

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS REALEZA**

CURSO DE FÍSICA- LICENCIATURA

PATRICIA HELLMANN

**IRRADIAÇÃO E ELIMINAÇÃO DE PRAGAS - UM LEVANTAMENTO DE DADOS
SOBRE AS CULTURAS DO SUL DO BRASIL**

REALEZA

2021

Patricia Hellmann

**IRRADIAÇÃO E ELIMINAÇÃO DE PRAGAS- UM LEVANTAMENTO DE DADOS
SOBRE AS CULTURAS DO SUL DO BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física-Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de graduado em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Scheibel de Almeida

REALEZA

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Hellmann, Patricia
IRRADIAÇÃO E ELIMINAÇÃO DE PRAGAS - UM LEVANTAMENTO
DE DADOS SOBRE AS CULTURAS DO SUL DO BRASIL / Patricia
Hellmann. -- 2021.
80 f.:il.

Orientadora: Doutora Viviane Scheibel de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Licenciatura em Física, Realeza, PR, 2021.

1. Radiação ionizante. Insetos-praga. Técnica do
Inseto Estéril. Dalbulus maidis.. I. , Viviane Scheibel
de Almeida, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

PATRICIA HELLMANN

**IRRADIAÇÃO E ELIMINAÇÃO DE PRAGAS - UM LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE AS
CULTURAS DO SUL DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
licenciada em Física da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientadora: Prof. Dra Viviane Scheibel de Almeida

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 24/09/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª Viviane Scheibel de Almeida – UFFS



Prof. Dr. Fábio Luiz Melquíades - UEL



Prof.ª Dr.ª Izabel Aparecida Soares – UFFS

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos iniciais vão à Deus e Nossa Senhora de Lourdes, por me ajudarem a ultrapassar as dificuldades encontradas no caminho e por guiar meus passos.

Agradeço meus familiares por sempre estarem dispostos a me ajudar e dar boas condições para que pudesse realizar meus sonhos e concluir minha graduação.

Aos meus professores desde as séries iniciais que ajudaram no desenvolvimento do meu aprendizado. Mas neste momento agradeço a todos os professores da Universidade Federal da Fronteira Sul, que neste últimos anos fomentaram minha aprendizagem.

Aos meus colegas e amigos que fiz durante este período, mas especialmente para Gessica, Gessé e Saiane, amigos estimáveis que passamos muito tempo juntos ao longo destes anos de graduação.

E muito obrigado à minha orientadora Viviane Scheibel de Almeida, por me ajudar a desenvolver meu Trabalho de Conclusão de Curso, com muita dedicação.

RESUMO

O presente trabalho consiste em um estudo sobre a aplicação da Técnica do Inseto Estéril utilizando a radiação ionizante como fonte de esterilização de insetos-praga. O objetivo do trabalho é fazer um levantamento sobre os principais insetos-praga que atingem as culturas do milho, soja, feijão e trigo do sul do Brasil, fazer um levantamento sobre as doses de radiação aplicadas e analisar se estão de acordo com os parâmetros internacionais do Banco de dados Internacional sobre Desinfestação e Esterilização de Insetos (IDIDAS). No levantamento bibliográfico, analisou-se diversos insetos-praga, porém somente duas espécies puderam ser comparadas aos dados do IDIDAS, que foram *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera*, duas pragas de importância agrícola. Verificou-se através da triangulação de dados, que as doses utilizadas estão em desacordo parcial com as doses regulamentadas pela IDIDAS. Como uma proposta de continuidade deste trabalho, ao final apresenta-se algumas características do *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) como forma de reprodução, forma de crescimento populacional e os ciclos de desenvolvimento da espécie, com o intuito de aplicar a técnica da esterilização a este inseto-praga, que atinge a cultura do milho.

Palavras-chave: Radiação ionizante. Insetos-praga. Técnica do Inseto Estéril. *Dalbulus maidis*.

ABSTRACT

The present study consists in the Sterile Insect Technique application using ionizing radiation as a source of insect pests sterilization. The objective of the work is to survey the main pest insects that affect the corn crops, soybeans, beans and wheat in southern Brazil, survey the radiation doses applied and analyze whether they are in accordance with international parameters of IDIDAS. In the bibliographical survey, several pest insects were analyzed, but only two species could be compared to the IDIDAS data, which were *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa armigera*, two pests of agricultural importance. It was verified through data triangulation that the doses used are in partial disagreement with the doses regulated by IDIDAS. As a continuation proposal for this work, at the end some characteristics of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) are presented as a form of reproduction, a form of population growth and the development cycles of the species, in order to apply the sterilization technique to this insect pest, which affects the corn crop.

Keywords: Ionizing radiation. Pest insects. Sterile Insect Technique. *Dalbulus maidis*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico de registro anual de agrotóxicos no Brasil (2000-2020)	22
Figura 2 - Média anual do uso de agrotóxicos no Brasil.....	23
Figura 3 -Volume total de agrotóxicos comercializados por ano (2011 a 2016).....	23
Figura 4 - Volume médio de agrotóxicos comercializados per capita (2013 a 2016) (Kg).....	25
Figura 5 - Ciclo de desenvolvimento holometábolo.....	30
Figura 6 - Efeito da radiação ionizante na molécula de DNA.....	31
Figura 7- Produção massal de larvas em uma biofábrica.....	33
Figura 8- Irradiadores de armazenamento a seco.....	34
Figura 9 - Irradiador panorâmico de larga escala.....	35
Figura 10 - Desenho esquemático de um acelerador de elétrons.....	38
Figura 11- Fonte de Cobalto- 60.....	39
Figura 12- Esquema ampola de Raio X.....	39
Figura 13- Dose letal de radiação para diversos organismos vivos.....	44
Figura 14 - Poder de penetração dos diferentes tipos de radiação.....	46
Figura 15- Viabilidade dos ovos de <i>Helicoverpa armigera</i> , irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60.....	63
Figura 16 - Gráfico da quantidade de inseticidas utilizados no controle de <i>Dalbulus maidis</i> na cultura do milho no Estado do Paraná.....	67
Figura 17- <i>Dalbulus maidis</i>	68
Figura 18 - Desenvolvimento de insetos hemimetábolos.	69
Figura 19- Estágio de desenvolvimento <i>Dalbulus maidis</i>	71
Figura 20 - Protótipo de uma gaiola para insetos.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Crescimento teórico de uma população hipotética não controlada.....	17
Tabela 2- Crescimento de uma população de insetos submetidos ao controle por inseticidas ou meios similares.....	18
Tabela 3- Crescimento de uma população de insetos submetidos ao controle pela liberação substancial de insetos estéreis.....	18
Tabela 4 - Demonstrativo de detecção e estimativa de agrotóxicos nas águas brutas e tratada, no período de 2000 a 2007 no Brasil.....	27
Tabela 5- Dados de área e produção agrícola dos principais cultivares do Paraná..	49
Tabela 6- Insetos que atingem a agricultura do sul do Brasil que possuem dados de esterilização.....	55
Tabela 7- Média da fecundidade (número de ovos/fêmea) e viabilidade de larvas após irradiação de machos <i>Diabrotica speciosa</i>	61
Tabela 8 - Média da longevidade, número de ovos e porcentagem de viabilidade de adultos de <i>S.frugiperda</i> irradiados na fase de pupa com doses crescentes de radiação gama do Cobalto -60	64
Tabela 9- Comparação de dados da literatura com o IDIDAS.....	65
Tabela 10- Dados biológicos <i>Dalbulus maidis</i>	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de ordem e família de insetos submetidos à irradiação para obtenção de esterilidade.	42
Quadro 2 - Insetos que atingem a agricultura do sul do Brasil que possuem dados de esterilização.....	48
Quadro 3 - Levantamento de insetos-praga que mais causaram prejuízos à agricultura no Sul do Brasil de 2000 a 2020.....	51
Quadro 4 -Esterilização da <i>Diabrotica speciosa</i> (Germar, 1824).....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MIP- Manejo Integrado de Pragas.

TIE- Técnica do Inseto Estéril.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

SENGE- PR - Sindicato dos engenheiros no Estado do Paraná.

FAO- Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

DNA- Ácido Desoxirribonucleico.

Th-232- Tório-232.

U-238- Urânio-238

IDIDAS- Banco de dados Internacional sobre Desinfestação e Esterilização de Insetos.

IAEA- Agência Internacional de Energia Atômica.

IPPC- Convenção Internacional de Proteção Vegetal

PNDA -Programa Nacional de Defensivos Agrícolas

ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva

SEAPDR- Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e do Recursos Ambientais Renováveis.

AMSOP- Associação dos Municípios do Sudoeste do Paraná.

ADAPAR- Agência de Defesa Agropecuária do Paraná.

