suscetível.

WIENDL et al. (1974) avaliaram os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação gama sobre adultos de *T. castaneum* (Herbst.). As taxas de dose de radiação utilizadas foram: 59.580; 15.750; 2.750; 632; 154; 63 e 35 rad/hora, e doses de 7.500 rad e 1.100 rad. Observaram a mortalidade dos adultos a cada sete dias. A dose de 7.500 rad prolongou a vida dos insetos. A dose de 1.500 rad sob uma taxa maior que 2.750 rad/hora teve efeitos esterilizantes. A dose de 1.600 rad, sob taxas menores que 632 rad/hora, a longevidade dos adultos foi semelhante a das testemunhas.

ARTHUR et al. (1975) em pesquisa objetivando determinar a dose letal e esterilizante para pupas de *T. castaneum* (Herbst.), concluíram ser de aproximadamente 46,25 krad a dose letal para pupas e a dose de radiação que causa a esterilidade nos adultos é de 15 krad.

Em 1975, WALDER et al. realizaram estudos para determinar a dose letal imediata de radiação gama, para *T. castaneum* (Herbst.), sendo as doses administradas: 100; 200; 400 e 600 krad, sob uma taxa de dose de 57 krad/hora, verificaram ser a dose de 400 krad a dose letal imediata.

BATHIA & SETHI (1980) em estudos combinados de radiação gama e tratamento de inseticidas sobre os adultos de uma raça suscetível de *T. castaneum* (Herbst.) ao inseticida observaram uma redução dos efeitos tóxicos dos compostos, especialmente nos casos de lindane e DDT. Entretanto no caso de malathion observou-se mortalidade quando os adultos foram expostos a várias doses de radiação gama.

SAXENA & BATHIA (1981) realizaram estudos sobre a radiosensibilidade de uma raça resistente a fosfina de *T. castaneum* (Herbst.) e interação da radiação gama e fumigação. Observaram que em relação a fosfina não houve nenhuma mudança na sensibilidade à radiação. As investigações sobre a interação entre radiação gama e fumigação com fosfina em raças suscetíveis,

através de testes de bioensaios, revelaram que não houve interação entre os dois tratamentos.

Em 1982, BHAT *et al.*, em pesquisas para determinar os efeitos de seleção e radiação gama sobre a fecundidade de *T. castaneum* (Herbst.), observaram uma divergência significativa de 11,6% de ovos entre os métodos de alta e baixa seleção. Não foi verificada nenhuma diferença na fecundidade de insetos tratados com 1.500 rad e insetos não tratados. Uma dose de 2.300 rad reduziu, significativamente a produção de ovos da progênie. Verificou-se uma diminuição linear no número de ovos na progênie com um aumento na dose de radiação com as quais os pais foram tratados.

FAUSTINI & SOKOLOFF (1982) trabalharam com *T. castaneum* (Herbst.), e examinaram se a radiação de uma fonte de Césio¹³⁷ (¹³⁷Cs) exercia alguma influência na recombinação em estados específicos de desenvolvimento, expôs machos heterozigotos de cada estágio de desenvolvimento (larva, pupa e adulto) a 4 krad e cruzou com fêmeas homozigotas. Verificou-se um "crossing over" significativamente menor que no grupo testemunha (larva e pupa). Concluíram que essas freqüências reduzidas de recombinação são devidas a uma supressão parcial de recombinação. Verificou-se um aumento significativo no "crossing over" entre pupa de 6 dias (81%) e emergência de adulto (33%), e também verificou-se um pico de incidência de adultos nos dias 9; 12; 14;

15 (36-38%), períodos mais suscetíveis a indução do "crossing over" por radiação ionizante.

BHAT & SANTIAGO (1983) realizaram estudos para determinar os efeitos da radiação gama sobre a fecundidade, taxa de oviposição e mortalidade de *T. castaneum* (Herbst.), observaram que a irradiação reduziu significativamente a fecundidade, havendo pouca diferença entre as doses usadas. Não foi verificada nenhuma eclosão de larvas após o tratamento.

Em 1984, MEHTA & SETHI realizaram pesquisas para determinar a suscetibilidade de *T. castaneum* (Herbst.) à radiação gama, observaram que a radiosensibilidade de ovos diminuiu com o aumento da idade do embrião; ovos com idade de 72-96 horas necessitaram de uma dose de radiação elevada para serem esterilizados.

MEHTA *et al.* (1984) estudaram o efeito combinado de radiação gama e quatro fumigantes (dibrometo de etileno, dissulfeto de carbono e brometo de metila) submetendo larvas e adultos de *T. castaneum* (Herbst.) a (A) irradiação seguida por fumigação e (B) fumigação seguida por irradiação, e observaram que larvas e adultos expostos a doses de 5 e 10 krad (muito próxima da DL50) respectivamente, se fumigado dentro de 6 horas de exposição a radiação, requereu doses mais altas de fumigantes a nível de DL50, mas quando a fumigação foi realizada 7 dias após

a irradiação, comparativamente, doses mais baixas de fumigantes foram necessárias para encontrar resultados semelhantes. A fumigação de larvas e adultos em seus respectivos níveis da DL₅₀ seguida por diferentes doses de radiação gama não afetou a suscetibilidade dos insetos. Não foi verificada nenhuma mudança na suscetibilidade desses insetos fumigados quando expostos a radiação gama.

HU et al. (1985) verificaram os efeitos da radiação gama sobre *T. castaneum* (Herbst.), observaram que, com três semanas após a irradiação, não houve sobrevivência de pupas e adultos com doses de 200-600 Gy, e todos que receberam uma dose de 100 Gy estavam mortos. A dose de 41 Gy matou 100% de ovos e larvas.

KHATTAK & JILANI (1985) irradiaram *T. castaneum* (Herbst.) com doses de 5-100 krad de radiação gama e submeteram a vácuo por uma hora. Verificaram um aumento na mortalidade com o aumento de dose de radiação e tratamento à vácuo. As fêmeas se mostraram mais sensíveis que os machos, em todos os tratamentos.

MEHTA et al. (1985) determinaram os efeitos da radiação gama sobre a perda de peso em *T. castaneum* (Herbst.), e verificaram que nos insetos não irradiados e não alimentados a perda de peso foi maior. Quando combinou o tratamento de não alimentação com radiação não foi verificada perda de peso.

NAKAKITA et al. (1985) expondo populações de *T. castaneum* (Herbst.) a radiação gama, verificaram que a mortalidade completa dos adultos de uma raça suscetível foi com uma dose de 150 Gy, e 200 Gy para adultos de raça resistente. As larvas e pupas da raça resistente mostraram-se tolerantes a radiação e os ovos de ambas raças mostraram sensibilidade a radiação. O grau de esterilidade dos indivíduos irradiados quando adultos não foi significativamente diferente entre as raças, contudo, verificou-se, em alguns casos, uma fertilidade muito maior de fêmeas irradiadas na raça resistente do que na raça suscetível.

CALDERON et al. (1985) em estudos realizados com ovos de diferentes idades de *T. castaneum* (Herbst.), expostos a radiação ultravioleta de uma lâmpada de 15W, emitindo energia de comprimento de onda 254nm, com uma intensidade de 600 uW/cm², observaram que os ovos mais velhos fora mais suscetíveis a radiação ultravioleta que os ovos mais novos.

MEHTA et al. (1990a) pesquisaram os efeitos da radiação gama no desenvolvimento de *T. castaneum* (Herbst.), após a irradiação de larvas, verificaram que a dose de 5 krad foi suficiente para inibir completamente a emergência de adultos e que as doses de 2 a 4 krad prolongou o período larval e atrasou a pupação.