CNA- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
INTRODUÇÃO	13
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 INSETOS E OS PROBLEMAS CAUSADOS À AGRICULTURA.	15
2.2 DEFENSIVOS AGRÍCOLAS E IMPLICAÇÕES	19
2.3 TÉCNICA DO INSETO ESTÉRIL (TIE)	27
2.3.1 Características dos insetos e aplicação da radiação	28
2.3.2 Esterilização do inseto.	30
2.4 PRINCÍPIOS FÍSICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE	35
2.5 DOSES DE RADIAÇÃO E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	40
3. METODOLOGIA	47
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	49
4.1 PRAGAS QUE ATINGEM A AGRICULTURA DO SUL BRASILEIRO.	50
5. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA TIE NO SUDOESTE DO PARANÁ.	65
5.1- CARACTERÍSTICAS DALBULUS MAIDIS(deLONG & WOLCOTT)	67
5.2 PROPOSTA PARA ESTERILIZAÇÃO Dalbulus maidis.	71
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da produção agrícola brasileira, vários problemas surgiram, como o uso indiscriminado de defensivos agrícolas que tem efeitos imediatos sobre a poluição ambiental e intoxicação humana, até o aumento de insetos-praga que afetam a agricultura. Para minimizar os efeitos da utilização desenfreada de agrotóxicos para combater insetos-praga, a técnica do Manejo Integrado de Pragas (MIP) desenvolve ações para combatê-las causando o menor prejuízo possível. Um dos programas reconhecidos é a Técnica do Inseto estéril, que consiste na liberação de um grande número de insetos estéreis em um ambiente natural para o cruzamento com insetos nativos, resultando em uma geração inviável.

Neste trabalho vamos analisar, via levantamento de dados bibliográficos, os insetos-praga que atingem as culturas do milho, soja, feijão e trigo do sul do Brasil e se são suscetíveis de serem esterilizados através da radiação ionizante.

A Técnica do Inseto Estéril, visa a esterilização de insetos utilizando quimioesterilizantes ou radiação ionizante proveniente de fontes de Cobalto-60, Césio- 137 ou raio X. Desde os anos de 1960, esta técnica vem sendo aprimorada e desenvolvida para combater os principais insetos-pragas que causam prejuízos à agricultura ou à saúde. Neste trabalho vamos analisar a esterilização utilizando radiação ionizante, que é um tipo de radiação de alta energia que favorece a quebra da cadeia do DNA dos microrganismos, com objetivos de eliminá-los ou torná-los incapazes de se reproduzir. Este processo está diretamente relacionado com a quantidade de dose recebida pelo objeto (DA SILVA et al., 2014, p.1627).

A exposição à radiação ionizante pode causar danos à saúde e este risco se agrava com o aumento da taxa de exposição à radiação, tanto para humanos, como para os insetos que em geral quanto mais complexa for sua estrutura orgânica, estrutural e neurológica, menor é a sua resistência à radiação, pois quando a radiação ionizante incide sobre órgãos ou tecidos, podem provocar efeitos físicos, químicos e biológicos. (CARVALHO e OLIVEIRA, 2017, p.31).

Ao final é proposto um projeto de continuidade deste trabalho, onde buscou-se evidências sobre da esterilização do *Dalbulus maidis*, inseto-praga que está preocupando produtores de milho e que nas últimas safras tiveram grandes prejuízos com a infestação descontrolada deste inseto, uma vez que tornou-se

resiste aos inseticidas convencionais, desafiando o MIP a buscar novas soluções para o seu controle.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os insetos-praga são um grande problema para a agricultura contemporânea, os quais geram inúmeros transtornos à saúde pública, até a devastação de plantações. O método mais empregado para o combate é a utilização de fertilizantes químicos, porém estes causam grandes problemas devido a contaminação ambiental, possíveis problemas à saúde, além de afetar outros insetos inofensivos. A seguir, abordaremos sobre a Técnica do Inseto Estéril (TIE), que é uma metodologia alternativa, baseada na utilização da radiação ionizante para o combate dos insetos-praga que, neste trabalho, traz como foco os que atingem a agricultura. Inicialmente será tratado sobre os principais insetos que afetam a agricultura na região sul do Brasil e as respectivas culturas agrícolas.

2.1 INSETOS E OS PROBLEMAS CAUSADOS À AGRICULTURA.

No reino animal os insetos representam cerca de 75% de todas as espécies existentes no planeta. O surgimento dos insetos está datado a partir de fósseis, há aproximadamente 380 milhões de anos atrás, sendo o maior grupo animal existente. Neste grupo, temos insetos benéficos como as abelhas e alguns maléficos, como o *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), espécie de cigarrinha que está trazendo prejuízos ao campo e afetando principalmente a cultura do milho. Uma das características predominantes dos insetos é a capacidade de adaptação, trazendo assim sérios problemas desde os primórdios, quando o homem travou uma batalha contra os insetos denominados insetos-praga, ou seja, aqueles que trazem prejuízos econômicos ao produtor (SANTOS, 2013).

Quando o homem mudou a maneira de produzir alimentos, partindo da policultura, que é a produção de vários tipos de plantas em um ambiente e começou a produção da monocultura, que é o cultivo de uma única cultura em grandes extensões territoriais, começaram os problemas recorrentes com os insetos-praga. Como a diversidade de alimentos diminuiu, muitos insetos acabaram desaparecendo; insetos estes importantes para a manutenção do ecossistema, pois a grande maioria destas espécies eram inimigos naturais de alguns insetos-praga (ZARBIN et al., 2009).

O controle de insetos já passou por diferentes fases até chegar no que temos hoje, como o que é estabelecido no documento chamado de Manejo Integrado de Pragas (MIP):

O MIP é definido como uma ampla abordagem sistemática à proteção de uma determinada cultura agrícola, enfatiza que o acúmulo de informações auxilia para um melhor processo decisório, a fim de reduzir a aquisição de insumos e minimizar as consequências sociais, econômicas e ambientais do processo de controle da praga alvo. (ZARBIN et al., 2009, p.723)

O MIP se baseia na observação, acúmulo de informação e na racionalização das medidas que devem ser adotadas para conter a praga. Para o controle é levado em consideração alguns fatores como parâmetros técnicos, econômicos, ecotoxicológicos e sociológicos. Sabendo dos fatores prejudiciais do uso de agrotóxicos para o meio ambiente, as pessoas, a fauna e a flora, o MIP realizou estudos na busca de outros métodos de controles biológicos que não causem tantos problemas ao ecossistema, sendo estes os métodos genético, mecânico, físico e legislativo.

Os métodos de controle de insetos, até 1970, eram baseados em inseticidas químicos, fortemente influenciados pelo fim da segunda guerra mundial e a construção de grandes indústrias químicas. A partir de 1970, o MIP popularizou-se e as normas sobre utilização de substâncias químicas para eliminação de pragas começou a vigorar com maior rigor, proibindo a utilização desenfreada de compostos químicos bem como proibindo a comercialização de várias destas substâncias consideradas muito prejudiciais ao solo, mananciais ou que traziam sérios problemas a quem aplicava. Em 1950, nos Estados Unidos, começaram estudos sobre a eliminação de insetos-praga através do método de esterilização; no Brasil este método foi estudado e começado a se utilizar a partir de 1970, denominada de Técnica do Inseto Estéril (TIE):

Na Convenção Internacional de Proteção de Plantas ou *International Plant Protection Convention* (IPPC) ficou estabelecido que a Técnica do Inseto Estéril é uma estratégia de controle biológico, sendo incorporada aos programas do MIP em grandes áreas, cujas ações planejadas não são implementadas pelo produtor e sim por uma coordenação gestora do programa, atuando em âmbito regional, além dos limites da propriedade rural ou urbana. (IMPERATO E RAGA, 2015,p.2).

Nas tabelas a seguir estão representados o crescimento teórico de uma população de insetos hipotéticos, nomeadas de acordo com a geração: P

representa a geração parental, ou seja, são os primeiros indivíduos cruzados de uma prole que está em estudos e F representa as gerações filial; F1 representa a geração de indivíduos descendentes da geração P; F2 representa a geração autofecundada da geração F1 e assim, até descrever todas as gerações que serão levantadas no estudo. O crescimento teórico apresentado pela maioria da população de insetos que não são submetidos a nenhum tipo de controle está representado na Tabela 1. Na Tabela 2, temos uma população de insetos que foram submetidos a um controle convencional utilizando inseticidas ou meios similares. Na Tabela 3, temos a população de insetos que foram submetidos ao controle por liberação substancial de insetos estéreis.

Tabela 1- Crescimento teórico de uma população hipotética de insetos não controlada.

Geração	Número de insetos/unidade de área
P1	1.000.000
F1	5.000.000
F2	25.000.000
F3	125.000.000*
F4	125.000.000*

*Densidade máxima

Fonte: HADDAD (2017, p. 21).

Ao ser aplicado um inseticida para o controle, o nível de mortalidade é de 90% por geração, já para os insetos sobreviventes a taxa de crescimento é de 500% por geração.

Como representado na Tabela 2, a cada geração ocorre um decréscimo de 50% da população, o nível de controle depende muito de fatores como: espécie, método utilizado, maneira de aplicação, etc. Na maioria dos casos é preciso várias aplicações de inseticida durante a geração para ter uma redução drástica da praga (HADDAD, 2017,p. 22).

Tabela 2- Crescimento de uma população de insetos submetidos ao controle por inseticidas ou meios similares.

Geração	Densidade populacional
P	1.000.000
F1	500.000
F2	250.000
F3	125.000
F4	62.500
.	.
.	.
F18	0

Fonte: HADDAD, 2017, p. 22

Tabela 3- Crescimento de uma população de insetos submetidos ao controle pela liberação substancial de insetos estéreis.

Geração	Densidade populacional		Proporção Estéril:Fértil	Progênie Esperada
	Ins. férteis	Ins. estéreis		
P	1.000.000	9.000.000	9:1	100.000
F1	500.000	9.000.000	18:1	26.316
F2	131.625	9.000.000	68:1	1.910
F3	9.535	9.000.000	942:1	10
F4	50	9.000.000	180.000:1	0

Fonte: HADDAD, 2017, p. 24

A partir das tabelas podemos ver que a liberação de insetos estéreis geram efeitos significativos; HADDAD (2017) faz a seguinte análise:

A primeira liberação de 9 milhões de insetos estéreis teoricamente tem o mesmo efeito que o tratamento inicial com inseticidas, se esse tratamento reduzir em 90% a população. Entretanto, liberações contínuas de insetos estéreis em número igual ao inicial, o que corresponderia à mesma “dose”, causam um efeito progressivamente maior na redução da taxa de crescimento de cada geração ao contrário do controle convencional. (HADDAD, 2017, p.24).

A TIE é uma técnica diferente dos agrotóxicos, pois é uma técnica que visa a eliminação de uma praga específica, não atingindo outras espécies de insetos como acontece com os agrotóxicos, assim como não deixa resíduos no ambiente.

2.2 DEFENSIVOS AGRÍCOLAS E IMPLICAÇÕES

O crescimento agrícola e agropecuário do Brasil nas últimas décadas está diretamente relacionado aos incentivos governamentais que buscaram inovar tecnologicamente o campo. A partir destas inovações, com a aquisição de máquinas mais potentes, trouxe a progressiva troca do trabalho manual pelo mecanizado, incluindo a modernização do processo no controle de pragas, entre outros. O controle de pragas que antes era feito de forma manual se utilizando de pulverizadores costais, os quais ainda são utilizados em pequenas plantações, com a modernização estão sendo substituídos pelos grandes pulverizadores, que são acoplados a um trator e pulverizam grandes áreas.

Agrotóxicos, defensivos químicos, pesticidas, praguicidas, remédios de plantas e venenos, essas são algumas das inúmeras denominações relacionadas a um grupo de substâncias químicas utilizadas no controle de pragas (animais e vegetais) e doenças de plantas (FUNDACENTRO, 1998 apud RIBAS e MATSUMURA, 2009 p. 150).

Os primeiros registros do uso de substâncias químicas para contenção de pragas, de acordo com BRAIBANTE e ZAPPE (2012, p. 11), apontam para o povo Sumério por volta de 2500 a.C. onde se utilizava o enxofre; antes deste registro, sabe-se que o homem sempre buscou meios de combater essas adversidades naturais, sendo que muitas vezes, eram feitos rituais religiosos ou magias para se combater as pragas. Porém, a utilização massiva dos agrotóxicos para eliminação de insetos foi atenuada ao final da segunda guerra mundial. De acordo com GEREMIA (2011, p.15) apud COSTA E PIRES (2016, p.5), neste momento havia um forte estímulo ao desenvolvimento de indústrias químicas para fabricação de armas, onde os agrotóxicos eram considerados novas armas científicas na guerra contra pragas e patógenos de plantas.

Objetivando o aumento da produtividade para atender a demanda de alimentos do mundo, grandes organizações mundiais aceitaram a utilização de agrotóxicos e outros insumos agrícolas para alcançar os seus propósitos de erradicação da fome. De acordo com COSTA E PIRES (2016, p.7) este momento marca o início da chamada “Revolução Verde”, onde presumia-se que, com o auxílio

de novas tecnologias, o homem superaria os obstáculos colocados pela natureza e aumentaria suas produções.

Por volta de 1960 o Brasil também embarcou neste contexto de modernização da agricultura, onde de início foram feitas muitas campanhas para convencer os agricultores a utilizarem os agrotóxicos. Nos anos seguintes o Brasil já contava com fábricas próprias de produção de defensivos, assim como bancos brasileiros criaram linhas de créditos direcionadas a atualização tecnológica agrícola ou também, como já citado na "Revolução Verde", para aquisição de fertilizantes, máquinas agrícolas e para correção do solo, fomentando assim o desenvolvimento agrícola nacional.

Naquele momento o Brasil não possuía uma legislação para o uso de agrotóxicos, proporcionando assim, ao mercado vendedor o poder de fazer grandes propagandas deslumbrantes, na qual iludiam os agricultores a utilizarem esses produtos. Em 1975, após ser criado o Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), PELAEZ apud COSTA E PIRES 2016, p. 8) afirmam que foi neste período que se efetivou a instalação da indústria de agrotóxicos no país, formada pelas principais empresas fabricantes destes produtos em nível mundial, e assim aumentando gradativamente a utilização dos agrotóxicos.

CARVALHO (2017, p.3) descreve o momento inicial da utilização de agrotóxicos no Brasil :

A "era de ouro" dos agrotóxicos guarda semelhanças com a era de ouro da utilização dos antibióticos, quando havia excessivo otimismo, ou otimismo tecnológico ingênuo de que a humanidade poderia se livrar das pragas (fossem elas microrganismos causadores de doenças em humanos, fossem organismos que prejudicam as lavouras e criações) devido ao avanço tecnológico (MCNEILL, 2001, p.201 apud. CARVALHO, 2017, p. 3).

Em um documento formulado pela EMBRAPA (2010), este descreve sobre a legislação do uso do agrotóxicos no Brasil atualmente:

"O Decreto no 4.074, de 4 de janeiro de 2002 que regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins."

E segue:

“Pela Lei no 7.802, o termo agrotóxico e afins é definido como produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso no setor de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas, como também em ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, assim como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento.”(EMBRAPA, 2010).

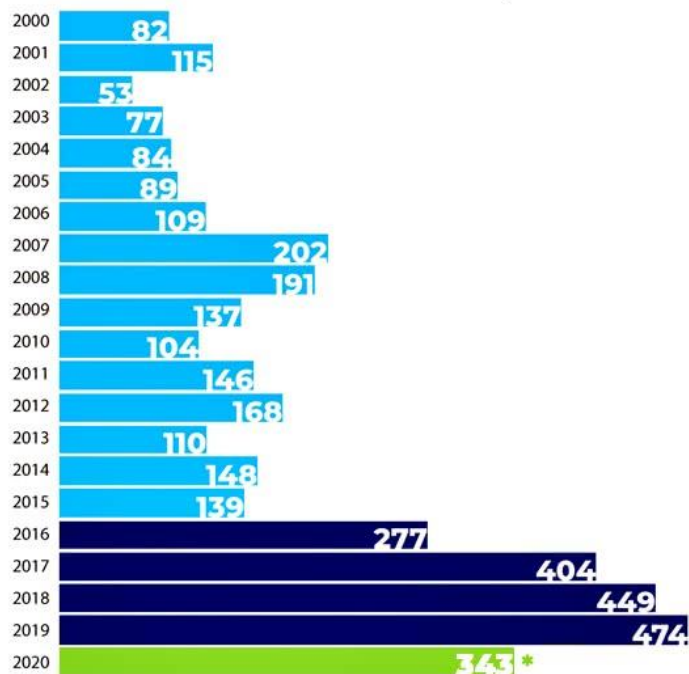
Este mesmo documento da EMBRAPA estabelece as normas para as formas das embalagens, a classificação dos agrotóxicos quanto aos riscos de quem o manuseia, cuidados com os equipamentos de aplicação, a escolha do agrotóxico, o transporte e armazenamento, condições climáticas adequadas para ser aplicado, cuidados na preparação e aplicação do produto, equipamentos de proteção individual e período de carência do produto.

CAMPANHOLA e BETTIOL (2003, p.13) trazem uma reflexão que em decorrência do expressivo montante de investimentos realizados para viabilizar esse modelo de agricultura, muitos problemas ambientais passaram a ser observados, uma vez que pouca atenção foi dispensada no conhecimento da estrutura e funções dos ecossistemas envolvidos. Com a utilização desenfreada de agrotóxicos, muitos problemas começaram a ser notados, como resíduos de agrotóxicos em alimentos, contaminação de solo, de mananciais e intoxicação humana. Com estes dilemas em alta, deu-se início a preocupação coletiva com os problemas causados e, com isto, o começo da substituição dos agrotóxicos por outros meios mais específicos e eficazes para o controle de pragas e doenças.

De acordo com a notícia da página online GOMES (2020) o “*Brasil é o país que mais consome agrotóxicos no mundo.*” Na Figura 1, temos alguns dados de agrotóxicos no Brasil.

Figura 1 - Gráfico de registro anual de agrotóxicos no Brasil (2000-2020).