MEHTA *et al.* (1990b) irradiaram ovos de *T. castaneum* (Herbst.) de grupos de idade diferentes, verificaram que a dose de radiação gama de 6 krad impediu completamente a eclosão das larvas, em ovos com idades de 2-3 dias, e a dose de 8 krad produziu resultados similares para ovos com idade de 3 a 4 dias. O tratamento com a dose de 10 krad provocou a mortalidade de 100% dos ovos nos dois grupos.

MEHTA *et al.* (1991) submeteram pupas e adultos de *T. castaneum* (Herbst.) a radiação gama, e observaram que a mortalidade aumentou rapidamente com doses acima de 10 krad. As doses entre 15 e 500 krad causou 100% de mortalidade dentro de 15 dias. A dose de 6 krad não teve efeito significativo na mortalidade de adultos com 10 dias de idade, mas este efeito foi mais pronunciado com doses de 8-20 krad. A DL50 para 12 dias após a exposição foi de 10,3 krad. A dose de 12 krad e doses acima diminuiu a longevidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Seção de Entomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) - USP, Piracicaba, SP.

Para a irradiação dos insetos foi utilizada uma fonte de Cobalto-60 (^{60}Co), tipo Gammabeam-650, sob uma taxa de dose de 1,24 a 3,05 kGy³/hora.

Os insetos da espécie *Tribolium castaneum* (Herbst.), que foram utilizados nesta pesquisa, foram coletados de uma criação estoque da própria seção, mantidos em uma sala climatizada com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 5\%$.

O substrato utilizado para a criação era composto de farinha de trigo integral e levedura de cerveja na proporção de 3:1, colocados em vidros transparentes com boca de 8,0 cm de

³ kGy/hora - (taxa de dose) = quantidade de radiação por determinado espaço de tempo.

diâmetro e capacidade de 3000 ml. Na tampa foi adaptada uma tela metálica de malha-200 para as trocas gasosas. A quantidade de substrato colocada em cada vidro foi aproximadamente 200 g deixando o restante do espaço para vôo e cópula dos insetos.

Para a obtenção de ovos, colocou-se insetos adultos, provenientes da criação estoque, em vidros transparentes contendo como substrato germen de trigo, que foi peneirado 72 horas após a colocação dos insetos adultos, facilitando assim a coleta de ovos que foram irradiados posteriormente.

As larvas e pupas foram obtidas a partir de insetos adultos colocados em vidro contendo como substrato de alimentação farinha de trigo integral e levedura de cerveja, que após um aumento populacional era peneirado para a coleta das duas fases do inseto.

a) Ensaio com ovos:

Para este ensaio utilizou-se 7 tratamentos com 4 repetições contendo 10 ovos, com idade de 0 a 72 horas cada, que foram colocados em pequenos tubos de vidros para irradiação e posteriormente transferidos para placas de Petri. As doses de radiação gama utilizadas foram as seguintes: 0 (testemunha), 10,

20, 30, 40, 50 e 60 Gy, sob uma taxa de dose de 1,28 kGy/hora. Após a irradiação, as placas de Petri foram colocadas em câmara climática já citada anteriormante. Diariamente era feita a contagem das larvas eclodidas, e estas colocadas em vidrinhos de 3,5cm de altura por 3,5 cm de diâmetro com tampas plásticas perfuradas, onde aguardou-se o desenvolvimento até a fase adulta e sua geração filial.

b) Ensaios com larvas e pupas:

Para estes ensaios utilizou-se 7 tratamentos com 4 repetições e 10 larvas de último ínstar e 10 pupas com 120 horas de idade, que foram irradiadas juntamente com o substrato (a dieta), em vidros transparentes de 3,5 cm de altura por 3,5 cm de diâmetro, com tampas plásticas perfuradas.

As doses de radiação gama utilizadas foram as seguintes: 0 (testemunha), 25, 50, 75, 100, 125 e 150 Gy, sob uma taxa de dose de 2,45 e 1,24 kGy/hora. Após a irradiação, esses vidros com os substratos e insetos foram mantidos em câmara climatizada, já citada anteriormente, até a emergência total de adultos e sua geração filial.

c) Ensaaios com adultos:

Para este ensaio foram utilizados insetos adultos com idade variável dentro de uma população normal. As doses de radiação utilizadas foram as mesmas utilizadas para as larvas e pupas, mas a taxa de dose foi de 3,05 kGy/hora. Cada tratamento constou de 4 repetições com 10 insetos cada. Semanalmente, foi feita a contagem dos insetos de todas as repetições dentro dos tratamentos, sendo que os insetos mortos eram retirados e anotados, e a cada 4 semanas foi feita a transferência dos insetos para novos substratos e, os vidros com substratos velhos foram guardados, e posteriormente, foi feita a contagem dos insetos da geração F1. Isso foi realizado até a extinção total dos insetos irradiados e da testemunha.

Para a determinação da dose letal imediata para os adultos com idade variável, aplicou-se doses acumulativas de radiação gama de 250 a 250 Gy, sob uma taxa de dose de 2,10 kGy/hora, até a extinção total dos insetos. O ensaio constou de 10 repetições com 20 insetos por repetição. Após cada dose de radiação foi feita a contagem e os insetos mortos retirados e anotados, e nova dose foi administrada.

4. RESULTADOS

4.1. Determinação das doses esterilizante e letal para ovos

Na Tabela 1, constam os valores, média de ovos irradiados por repetição, com doses crescentes de radiação gama, de *Tribolium castaneum* (Herbst.), número de larvas eclodidas, pupas e adultos emergidos com sua respectiva geração filial (F1).

Com os dados dessa Tabela construiu-se a Figura 1, onde temos as médias de larvas, pupas e adultos e geração filial F1 de *T. castaneum* (Herbst.) irradiados com doses crescentes de radiação gama na fase de ovo.

4.2. Determinação das doses esterilizante e letal para larvas

Na Tabela 2 constam o número de larvas de *T. castaneum* (Herbst.), por repetição, irradiados com doses crescentes de radiação gama, e a média de adultos emergidos

para cada tratamento com sua respectiva geração filial (F1). A partir desses dados, construiu-se a Figura 2, onde consta o número de insetos adultos obtidos em cada dose de radiação gama com sua respectiva geração filial (F1).

4.3. Determinação das doses esterilizante e letal para as pupas

O número de adultos emergidos por repetição de *T. castaneum* (Herbst.), provenientes de larvas irradiadas e sua respectiva geração filial (F1), encontra-se na Tabela 3. Com os dados dessa Tabela, construiu-se a Figura 3, a qual representa o número de adultos emergidos para cada dose de radiação gama e sua correspondente geração filial (F1).

4.4. Determinação da dose esterilizante para adultos e longevidade média

Na Tabela 4 está representado o número de adultos de *T. castaneum* (Herbst.), irradiados com doses crescentes de radiação gama, sua longevidade média e geração filial (F1).

A partir dos dados dessa Tabela, construiu-se a Figura 4, a qual representa a longevidade média para cada dose de radiação gama e sua geração filial (F1).

4.5. Determinação da dose letal imediata para adultos

Na Tabela 5 está representada a mortalidade de adultos de *T. castaneum* (Herbst.), por repetição dentro dos tratamentos, com doses crescentes de radiação gama. A partir dos dados dessa Tabela construiu-se a Figura 5 que representa a porcentagem de mortalidade para cada dose de radiação gama.

Tabela 1. Viabilidade de ovos, larvas, pupas e emergência de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst.) irradiados na fase de ovo com radiação gama do Cobalto-60, para todas as repetições e sua respectiva geração filial (F₁).