Registro anual de agrotóxicos no Brasil (2000-2020)



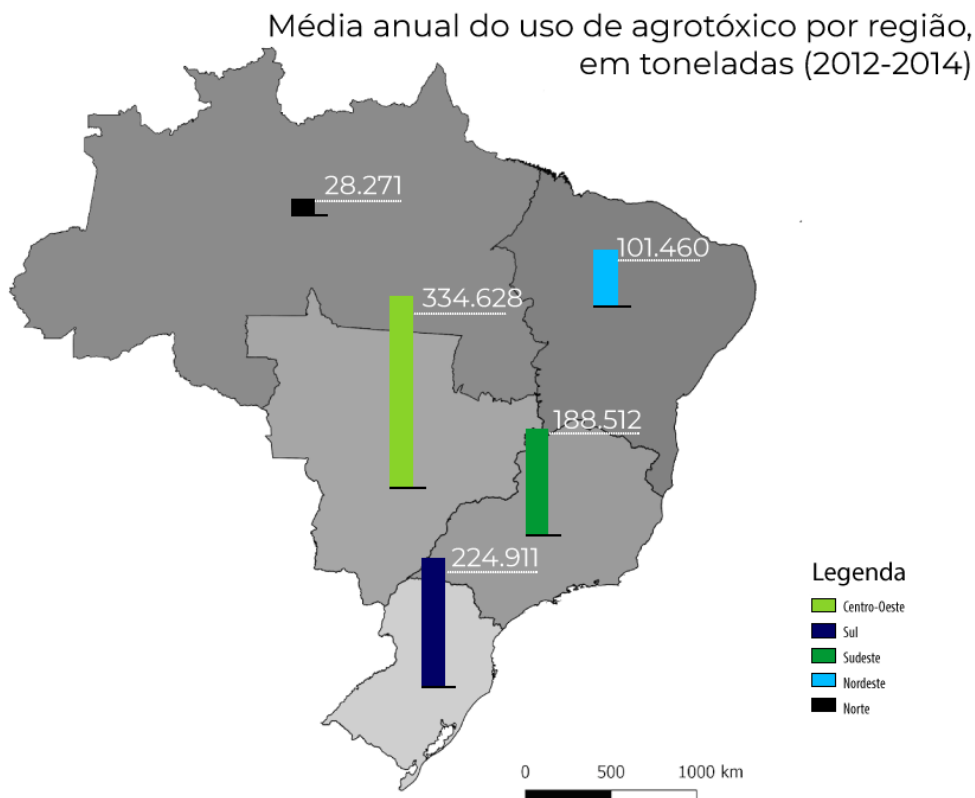
Agro é TOXICO Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

*Até 28 de outubro de 2020

Fonte: [Brasil é o país que mais consome agrotóxicos no mundo . Acesso 18 de abril 2021](#)

Este gráfico expressa a quantidade de agrotóxicos que é registrado anualmente no Brasil, ou seja, cada ano temos novos agrotóxicos no mercado. Outro dado interessante é mostrado na Figura 2, onde temos um mapa que apresenta as regiões brasileiras que mais utilizam agrotóxicos.

Figura 2 - Média anual do uso de agrotóxicos no Brasil.



Agro é TOXICO Fonte: Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Européia (2017)

Fonte: [Brasil é o país que mais consome agrotóxicos no mundo. ACESSO: 18 de abril 2021.](#)

O mercado brasileiro de agrotóxicos expandiu rapidamente na última década (190%), num ritmo de crescimento maior que o dobro do apresentado pelo mercado global (93%), o que coloca o Brasil em primeiro lugar no ranking mundial desde 2008 (RIGOTTO, VASCONCELOS, ROCHA 2014). Um terço dos alimentos consumidos cotidianamente pelos brasileiros está contaminado pelos agrotóxicos, segundo alerta feito pela Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO), em dossiê lançado durante o primeiro congresso mundial de nutrição, o World Nutrition Rio 2012 (ORTIZ, 2012 apud CASSAL 2014).

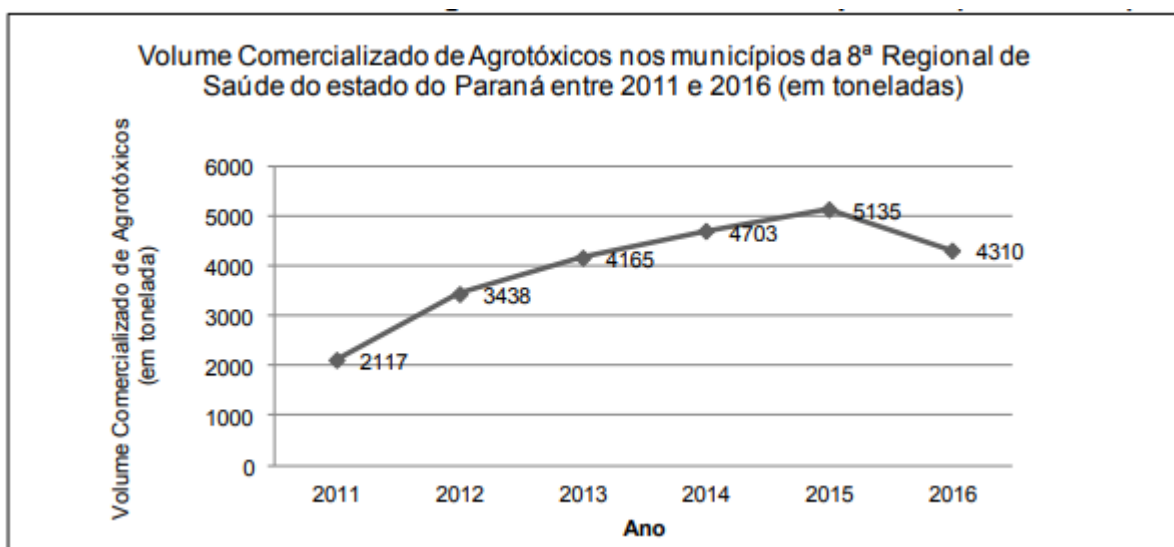
Como podemos ver na Figura 2, a região sul do Brasil é a segunda maior região consumidora de agrotóxicos do país. De acordo com o notícia online da página SENGE-PR em sua matéria "*Paraná é o 2º maior consumidor de agrotóxicos do país*", traz que o Paraná é o segundo estado com maior produção de grãos e também o segundo maior consumidor de agrotóxicos, perdendo apenas para o Mato Grosso do Sul. Com a utilização de tantas toxinas, um estudo feito pelo Programa de

Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos nos mostra que 19% dos alimentos consumidos no Paraná estão contaminados com algum tipo de toxina. Os alimentos que têm maior teor de contaminação são o morango com 72,2%, pimentão 56,52% e tomate 25% (RAMIRES, 2019). Além de muitos municípios apresentarem contaminação nos principais reservatórios de abastecimento de água.

Uma pesquisa realizada por GABOARDI, CANDIOTTO e RAMOS (2018) através da oitava regional de Saúde do Paraná, que compreende grande parte dos municípios da região sudoeste do estado, traz dados do perfil do uso de agrotóxicos no sudoeste do Paraná. Dados colhidos do IBAMA (2018), mostram que o estado do Paraná em 2016 comercializou legalmente 72.212 toneladas de agrotóxicos.

Na Figura 3, temos a quantidade de agrotóxicos utilizados no domínio da oitava regional de saúde do Paraná.

Figura 3 -Volume total de agrotóxicos comercializados por ano (2011 a 2016)



Fonte: PERFIL DO USO DE AGROTÓXICOS NO SUDOESTE DO PARANÁ (2011 – 2016). Acesso 18/04/2021

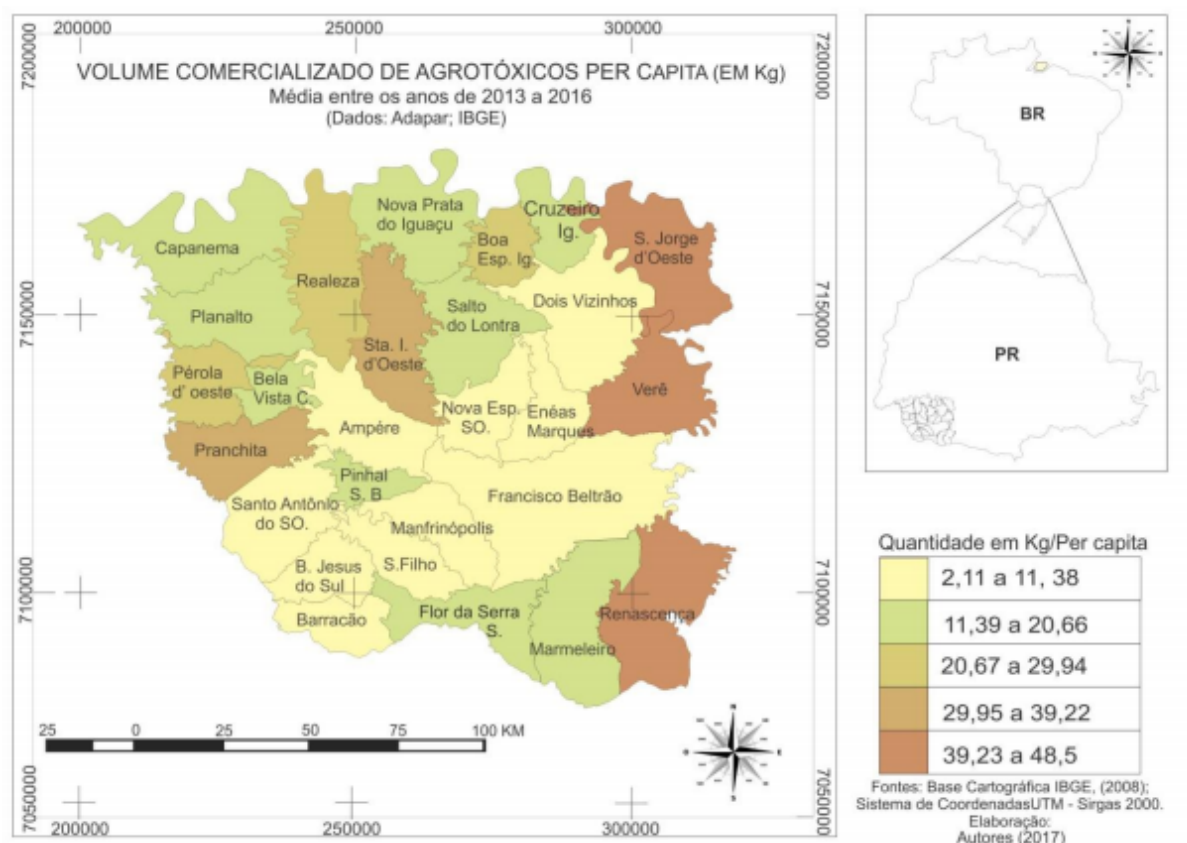
Grande parte da economia da região sudoeste do Paraná provém da agricultura. Em estudos realizados em água em alguns municípios, como Nova Prata do Iguaçu, Salto do Lontra, Ampére, Santa Isabel do Oeste e Planalto, VIEIRA et. al (2017, p. 1809) afirma que:

Foram detectados e quantificados oito agrotóxicos nas amostras avaliadas, entretanto nenhuma apresentou concentração acima do limite máximo de resíduos estabelecido pela legislação brasileira. Levando em consideração

os parâmetros recomendados pela legislação europeia, duas amostras apresentaram níveis de atrazina acima de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ em cada uma delas, o que caracteriza um resultado fora dos padrões de água potável segundo essa legislação. VIEIRA et. al (2017, p. 1809)

Um dos dados mais preocupantes sobre a utilização de agrotóxicos na região sudoeste é mostrado na Figura 4. Neste mapa é possível ver a quantidade per capita, ou seja, a quantidade equivalente que cada pessoa comprou de agrotóxico entre os anos de 2013 e 2016. De acordo com GABOARDI, CANDIOTTO e RAMOS (2018, p. 26), a média nacional é de 7,3 litros por habitante, o que mostra que apenas sete municípios estão dentro da média nacional.

Figura 4: Volume médio de agrotóxicos comercializados per capita (2013 a 2016) (Kg)



Fonte: [PERFIL DO USO DE AGROTÓXICOS NO SUDOESTE DO PARANÁ \(2011 – 2016\)](#). Acesso 18/04/2021

De acordo com RIBAS e MATSUMURA (2009, p. 152) os agrotóxicos são produzidos de diferentes substâncias químicas, desenvolvidas com objetivo de matar, exterminar, combater ou impedir o desenvolvimento de organismos que

prejudicam o sistema agrícola, florestal, ambientes híbridos, urbanos e industriais; por atuarem sobre processos vitais, eles trazem modificações nas constituições físicas e de saúde do ser humano. As autoras trazem que os efeitos sobre a saúde podem ser:

De dois tipos: 1) efeitos agudos, ou aqueles que resultam da exposição a concentrações de um ou mais agentes tóxicos, capazes de causar dano efetivo aparente em um período de 24 horas; 2) efeitos crônicos, ou aqueles que resultam de uma exposição continuada a doses relativamente baixas de um ou mais produtos. (RIBAS e MATSUMURA, 2009, p. 152)

No Brasil, a segunda principal causa de intoxicação é por agrotóxicos, depois dos medicamentos; entretanto, a morte dos intoxicados ocorre com maior incidência entre os que tiveram contato com agrotóxicos (ANVISA, 2009b apud RIBAS e MATSUMURA, 2009, p. 153).

A utilização descontrolada de agrotóxicos tem acarretado em transtornos e modificações para o ambiente, seja pela contaminação das comunidades de seres vivos que o compõem, seja pela sua acumulação nos segmentos bióticos e abióticos dos ecossistemas (biota, água, ar, solo, sedimentos etc) (PERES e MOREIRA, 2003 apud BRAIBANTE e ZAPPE 2012, p. 13).

Um dos efeitos ambientais indesejáveis dos agrotóxicos é a contaminação de espécies que não interferem no processo de produção que se tenta controlar (espécies não-alvos), dentre as quais se inclui, a espécie humana. (PERES e MOREIRA e Org, 2003 p.36).

Dados retratam que no Brasil 51% do abastecimento de água é proveniente de poços tubulares profundos ou poços escavados com água vinda de recursos hídricos subterrâneos. Porém, há estudos que mostram que não é dada atenção adequada para o cuidado com contaminação nestes mananciais. GOMES e BARIZON (2014) citam exemplos de aquíferos dos Estados Unidos com níveis elevados de atrazina¹ e níveis elevados de nitrato² em águas do continente europeu. Enquanto organoclorados³ estão presentes em todos os compartimentos ambientais do planeta (RODRIGUES, 2003, p.219). No Brasil, estudos sobre a contaminação das águas por fertilizantes são bastante limitados, mostrando um cenário preocupante por ser o país com o maior consumo mundial de agrotóxicos. Na Tabela 4 temos um demonstrativo de detecção e estimativa de agrotóxicos nas águas

¹ Herbicida usado para o controle de plantas daninhas nas culturas de milho, sorgo e cana-de-açúcar.

² Fertilizante utilizado para nutrição de plantas, sendo usado em diversas culturas.

³ Substância utilizada na produção de agrotóxicos como pesticidas .

brutas e tratadas, segundo estudos realizados no período de 2000 a 2007 no Brasil (NETO & SARCINELLI, 2009, p.75).

Tabela 4: Demonstrativo de detecção e estimativa de agrotóxicos nas águas brutas e tratada, no período de 2000 a 2007 no Brasil.

Substâncias estudadas/princípios ativos	Tipo manancial		Região de interesse	Fonte
	Sup. ⁽¹⁾	Sub. ⁽²⁾		
Metomil, maneb, triadimefon, atrazina, metribuzina, simazina, clorimuron etil, flumetsulan, fomesafen, glifosato, imazaquin, imazetapir e metolaclor etc.	X	X	Primavera do Leste (MT)	(3)
Herbicida Tebuthiuron		X	Microbacia do córrego Espriado, Ribeirão Preto (SP)	(4)
Alfa-Endossulfan, Beta-Endossulfan, 2,4D, Sulfato de Endossulfan, Glifosato, Tetradifon e Triclorfon.	X	X	Nordeste brasileiro	(5)
Organofosforados, benzimidazóis, carbamatos, piretroides e compostos clorados	X	X	Petrolina (PE) e Juazeiro (BA)	(6)
Organoclorados	X		Bauru (SP)	(7)
Aldicarbe, carbofurano e carbaril, simazina e atrazina e trifluralina	X	X	Região do rio Ribeira de Iguape (SP)	(8)
Organoclorados, organofosforados e piretroides	X		Principais bacias hidrográficas de MG, PR, SC, RS, MS, MT, RJ	(9)
Princípios ativos: imidacloprid, atrazina, clomazone	X		Agudos (RS)	(10)
Diversos organoclorados e metais	X		Região central do Estado de São Paulo	(11)
Organofosforados e carbamatos	X	X	Paty do Alferes (RJ)	(12)
Herbicidas: clomazone, propanil e quinclorac	X		Rio Grande do Sul	(13)

⁽¹⁾ superficial; ⁽²⁾ subterrâneo; ⁽³⁾ Dores; Freire (2001); ⁽⁴⁾ Gomes, Spadatto e Lanchotte (2001); ⁽⁵⁾ Brito et al (2001); ⁽⁶⁾ Ferracini et al (2001); ⁽⁷⁾ Rissato et al (2004); ⁽⁸⁾ Marques (2005); ⁽⁹⁾ Sarcinelli et al (2005); ⁽¹⁰⁾ Bortoluzzi et al (2006); ⁽¹¹⁾ Corbi et al (2006); ⁽¹²⁾ Veiga et al (2006); ⁽¹³⁾ Marchesan et al (2007).

Fonte: (NETO & SARCINELLI, 2009, p.75)

Com base nos problemas trazidos pelos agrotóxicos aos alimentos, ao meio ambiente, à saúde e também a quantidade de aplicações necessárias para o controle, novas técnicas têm sido buscadas para substituir este método de eliminação de pragas. A seguir serão definidos alguns parâmetros que embasam a nova metodologia a ser analisada neste trabalho.

2.3 TÉCNICA DO INSETO ESTÉRIL (TIE)

A partir dos anos 70 a utilização de agrotóxicos começou a sofrer restrições através do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e, a partir deste momento, surgiram novos programas voltados à eliminação de insetos-praga. Neste capítulo será discutida a Técnica do Inseto Estéril (TIE), que é a base do presente trabalho.