DOSES	REP.	No. OVOS IRRADIADOS	No. LARVAS ECLODIDAS	No. PUPAS	No. ADULTOS EMERGIDOS	F ₁
0	1	10	10	8	7	791
	2	10	8	6	5	926
	3	10	7	7	7	913
	4	10	7	6	5	853
	Σ (m)	40 (10)	32 (8,0)	27 (6,75)	24 (6,0)	3.483 (870,75)
10	1	10	7	5	4	-
	2	10	2	2	1	-
	3	10	6	6	4	252
	4	10	9	8	7	982
	Σ (m)	40 (10)	24 (6,0)	21 (5,25)	16 (4,0)	1.234 (308,5)
20	1	10	2	2	1	-
	2	10	-	0	-	-
	3	10	2	2	1	-
	4	10	2	1	1	-
	Σ (m)	40 (10)	6 (1,5)	5 (1,25)	3 (0,75)	-
30	1	10	0	0	0	-
	2	10	0	0	0	-
	3	10	0	0	0	-
	4	10	0	0	0	-
	Σ (m)	40 (10)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	-
40	1	10	0	0	0	-
	2	10	0	0	0	-
	3	10	0	0	0	-
	4	10	0	0	0	-
	Σ (m)	40 (10)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	-
50	1	10	0	0	0	-
	2	10	0	0	0	-
	3	10	0	0	0	-
	4	10	0	0	0	-
	Σ (m)	40 (10)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	-
60	1	10	0	0	0	-
	2	10	0	0	0	-
	3	10	0	0	0	-
	4	10	0	0	0	-
	Σ (m)	40 (10)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	-

Tabela 2. Viabilidade de pupas, emergência de adultos e geração F_1 , provenientes de larvas de *Tribolium castaneum* (Herbst.) irradiados com radiação gama do Cobalto-60.

DOSES REP. (Gy)	No. LARVAS IRRADIADAS	No. PUPAS	No. ADULTOS EMERGIDOS	F_1	
0	1	10	10	8	691,0
	2	10	10	8	902,0
	3	10	10	9	1.334,0
	4	10	10	9	773,0
	Σ (m)	40 (10)	40 (10)	34 (8,5)	3.700,0 (925,0)
25	1	10	9	8	-
	2	10	9	8	-
	3	10	8	7	-
	4	10	9	8	-
	Σ (m)	40 (10)	35 (8,75)	31 (7,75)	-
50	1	10	4	-	-
	2	10	3	-	-
	3	10	5	-	-
	4	10	5	-	-
	Σ (m)	40 (10)	17 (4,25)	-	-
75	1	10	3	-	-
	2	10	4	-	-
	3	10	4	-	-
	4	10	5	-	-
	Σ (m)	40 (10)	16 (4,0)	-	-
100	1	10	3	-	-
	2	10	3	-	-
	3	10	2	-	-
	4	10	3	-	-
	Σ (m)	40 (10)	11 (2,75)	-	-
125	1	10	0	-	-
	2	10	5	-	-
	3	10	1	-	-
	4	10	3	-	-
	Σ (m)	40 (10)	9 (2,25)	-	-
150	1	10	1	-	-
	2	10	2	-	-
	3	10	2	-	-
	4	10	1	-	-
	Σ (m)	40 (10)	6 (1,5)	-	-

TABELA 3. Viabilidade de adultos e geração F_1 , proveniente de pupas de *Tribolium castaneum* (Herbst.), irradiadas com radiação gama do Cobalto-60.

DOSES (Gy)	REP.	No. PUPAS IRRADIADAS	No. ADULTOS EMERGIDOS	F_1
0	1	10	9	242
	2	10	8	132
	3	10	7	321
	4	10	9	284
	Σ (m)	40 (10)	33 (8,25)	979 (244,75)
25	1	10	3	84
	2	10	5	112
	3	10	5	156
	4	10	4	176
	Σ (m)	40 (10)	17 (4,25)	528 (132,0)
50	1	10	4	-
	2	10	3	-
	3	10	3	-
	4	10	3	-
	Σ (m)	40 (10)	13 (3,25)	-
75	1	10	2	-
	2	10	3	-
	3	10	2	-
	4	10	5	-
	Σ (m)	40 (10)	12 (3,0)	-
100	1	10	2	-
	2	10	1	-
	3	10	3	-
	4	10	3	-
	Σ (m)	40 (10)	9 (2,25)	-
125	1	10	2	-
	2	10	1	-
	3	10	3	-
	4	10	2	-
	Σ (m)	40 (10)	8 (2,0)	-
150	1	10	1	-
	2	10	2	-
	3	10	1	-
	4	10	2	-
	Σ (m)	40 (10)	6 (1,5)	-

TABELA 4. Longevidade média em dias de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst.), irradiados com radiação gama do Cobalto-60, e total de sua respectiva geração filial (F₁).

DOSES (Gy)	REP.	No. ADULTOS IRRADIADOS	LONGEVIDADE MÉDIA	F ₁
0	1	10	299,25	2.090
	2	10	339,50	942
	3	10	361,66	2.663
	4	10	308,00	2.116
	Σ (m)	40 (10)	1.308,41 (327,10)	7.811,0 (1.952,75)
25	1	10	338,33	1.046
	2	10	306,60	549
	3	10	299,25	579
	4	10	278,00	517
	Σ (m)	40 (10)	1.222,18 (305,54)	2.691,0 (672,75)
50	1	10	382,54	7
	2	10	233,80	7
	3	10	271,25	3
	4	10	321,71	5
	Σ (m)	40 (10)	1.209,30 (302,32)	22,0 (5,5)
75	1	10	161,00	-
	2	10	38,50	-
	3	10	131,60	-
	4	10	234,50	-
	Σ (m)	40 (10)	565,60 (141,40)	-
100	1	10	38,50	-
	2	10	44,33	-
	3	10	38,50	-
	4	10	38,50	-
	Σ (m)	40 (10)	159,83 (39,95)	-
125	1	10	38,50	-
	2	10	44,33	-
	3	10	38,50	-
	4	10	38,50	-
	Σ (m)	40 (10)	159,83 (39,95)	-
150	1	10	38,50	-
	2	10	38,50	-
	3	10	44,33	-
	4	10	44,33	-
	Σ (m)	40 (10)	165,64 (41,41)	-

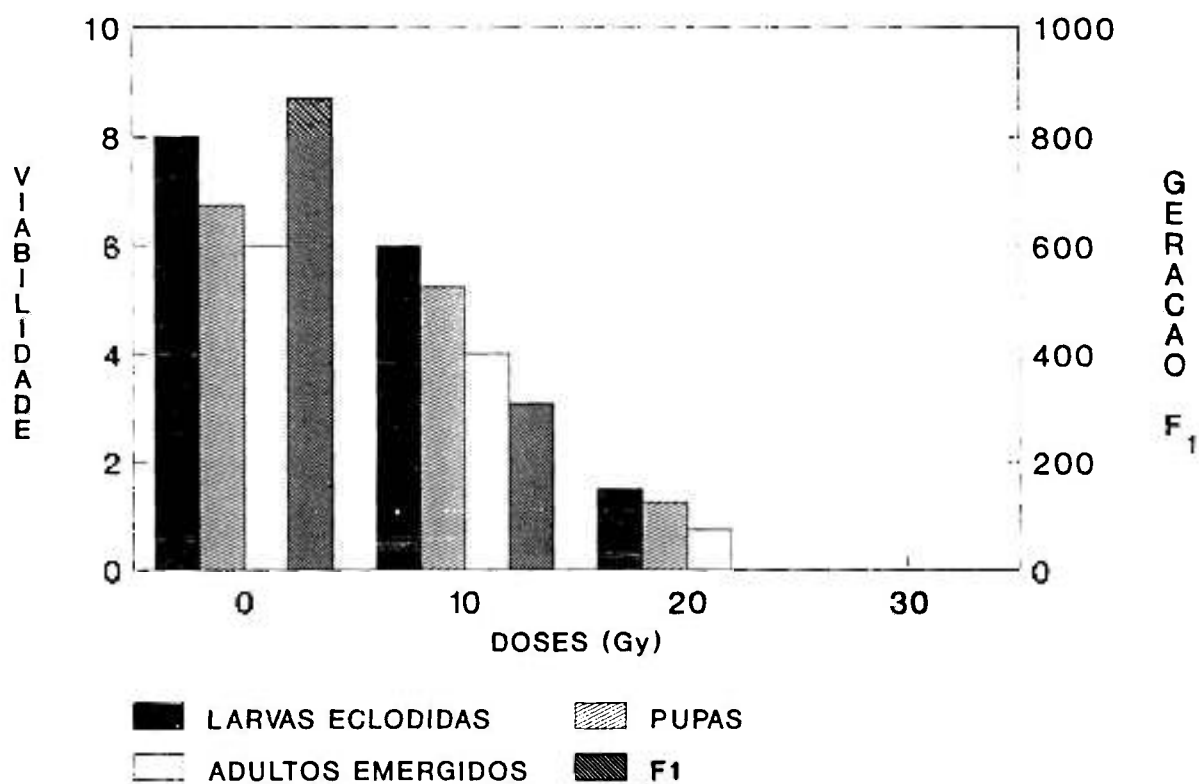


Figura 1. Médias do número de larvas, pupas, adultos emergidos e a geração F1, quando ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst.) foram irradiados com radiação gama do Cobalto-60.

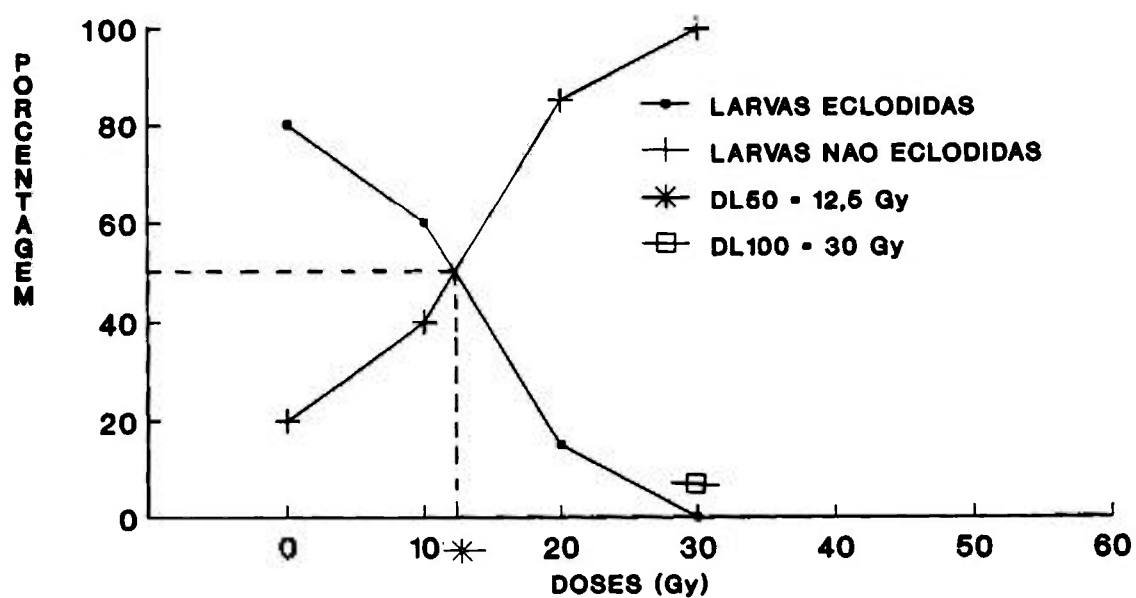


Figura 2. Porcentagem de larvas de *Tribolium castaneum* (Herbst.), eclodidas e não eclodidas de ovos irradiados com radiação gama do Cobalto-60.

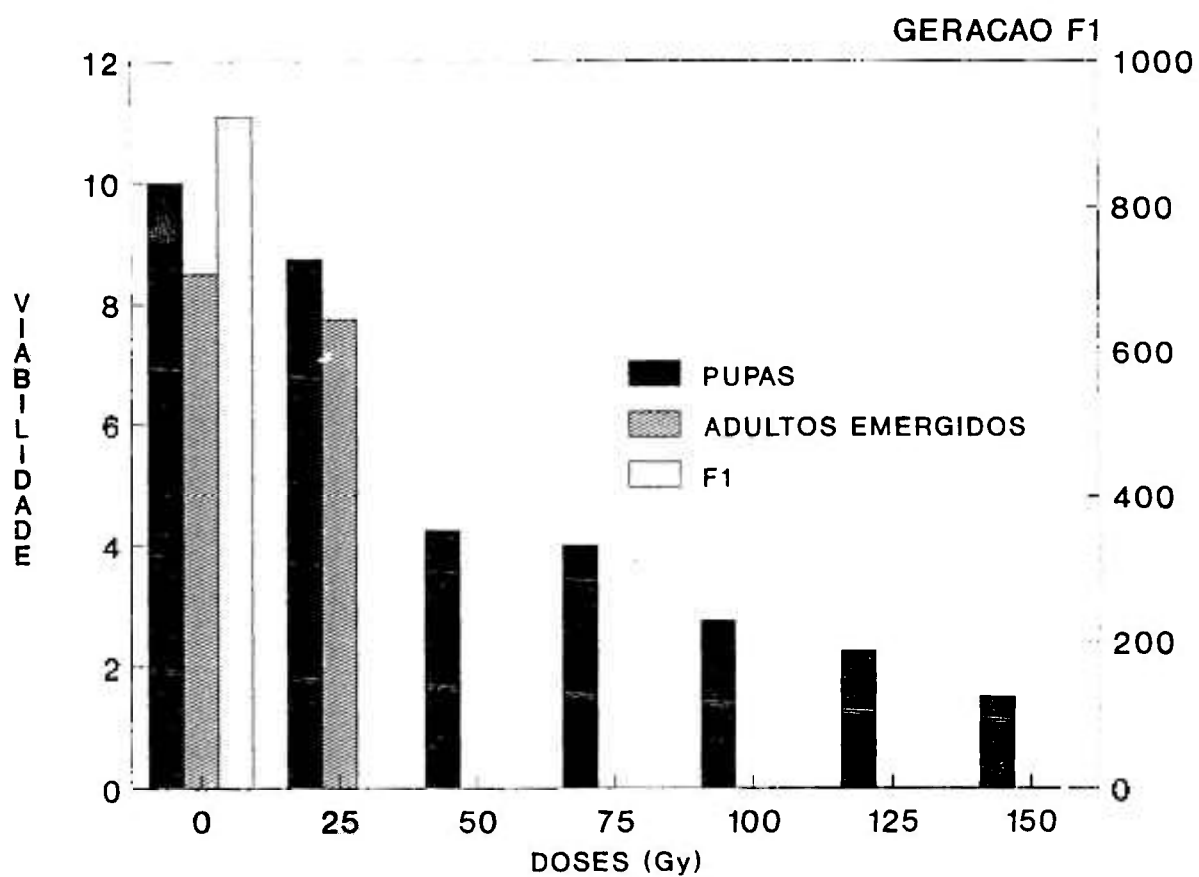


Figura 3. Médias do número de pupas e adultos após a irradiação de larvas de *Tribolium castaneum* (Herbst.), com radiação gama do Cobalto-60.