Esta técnica foi idealizada em 1937 pelo entomologista Edward F. Knipping para o controle da mosca varejeira, a qual era considerada um inseto-praga para a bovinocultura e animais silvestres nos Estados Unidos. A erradicação, neste caso, era difícil por conta dos animais silvestres serem os principais alvos das moscas e estarem em locais de difícil acesso. A esterilização era feita através de

quimioesterilizantes⁴ que interferem no potencial reprodutivo do organismo, entretanto, devido aos problemas mutagênicos, carcinogênicos e indutores de esterilização em mamíferos, sua aplicação foi classificada como inviável. A TIE é definida como um “método de controle de pragas usando liberações inundativas de insetos estéreis em grandes áreas, visando reduzir a fertilidade de uma população selvagem da mesma espécie” (DYCK et al, 2005; MASTRANGELO,2009, apud IMPERATO e RAGA, 2015, p.3). Um dos métodos de esterilização destes insetos é feita em laboratório, utilizando a radiação ionizante proveniente de radioisótopos de Cobalto- 60 ou Cs-137, elétrons gerados em aceleradores ou raio-X e, após serem irradiados, são liberados em grandes quantidades para cópula com insetos nativos, resultando em uma geração inviável e assim reduzindo o potencial de reprodução desta espécie (IMPERATO e RAGA, 2015).

Para garantir melhores resultados com a TIE é preciso levar em consideração a área de aplicação, ou seja, quanto maior for a área de aplicação e/ou distribuição destes insetos, melhor será o resultado, pois poderá abranger não somente áreas agrícolas, mas também urbanas e florestais, além da necessidade da realização de barreiras sanitárias, para evitar futuros casos de reinfecção. Para aplicação desta técnica é necessário se iniciar com métodos adicionais em grandes áreas, como controle químico e biológico, visando a diminuição ou um controle sobre a população, estes controles são feitos utilizando de fertilizantes e também quando possível através de predadores naturais destes insetos-praga.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS INSETOS E APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO

Perante a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o inseto estéril é definido como “um inseto, resultado de um tratamento apropriado, que é incapaz de produzir proles viáveis”. Até a década de 70, o método de esterilização mais utilizado era o quimioesterilizante. De acordo com MEYER (2003, apud IMPERATO e RAGA, 2015, p.4):

[...] são conhecidas cerca de 400 substâncias químicas que causam esterilidade reprodutiva nos insetos. Alguns desses compostos atuam como inibidores de desenvolvimento ovariano ou indutores de alterações na estrutura química dos ácidos nucleicos, DNA e RNA. Essas mutações

⁴ Composto químico que causa esterilização em organismos.

interferem na divisão celular ou impedem o desenvolvimento embrionário normal (MEYER,2003, apud IMPERATO e RAGA, 2015, p. 4).

Devido aos problemas colaterais causados pelos quimioesterilizantes, como problemas oncológicos e tóxicos ao organismo, adaptação dos insetos ao fertilizante e agressão ao meio ambiente, a partir de 1970 estes problemas começaram a preocupar a população em geral, fazendo com que os pesquisadores fossem em busca de novos recursos para o controle biológico através de outra técnica de esterilização e que não afetasse outras espécies animais. A alternativa encontrada foi a utilização da radiação ionizante para o processo de esterilização, tendo em vista que o processo é feito em laboratório e não atinge outros insetos, considerados pragas.

Para a aplicação da radiação ionizante em insetos, devem ser analisadas algumas características facilitadoras como: A reprodução deve ser sexuada (precisa da fusão de dois gametas); que sejam espécies denominadas “r” - estrategistas, ou seja, que tem capacidade de se multiplicar rapidamente, produzindo muitos descendentes e com desenvolvimento holometábolo, como mostrado na Figura 5. Neste caso, o inseto possui uma metamorfose completa, o que significa dizer que ele passa por diversas fases até a idade adulta e, na fase de pupa, facilita o processo de esterilização e manuseio, ou seja, a característica holometábolo é só um agente facilitador. Os insetos hemimetábolos, que possuem uma metamorfose incompleta, também são plausíveis de esterilização. A escolha do estágio de desenvolvimento e idade em que o inseto será irradiado são baseados no desenvolvimento do sistema reprodutivo do inseto, mudando de inseto para inseto, bem como a dosagem de irradiação aplicada será diferente para cada espécie de insetos (LIMA, 2015).

Figura 5: Ciclo de desenvolvimento de insetos holometábolos.



Fonte:escola/educação

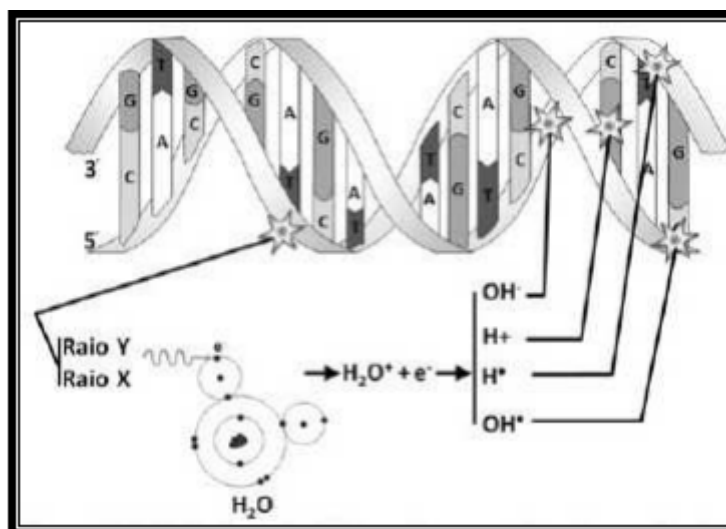
No mundo animal temos “comportamentos de acasalamento”, que se referem a eventos comportamentais para atrair parceiros. Assim, a dosagem de radiação na qual o inseto será exposto não deve afetar sua imagem ou torná-lo menos competitivo para a reprodução. SOUZA et al. (2013), faz alguns apontamentos sobre as características genéticas ideais que um inseto macho esterilizado demanda:

(1) A produção de espermatozoide; (2) sua transferência para o sexo feminino selvagem durante acasalamento; (3) sua utilização na fertilização dos ovos e (4) a incapacidade do zigoto ser formado, evitando o desenvolvimento completo de um adulto fértil. Em outras palavras, um inseto macho irradiado deve ser capaz de realizar todas as funções de um inseto fértil normal (ROBINSON, 2005 apud SOUZA et al, 2013, p. 46-47).

2.3.2 ESTERILIZAÇÃO DO INSETO.

A radiação ionizante ao atingir as células produz uma cadeia de reações oxidativas que ocorrem durante o processo de irradiação, causando vários efeitos no material irradiado. Nos insetos, as lesões afetam os cromossomos, que são estruturas que carregam as informações genéticas, sendo que cada um destes possui uma longa e linear molécula de DNA (Ácido Desoxirribonucleico) associadas às proteínas. Na Figura 6 temos a representação do efeito causado pela radiação ionizante à molécula de DNA .

Figura 6 -Efeito da radiação ionizante na molécula de DNA



Fonte: (BONATTO e ELNECAVE, 2011 apud LIMA ,2015, p. 41)

Como representado na Figura 6, podemos complementar que:

A lesão direta no DNA ocasiona a quebra de suas ligações estruturais. Na lesão indireta, há deslocamento de elétron (e^-) da molécula da água (H_2O), que se torna um íon água positivo (H_2O^+). O elétron reagirá com outra molécula de água formando H_2O^- , que se dissocia em íon hidroxila (OH^-) e radical livre hidrogênio (H^\bullet). Os íons e radicais livres são altamente reativos com as estruturas celulares. (BONATTO e ELNECAVE, 2011 apud LIMA ,2015, p. 41)

Durante o processo de espermatogênese⁵, poucas células germinativas irão se multiplicar e gerar milhões de espermatozoides; este período inclui as fases de desenvolvimento dos espermatozoides: período germinativo na qual a formação de células espermatogônias e espermatócitos, crescimento e maturação e por fim o período de diferenciação celular (LIMA, 2015).

Na lei de Bergonié e Tribondeau, que fala sobre a radiosensibilidade dos tecidos, temos que

- Quanto mais diferenciada for a célula, maior é sua resistência à radiação;
 - Quanto mais jovem for o tecido ou órgão, mais radiosensível ele será;
 - Quanto maior a atividade metabólica, maior a radiosensibilidade; Quando a taxa de proliferação celular e a taxa de crescimento tecidual aumentam, a radiosensibilidade também aumenta.
- (SILVA et al. 2014,p.113)

⁵ Espermatogênese pode ser definida como processo em que ocorrem a formação e o desenvolvimento do espermatozoide.

A radiosensibilidade se fará mais presente na fase de formação de células, pois são células germinativas que estão em intenso processo de divisão celular (LIMA, 2015, p. 43 apud BAKRI et al., 2005). Quando uma pausa é induzida nos cromossomos dos espermatozoides em desenvolvimento, poderá causar danos que continuarão após a maturação do espermatozoide e entrada no óvulo. Quando acontece a fusão entre o espermatozoide do inseto estéril com o óvulo da fêmea nativa, se inicia o processo de divisões nucleares e as rupturas que acontecem no DNA dos cromossomos, como mostrado na Figura 6, impedindo o desenvolvimento do embrião.

Os efeitos da radiação podem ser somáticos, que ocorre só no indivíduo exposto à radiação ou hereditário, que passa para os descendentes do irradiado. No caso dos insetos, os efeitos são somáticos e podem ser subdivididos em: estocásticos, que é caracterizado em decorrência das doses recebidas ou seja, a dose irradiada é menor que a recomendada e desencadeia resultados colaterais, ou efeitos determinísticos, que é causado pela irradiação total ou localizada de um tecido, gerando um grau de morte não compensado pela composição ou reparo, causando prejuízos irreparáveis ao tecido.