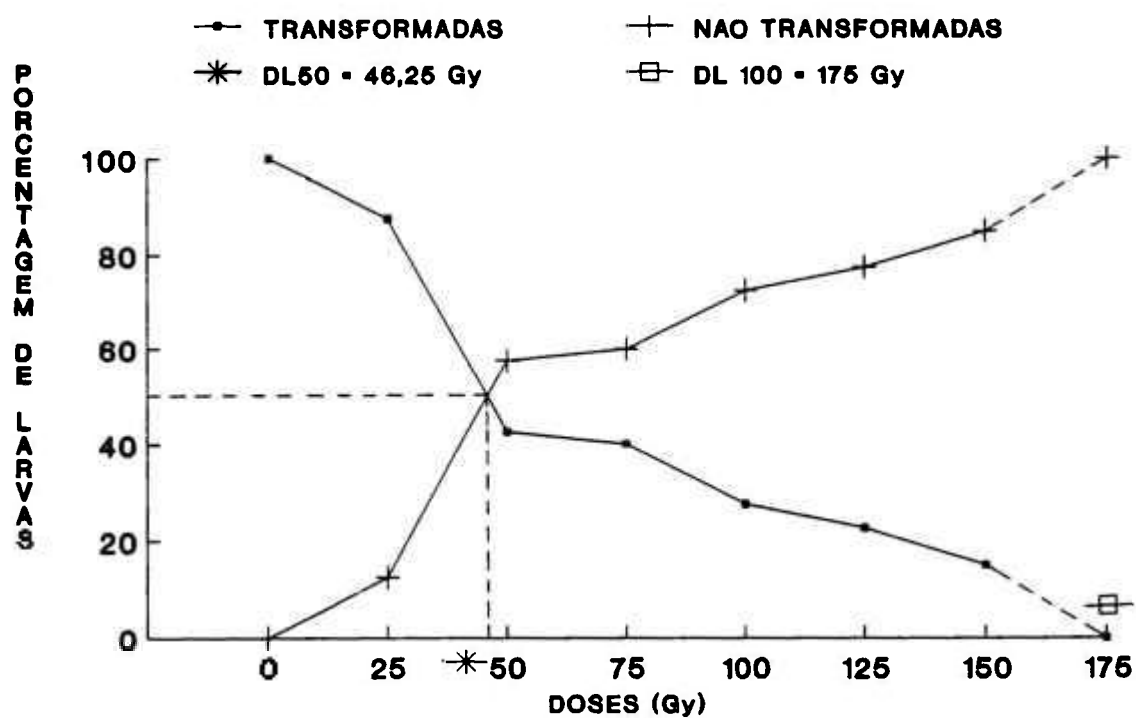


Figura 4. Porcentagem de larvas de *Tribolium castaneum* (Herbst.), irradiados com radiação gama do Cobalto-60, que se transformaram ou não em pupas.

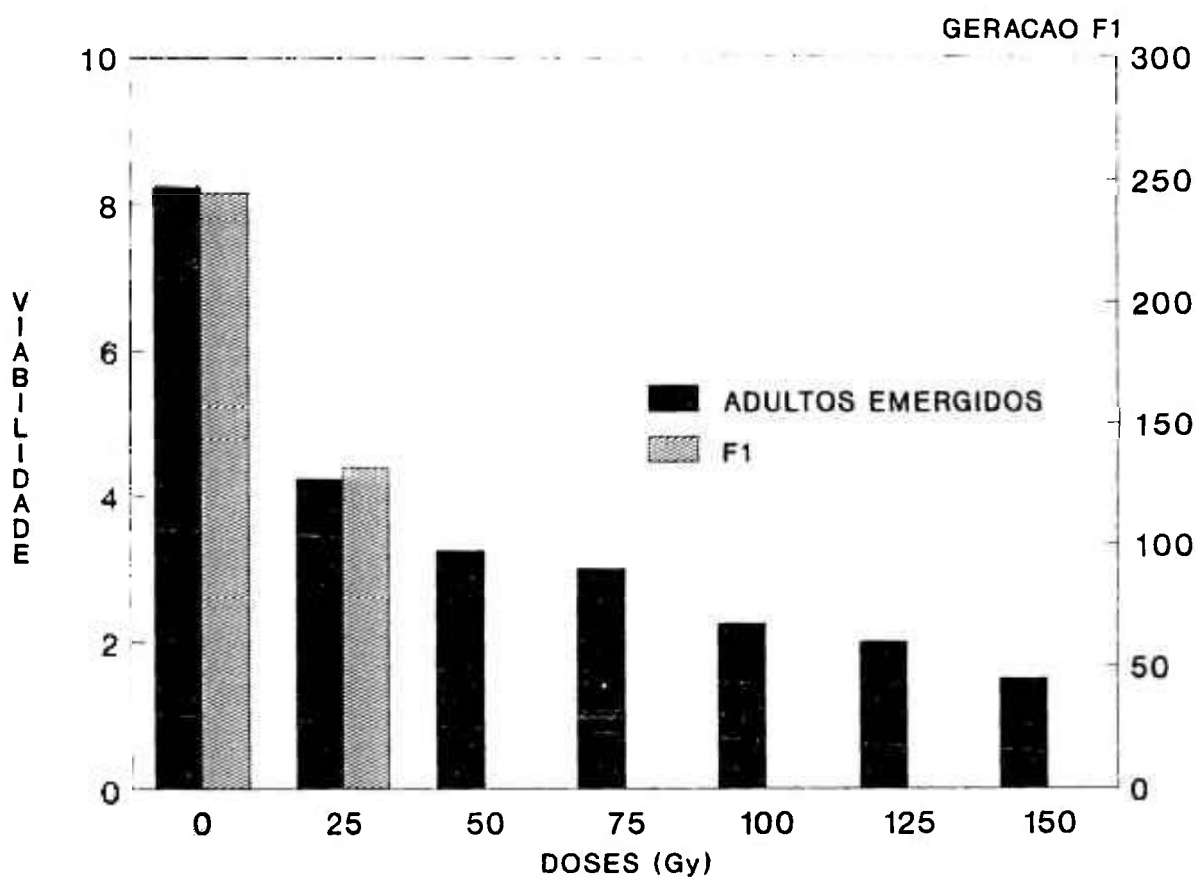


Figura 5. Médias do número de adultos e geração F_1 , emergidos de pupas de *Tribolium castaneum* (Herbst.) irradiados com radiação gama do Cobalto-60.

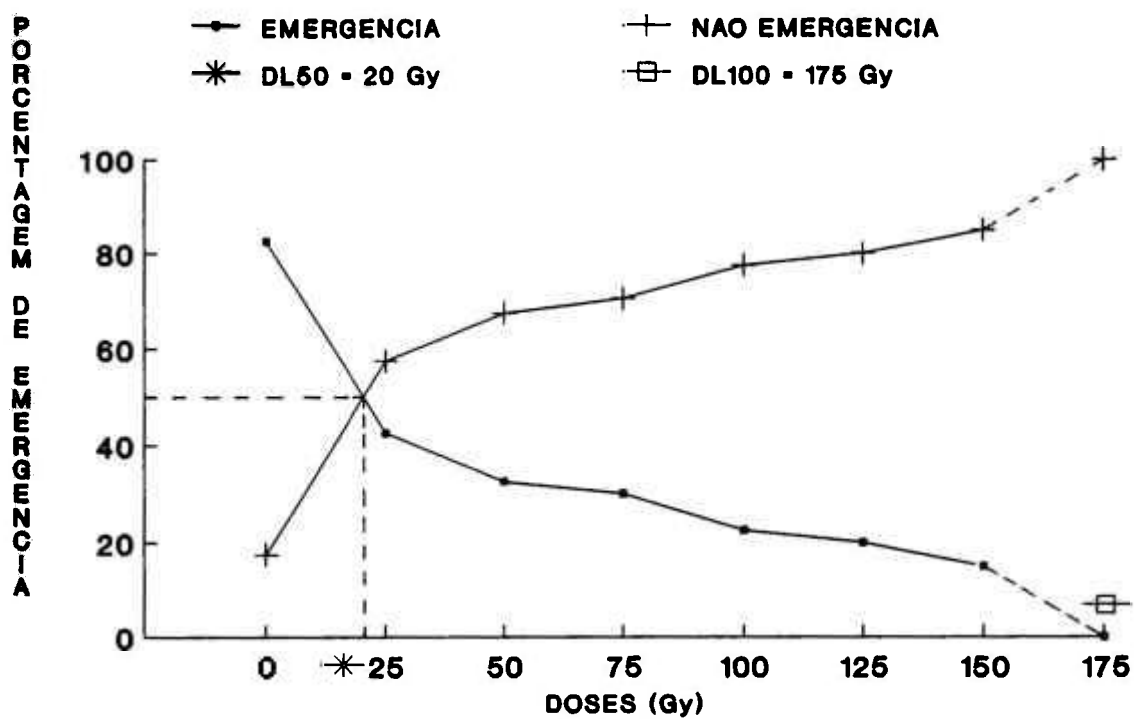


Figura 6. Porcentagem de emergência e não emergência de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst.), irradiados com radiação gama do Cobalto-60, na fase de pupa.

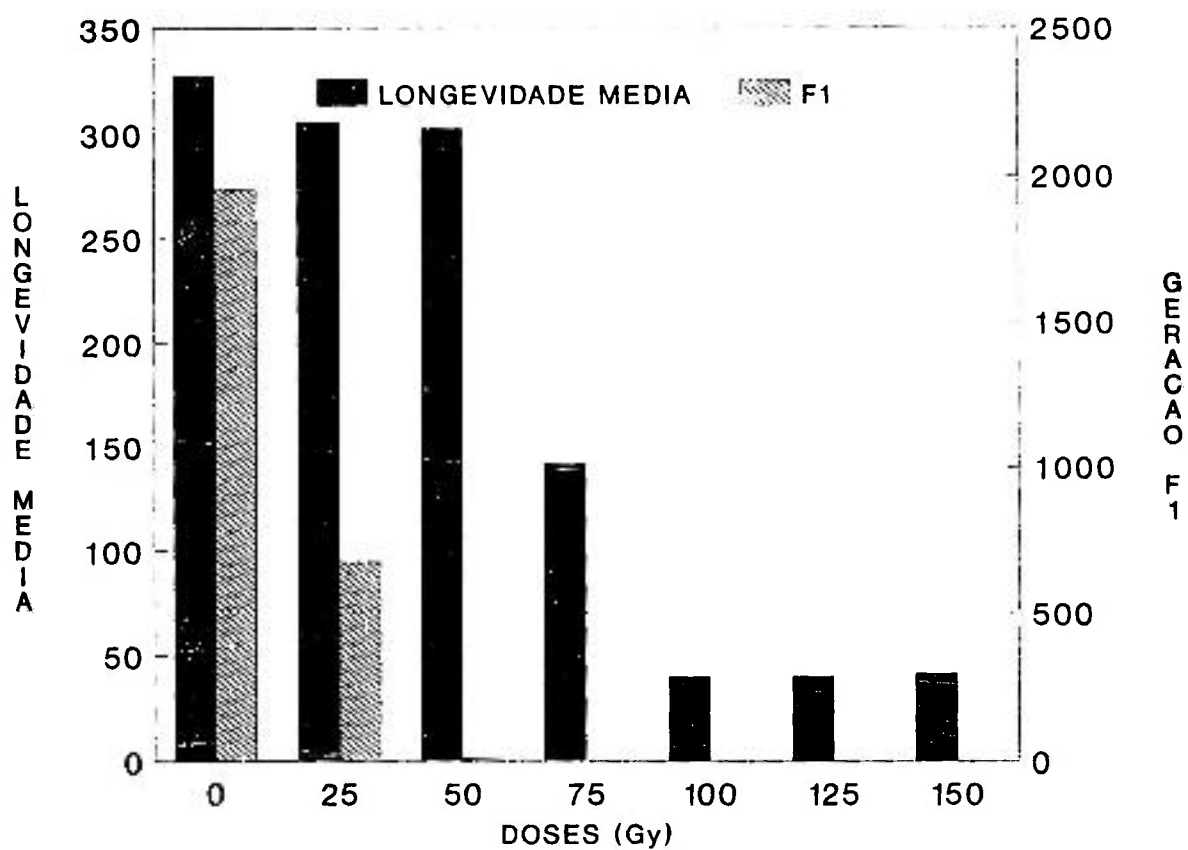


Figura 7. Médias numéricas da longevidade média de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst.) irradiados com radiação gama do Cobalto-60 e sua geração filial (F_1).

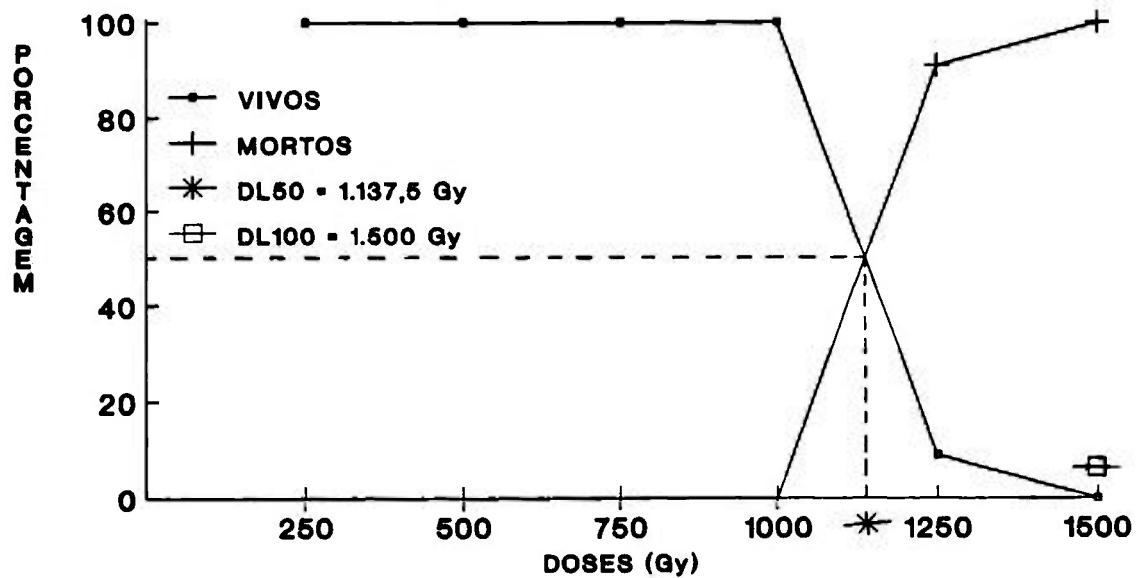


Figura 8. Porcentagem de mortalidade de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst.), irradiados com doses acumuladas de radiação gama do Cobalto-60.