A adequada nutrição dos insetos antes da liberação a campo também é de grande importância, pois influencia na sobrevivência e em seu comportamento sexual. PACHECO et al. (2015), realizaram estudos com *Ceratitis capitata* (Wiedmann, 1824) (mosca-das-frutas) no qual buscou avaliar diferentes tipos de alimentos a insetos recém emergidos:

Na primeira, duas horas após a emergência dos insetos, grupos de 150 machos foram acondicionados em gaiolas de laboratório e submetidos a dois tipos de dietas: 1- sacarose e 2- sacarose + proteína (3:1), durante 72 horas. Em seguida, os insetos provenientes destes tratamentos foram expostos a dois cenários, imitando o que aconteceria em campo: cenário 1- fatias de goiaba (*Psidium guajava* L.) e água à vontade cenário 2- apenas água (inanição). Até as 72h após emergência não houve um efeito significativo das dietas na sobrevivência dos machos, sendo as taxas médias de sobrevivência para insetos alimentados com as dietas 1 e 2, de 99,3 e 99,2%, respectivamente. Sob condições de inanição observou-se um efeito significativo do tipo de nutrição oferecido nas primeiras 72 h de vida. As taxas médias de sobrevivência 24h após inanição foram de 77,3 e 35,1%, para insetos alimentados com as dietas 1 e 2 respectivamente. Além disso, constatou-se que havendo disponibilidade de alimento na natureza após liberação, como a goiaba, os tipos de dietas fornecidas na etapa inicial não influenciaram a sobrevivência dos machos (PACHECO et al., 2015, p. 1).

Esta informação reafirma que a alimentação dos insetos, após submetidos ao processo de irradiação, garante um êxito maior ao aplicar a TIE. Nas figuras a seguir temos imagens de setores de uma biofábrica de insetos estéreis. Na Figura 7 temos um local onde ficam acondicionados os insetos antes da irradiação.

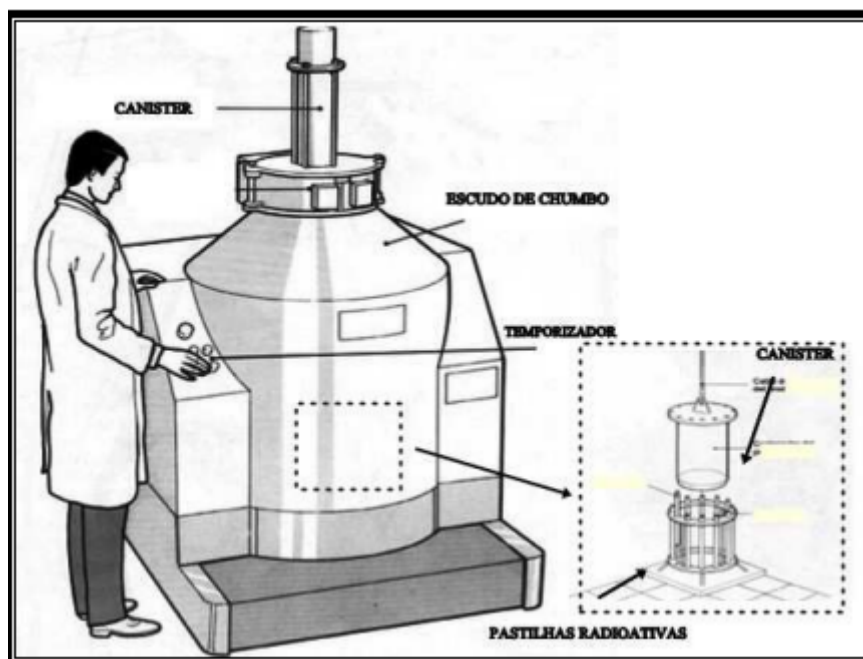
Figura 7- Produção massal de larvas em uma biofábrica.



Fonte: IMPERATO e RAGA, 2015, p. 4.

De acordo com LIMA (2015, p.40), normalmente são utilizados dois tipos de irradiadores gama nos programas TIE: irradiadores de armazenamento a seco (Figura 8) e irradiadores panorâmicos de larga escala (Figura 9).

Figura 8-Irradiadores de armazenamento a seco.



Fonte: LIMA,2015, p. 40

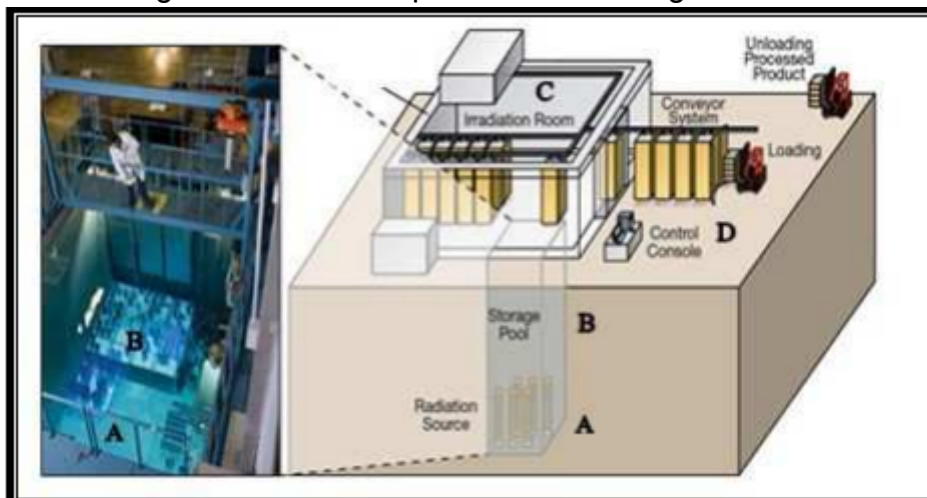
Este tipo de irradiador é mais utilizado em laboratórios de pesquisa e indústrias de pequeno porte.

Estes dispositivos abrigam a fonte radioativa dentro de um escudo protetor de chumbo e geralmente possuem um mecanismo para o manuseio das amostras. Através de um dispositivo denominado “canister”, a amostra biológica é armazenada e colocada em contato com a fonte radioativa. Estes canisters são reutilizáveis (geralmente feitos de aço, alumínio ou plástico) e são organizados de tal modo a manter os recipientes onde estão as amostras, imobilizados durante o procedimento de irradiação. O recipiente então é colocado na câmara de irradiação e o temporizador é ajustado para fornecer a dose pré-selecionada. Na maioria destes irradiadores, o local da irradiação está no centro de uma matriz circular, onde contém a fonte de radiação encapsulada. Com este design, a dose é relativamente uniforme no interior da câmara de irradiação, permitindo uma uniformidade de dose nas amostras (BAKRI et al., 2005 apud LIMA, 2015, p.39).

Na Figura 9, temos o esquema de um irradiador panorâmico de larga escala, que são os mais apropriados para esterilização de uma grande quantidade de amostras, que funciona da seguinte forma:

A fonte radioativa consiste de várias hastes de Co 60 dispostos em um plano e localizadas ao fundo de um poço coberto por água ou chumbo. No momento da irradiação, as amostras são colocadas em uma câmara, e em seguida, ao comando do operador, elas são direcionadas ao poço onde estão as hastes contendo a fonte radioativa e permanecem nesta condição pelo tempo definido pelo operador (BAKRI, 2005, apud LIMA,2015, p.40).

Figura 9 -Irradiador panorâmico de larga escala.



Nota da imagem: Estruturas que compõem o irradiador panorâmico de larga escala. A – Hastes radioativas; B – Poço de armazenamento; C – Câmara de irradiação; D – Temporizador.

Fonte: LIMA, 2015,p. 40

2.4 PRINCÍPIOS FÍSICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A história da radiação está marcada desde 1895, quando o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, durante experimentos em que aplicava corrente elétrica a diferentes tipos de tubos evacuados, ao cobri-los com uma tela para bloquear a luz, percebeu que em uma tela de platinocianeto bário, situado próximo, brilhava uma luz proveniente do experimento, surpreso fez várias investigações, no qual concluiu que a partir destes raios poderia-se observar a parte interna do corpo humano, estes raios ele denominou de RAIO X. A partir desta descoberta, novos estudos na área foram elaborados, como aconteceu nos anos seguintes quando Henri Becquerel, ao guardar alguns filmes fotográficos junto ao um mineral que continha Urânio, observou raios que eram emitidos pelo elemento que penetravam e imprimem imagens em filme fotográfico, portanto, verificou que os filmes fotográficos estavam afetados pela radiação, outro fenômeno novo para época, concluindo que estes minerais que continham urânio faziam um processo semelhante ao visto por Roentgen. Ao ver este fato, sua aluna Marie Curie descobriu que apenas alguns elementos emitem raios de energia; a este comportamento ela chamou de radioatividade. Marie junto ao seu esposo Pierre Curie, continuaram as pesquisas com radiação, o que os levou a descobrirem que enquanto o urânio emitia

radiação, se transformava em outros elementos; para esta descoberta dos elementos que estavam pesquisando, o casal nomeou de Polônio e de Rádio. Todas as substâncias que constituem a matéria são formadas por arranjos entre átomos, então um dos principais desafios dos cientistas era compreendê-los. Hoje já sabemos que os átomos são constituídos de um núcleo compactado formado por nêutrons e prótons carregados positivamente, cercado por uma nuvem de elétrons carregados negativamente. O átomo possui o mesmo número de elétrons negativamente carregado e de prótons positivamente carregado, neutralizando assim o átomo, sendo a relação entre as cargas negativas e positivas é que torna o átomo estável. (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991, p. 3)

Alguns átomos são naturalmente estáveis enquanto outros são instáveis, os átomos instáveis, que possuem excesso de prótons e nêutrons, estão sempre liberando energia em forma de radiação ou partículas; sendo assim eles estão constantemente se transformando. Esta energia que é liberada interage com outros átomos, podendo ioniza-los. Portanto, a radiação é uma forma de energia que está em trânsito, da mesma forma que o calor, na qual é emitida por uma fonte e se propaga em qualquer meio, na forma de partícula com ou sem carga elétrica ou também na forma de onda eletromagnética (OKUNO, 2018).