5. DISCUSSÃO

Conforme a literatura consultada pode-se observar que existem algumas variações sobre as doses letais e esterilizantes, para todas as fases do ciclo evolutivo do inseto em estudo. Isso provavelmente devido a metodologia utilizada, taxa de dose de irradiação, idade das fases do ciclo evolutivo dos insetos e condições climáticas, que são os fatores mais importantes que contribuem para que ocorra essas discrepâncias nos resultados.

5.1. Determinação das doses esterilizante e letal para ovos.

Considerando-se os efeitos da radiação gama (Tabela 1 e Figura 1), observou-se que a dose letal para inibir a total eclosão das larvas (DL_{100}) foi a de 30 Gy, enquanto que a (DL_{50}) obtida graficamente a partir da porcentagem de larvas eclodidas foi a de 12,5 Gy, como podemos observar na Figura 2. A esterilização de adultos oriundos de ovos irradiados foi obtida com a dose de 20 Gy.

Os resultados obtidos nesta fase do experimento estão de acordo com os de ERDMAN (1962) e (1968) e um pouco diferente dos obtidos por MEHTA et al. (1990a).

5.2. Determinação das doses esterilizante e letal para larvas.

A irradiação de larvas (Tabela 2) mostrou que a dose de 25 Gy, foi esterilizante para a geração parental (P). Para se visualizar melhor este resultado, construiu-se a Figura 3. Este valor, encontra-se acima do valor obtido ERDMAN (1962).

Através da Figura 4, a DL_{50} foi obtida graficamente, a partir das porcentagens de larvas que se transformaram em pupas e esta foi de 46,25 Gy, estando este valor de acordo com o valor obtido por YANG (1969) quando irradiou larvas com idade de 15 dias. A DL_{100} obtida graficamente foi a dose de 175 Gy, e este valor se encontra acima dos valores obtidos por ERDMAN (1962), DYSYAN (1966) e MEHTA et al. (1990b).

5.3. Determinação das doses esterilizante e letal para pupas.

Na Tabela 3 constam os resultados referentes a irradiação de pupas de *T.castaneum* (Herbst.), e podemos observar que a dose de 50 Gy foi esterilizante para os adultos oriundos dessas pupas irradiadas. Este resultado pode ser melhor visualizado através da Figura 5, enquanto que, a dose para reduzir a emergência de adultos em 50% (DL₅₀) foi de 20 Gy, determinada graficamente a partir de porcentagem de pupas que emergiram adultos ou não, na Figura 6, supoem-se que a (DL₁₀₀) graficamente seja a dose de 175 Gy.

Estes resultados encontram-se bem próximos dos obtidos por ERDMAN (1962), e apresentam certa diferença em relação aos obtidos por ARTHUR et al. (1975) que obtiveram uma dose letal para pupas da *T.castaneum* (Herbst.) de 462,5 Gy e esterilizante de 150 Gy, já BROWER (1973) induziu a esterilidade com a dose de 100 Gy.

5.4. Determinação da dose esterilizante para adultos e longevidade média

Através da Tabela 4, observa-se que a dose esterilizante obtida para adultos irradiados foi de 75 Gy. Este valor encontra-se diferente dos valores obtidos por CROOCK (1962), ERDMAN (1962), MATSUYAMA (1966) e ERDMAN (1968).

Analizando-se a longevidade média (Tabela 4 e Figura 7), desses insetos, podemos observar que até com a dose de 50 Gy, a radiação não induziu nenhum efeito deletério sobre esses insetos em relação a testemunha, já com a dose de 75 Gy esses efeitos foram mais acentuados e reduziu a mortalidade dos insetos em 50%, e com doses acima dessa a mortalidade foi de 87,5%.

5.5. Determinação da dose letal imediata para adultos.

A dose letal imediata obtida para adultos de *T. castaneum* (Herbst.) foi de 1500 Gy (Tabela 5), a qual pode ser melhor visualizada através da Figura 5, onde foi obtida graficamente a DL_{50} , sendo esta a dose 1.137,5 Gy. Este resultado encontra-se um pouco abaixo do obtido por WALDER et al. (1977), mas segundo estes autores, essa dose determinada por eles pode ser um pouco menor.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, com a aplicação da radiação gama para *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) é possível concluir que:

- . A DL_{100} e dose esterilizante de radiação gama para ovos desses insetos foram: 30 Gy e 20 Gy respectivamente.
- . A dose de radiação que induziu a esterilidade de larvas foi de 25 Gy.
- . Para a fase de pupa; a dose esterilizante foi de 50 Gy.
- . A dose esterilizante para adultos foi de 75 Gy.
- . A dose letal imediata para adultos foi de 1.500 Gy.
- . Para a desinfestação de produtos armazenados, pela esterilização total dos insetos dessa espécie, em escala comercial, recomenda-se utilizar no mínimo uma dose de 100 Gy.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHUR, V.; WIENDL, F.M.; WALDER, J.M.M. Determinação da dose esterilizante e letal para pupas de *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**. 4(1):109-15, 1975.

BARTLETT, A.C. & BELL, A.E. Radiation effect on reproduction in plateaued and unselected strains of *Tribolium castaneum*. **Genetics**, Austin, 46:850; 1961.

BARTLETT, A.C. & BELL, A.E. The effect of irradiation on reproduction in two strains of *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Radiation Research**, New York, 17(6):864-77, 1962.

BATHIA, P. & SETHI, G.R. Combined effects of radiation and insecticidas treatment (direct spray) on the adults of succceptible strains of *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Indian Journal of Entomology**, New Delhi, Apud Review of Applied Entomology, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 69(9):685, 1981 (Resumo).

- BHAT, P.P.; BAHT, P.; VERMA, S.B.; RAHEJA, K.L. Effect of selection and gamma irradiation on fecundity in *Tribolium castaneum*. **Indian Journal of Animal Science**. New Delhi, **51**(10):960-3. Oct. 1981.
- BHAT, P.P. & SANTIAGO, T.C. Effect of gamma irradiation on fecundity hatchability and mortality in *Tribolium castaneum*. **Indian Journal of Animal Sciences**, New Delhi, **53**(12):1373-6, 1983. Apud *Review of Applied Entomology, Sér. A. Agricultural*, Wallingford, **72**(12):920, 1984 (Resumo).
- BROWER, J.H. Radiosensitivity of an insecticide-resistant strain of *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Journal Stored Products Research**, New Brunswick, **10**:129-31, 1974b.
- BROWER, J.H. Radioresistance of red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera-Tenebrionidae) exposed to sublethal doses of gamma irradiation for 25 generations. **The Canadian Entomologist**, Ottawa, **31**(6):.241-6, 1974a.
- BROWER, J.H. & DAVIS, E.R. Sensitivity of red flour beetle eggs to gamma radiation as influenced by treatment age and dose rate. **Journal of Entomological Society**, Tifton, **8**(5):153-7. 1973.

BROWER, J.H. & TILTON, E.W. Comparative gamma radiation sensitivity of *Tribolium madens* (CHARPENTIER) and *T. castaneum* (Herbst.). **Journal Stored Products Research**, New Brunswick, 9:93-100, 1973.

BROWER, J.A.; HOSSAIN, M.M.; TILTON, E.W. Radiation sensitivity of successively irradiated generations of *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Curculionidae). **Journal Stored Products Research**, New Brunswick, 9:43-9, 1973.

CALDERON, M.; BRUCE, W.A.; LEESH, J.G. Effects of UV radiations on eggs of *T. castaneum*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, 13(3/4):179-83, 1985.

CROOCK, L.J. **The suscetibility of the rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst.) to gamma radiation.** Berkshire, Wantage Research Laboratory, 1962. 19p. (AERE-R, 3889).

DISYAM, B. Radiation Effect on red flour beetle (*Tribolium castaneum* Herbst.). In: SEMINAR ON INSECT ERADICATION BY IRRADIATION, **Papers**, Bangkok, OAEP. p.35-41. (THAI. AEC 18).

ERDMAN, H.R. Comparative X-ray sensitivity of *Tribolium confusum* and *T. castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) at different developmental stages during their lifecycle. **Nature**. London, 195(4827):1218, Sept. 1962.

ERDMAN, H.E. The differential sensitivity of flour beetles, *Tribolium confusum* and *T. castaneum* to X-ray. Alteration and survival. **Journal of Experimental Zoology**, Philadelphia, 153(2):141-7, July 1963.

ERDMAN, H.E. Effect of dimethylsulfoxide on productivity of X-irradiated flour-beetles. **Biological Bulletin**, Lancaster, 130(2):157-69, Apr. 1966a.

ERDMAN, H.E. Modification of fitness in species and strains of flour beetle due to X-ray and DDT. **Ecology**, Durham, 47(6):1066-72, Apr. 1966b.

ERDMAN, H.E. Ontogeny and comparative radiation sensitivity in the confused flour beetle and strains of the red flour beetle. **Journal of Economic Entomology**, Baltimore, 31(19):40-3, 1968.

FAUSTINI, F.L. & SOKOLOFF, A. The effect of gamma irradiation on crossing-over of various developmental stages of *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Advanced Zoology**, Golghar, 3(1):12-9. 1982. Apud **Review of Applied Entomology**, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 71(5):369, 1983 (Resumo).

FENEMORE, P.G. Plant pest and their control. London, Butterworths, 1984. 280p.

GALLO, D. Radioisótopos no controle de pragas. **O Solo**, Piracicaba, 1:30-1, 1960.

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. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo, 1988. 649p.

GOOD, N.E. The flour beetles of the genus *Tribolium*. Washington, USDA, 1936. 58p. (USDA. Technical Bulletin, 498).

HU, T.; TSAI, L.T.; FU, Y.K. Gamma irradiation controls *Tribolium castaneum* Herbst. in wheat flour. **Plant Protection Bulletin**, Faridabad, 27(4):371-8. 1985. Apud **Review of Applied Entomology**, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 78(7):793, 1987 (Resumo).

HUQUE, H. Preliminary studies on irradiation of some common stored grain insects in Pakistan. Radiation and Radioisotopes Applied to Insects of Agricultural Importance. Proceedings of a Symposium, Athens, Vienna, IAEA. 455-63, 1963.

KHATTAK, S.U.K. & JILANI, G. Interaction of gamma radiation and vaccun for the control of flour beetles. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, Islamabad, 6(1):45-8, 1985. Apud *Review of Applied Entomology*, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 74(10):553, Oct. 1986. (Resumo).

MARICONI, F.A.M. *Inseticidas e seu controle no combate as pragas*. Piracicaba, Nobel, 1976. 3.ed. T.3. *Pragas das Plantas Cultivadas e Produtos Armazenados*, p.435.

MATSUYAMA, A. Recent advance in food irradiation researse in Japan. *Food Irradiation*. Tsukuba-gun, Kalsruche. p.151-3, 1962.

MEHTA, V.K. & SETHI, G.R. Effect of gama radiation on the eggs of *Tribolium castaneum* (Herbst.). *Journal of Nuclear Agriculture and Biology*, New Delhi, 13(3):72-4, Sept. 1984a.

MEHTA, V.K.; SETHI, G.R.; GARG, A.K. Effect of gamma radiation and fumigants on *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**. New Delhi, 13(4):109-12, Dec. 1984b.

MEHTA, V.K.; SETHI, G.K; GARG, A.K. Effect of gamma radiation on weight loss in adults of *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**. New Delhi, 14(1):27-8, 1985. Apud **Review of Applied Entomology**, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 73(12):891, Dec. 1985. (Resumo).

MEHTA, V.K.; SETHI, G.R.; GARG, A.K. Development of *Tribolium castaneum* (Herbst.) larvae after gamma irradiation of eggs. **Journal of Nuclear Agricultural and Biology**, New Delhi, 19(1):54-7. 1990a.

MEHTA, V.K.; SETHI, G.R.; GARG, A.K. Effect of gamma radiation on the development of *Tribolium castaneum* (Herbst.) after larval irradiation. **Journal of Nuclear Agricultural and Biology**, New Delhi, 19:124-7, 1990b.

MEHTA, V.K.; SETHI, G.R.; GARG, A.R. Gamma irradiation of pupae and adults of *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Journal of Nuclear Agricultural and Biology**. New Delhi, 19:(3):184-8, 1991.

NAIR, K. & SUBRAMANYAM, G. **Effects of variable dose-rates on radiation damage in the rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst. Radiation and Radioisotopes Applied to Insects of Agricultural Importance.** Proceedings of a Symposium, Athens, IAEA, Vienna, 425-29, 1963.

NAKAKITA, H.; HAYASHI, T.; AOKI, S.; KAWASHIMA, K. Radiosensitivity of phosphine-resistant and susceptible strains of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst.). (Coleoptera: Tenebrionidae). **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, 29(3):242-6, 1985. Apud **Review of Applied Entomology**, Sér. A. Agricultural, Wallingford, 74(1):32, 1986. (Resumo).

RUNNER, G.A. **Effects of roentgen rays on the tabaco or cigarett beetle and results of new form of roentgen tube.** **Journal of Agricultural Research**, Tanta, 6(11):383-8, 1916.

SAXENA, J.D. & BHATIA, S.K. Radiosensitivity a phosphine resistant strain of *Tribolium castaneum* (Herbst.) and interaction of gamma radiation and fumigation on suscetible strain. **Journal of Nuclear Agricultural and Biology**. New Delhi. 10(1):13-4, 1981.

SOKOLOFF, A. Preliminary studies on the effect of X-ray on *Tribolium castaneum*. **Genetics**, Austin, 9(3):46-89, 1961.

SOLIMAN, M.H. Age at pupation and population effects on survival of adults of the flour beetle, *Tribolium* after X-irradiation. **International Journal Radiation and Biology**, London, 22(5):425-30. 1972.

SOLIMAN, M.H. "Geografic" variation in sensitivity to X-irradiation in *Tribolium* I. Diferences in pupation. **Radiation Research**, New York, 54:510-20. June 1973a.

SOLIMAN, M.H. "Geografic" variation in sensitivity to X-irradiation in *Tribolium*. II. Incidence of developmental abnormalities. **Radiation Research**, New York, 54:520-30. 1973b.

WALDER, J.M.M.; ARTHUR, V.; DOMARCO, R.E. Determinação da dose letal imediata de radiação gama para *Tribolium castaneum* (Herbst.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 29., São Paulo. Resumo. **Ciência e Cultura**. Suplemento, São Paulo 29(7):29, Jul. 1977.

WIENDL, F.M. Alguns usos e efeitos das radiações gama em *Zabrotes subfasciatus* (Boh. 1833). Piracicaba, 1969. 205p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

WIENDL, F.M.; TORNISIELO, V.L.; DOMARCO, R.E. Influência da taxa de irradiação gama sobre a mortalidade de *Tribolium castaneum* (Herbst.). **Boletim Científico**. CENA/ESALQ/USP/CNEN. Piracicaba, SP, 26. 1984.

YANG, T.C.H. & DUCOFF, H.S. Radiosensitivity studies of X-irradiated *Tribolium castaneum* larvae. **Radiation Research**, New York, 39(3)21-3, Sept. 1969.