Temos dois tipos de radiação: a radiação ionizante que, conforme descrita por NOUAILHETAS (2015, p. 3), é um tipo de radiação de alta energia e está presente desde o surgimento do planeta. Trata-se de um fenômeno natural, proveniente de milhões de anos atrás, onde a taxa de exposição à radiação era tão grande que não se poderia ter vida. Com o passar dos milhões de anos de formação planetária, os átomos radioativos, que são instáveis, passaram pelo processo de decaimento radioativo, sendo que algumas famílias radioativas se tornaram estáveis e outras não, como as famílias do Th-232 e U-238, ainda existentes na natureza de forma instável. TAUHATA (2013) traz que a:

Radiação denominada de ionizante incluem todas as partículas carregadas, leves ou pesadas, emitidas durante as transformações nucleares e transferem a energia interagindo com os elétrons orbitais ou, eventualmente, com os núcleos dos átomos do material, por meio de processos de excitação, ionização, freamento e, para altas energias, de ativação (TAUHATA, 2013, p. 94).

Portanto, a radiação é caracterizada ionizante se for capaz de arrancar um elétron de um átomo ou de uma molécula, caso contrário é considerada uma

radiação não ionizante. A radiação não ionizante está presente em nosso cotidiano como a luz, o calor, as ondas de rádio, sendo que esta forma de radiação não provoca sérios danos à saúde como a radiação ionizante. A radiação ionizante é produzida por diferentes processos, onde neste trabalho abordaremos os raios X, os aceleradores de elétrons e os raios gama.

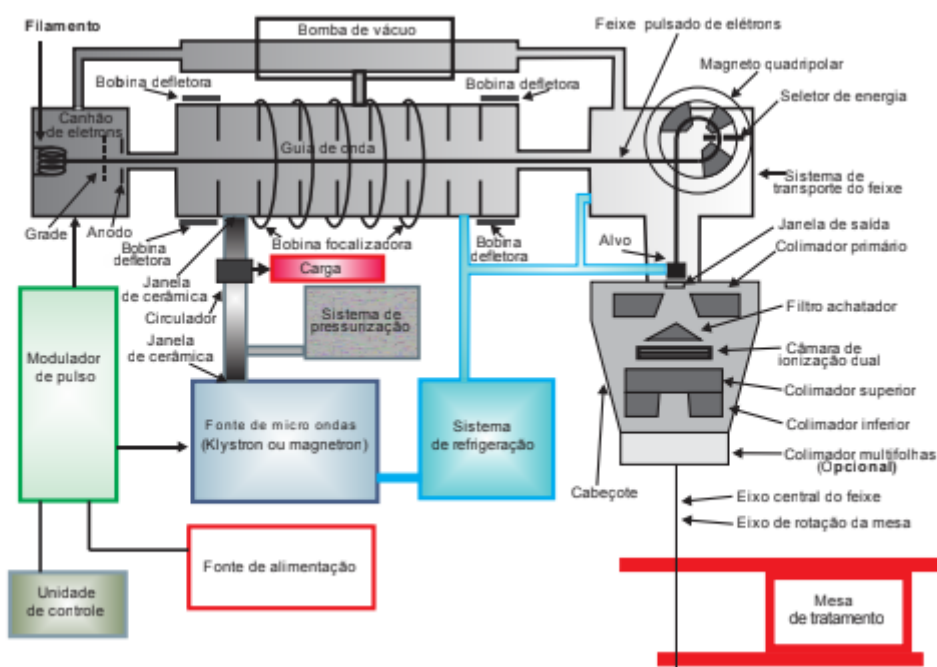
O raio X, é uma radiação eletromagnética de alta energia que tem origem na eletrosfera⁶ ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons.(TAUHATA et al. 2013, p. 16). Um exemplo muito presente no cotidiano das pessoas são os exames radiográficos, provenientes dos raios X, que utilizam a radiação ionizante para gerar uma imagem. A imagem radiográfica é gerada através da atenuação da radiação, que é a perda gradual da radiação ao adentrar em um material. Esta atenuação está diretamente relacionada com seu número atômico e a densidade do material. Por exemplo, em corpos humanos, os ossos atenuam muito mais radiação do que os tecidos moles, e a atenuação também é um parâmetro que indica alterações nos tecidos como inflamações, infecções ou formações inesperadas, ou seja, a absorção dos fótons é diferente para cada densidade de material. Para gerar a imagem de interesse, os raios X são colimados em direção ao órgão ou região em estudo e, através de ajustes feitos no equipamento, atingem em cheio a região interessada. O raio X é bastante utilizado para diagnósticos e tratamentos médicos, esterilização de equipamentos industriais, controle de insetos entre outras aplicações. (CARVALHO e OLIVEIRA, 2017, p.37).

Outro meio de produção de radiação ionizante são os aceleradores de elétrons, que proporcionam uma forma de energia ionizante caracterizada pela baixa penetração e alta dosagem em energia (ordem de MeV). Este tipo de acelerador é muito versátil pois, a partir de um feixe de elétrons, pode-se produzir feixes de radiação de freamento(radiação eletromagnética de alta energia e espectro contínuo), ou feixe de nêutrons a partir de reações nucleares, para certas faixas de energia (TAUHATA et al., 2013, p.49). Os elétrons são gerados por emissões termiônicas em filamentos aquecidos, injetados em um tubo e carregados por uma onda portadora estacionária, passando por vários estágios até chegar a energia necessária. Neste método, assim como para a produção dos raios X, os dispositivos

⁶ Região periférica situada em torno do núcleo atômico onde estão os elétrons.

necessitam de eletricidade como fonte de energia para funcionar e gerar radiação. Na Figura 10 temos um esquema de um acelerador de elétrons. O feixe gerado trata-se de um fluxo concentrado e altamente carregado de elétrons. Estes aceleradores também são capazes de gerar feixes contínuos e feixes pulsados de elétrons (TSAI, 2006, p.34).

Figura 10 - Desenho esquemático de um acelerador de elétrons.



Fonte: Tauhata, 2013, p..49

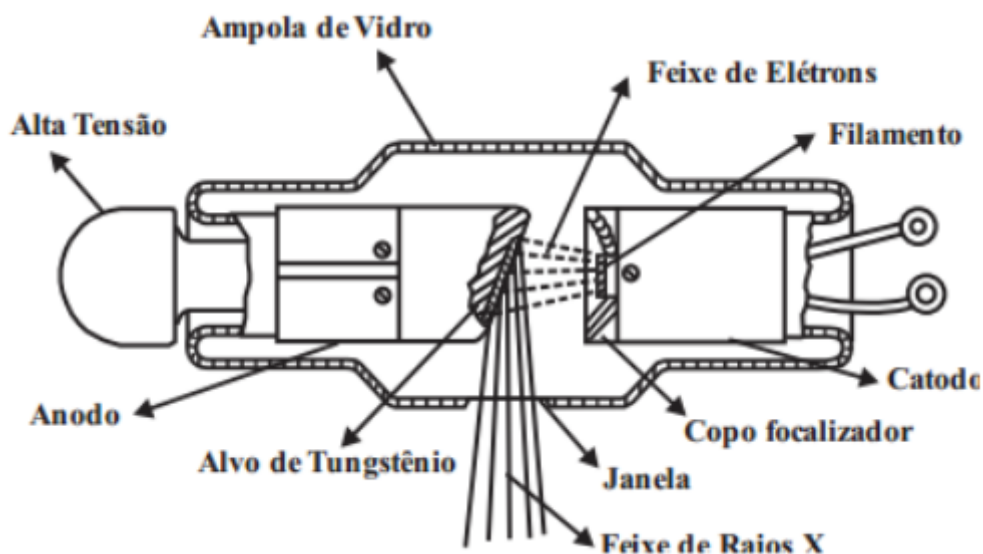
Os irradiadores utilizam radioisótopos como fonte de radiação acoplados a um sistema blindado de exposição e guarda da fonte. Para a produção de radiação ionizante, podemos utilizar fontes de cobalto-60 ou de cério-37, que são materiais radioativos e que emitem raios gama de forma espontânea, da ordem de MeV. Essas radiações são altamente penetrantes e conseguem viajar a velocidade próxima da luz. Quando penetram em uma molécula, a ionização causada pela radiação gama pode alterar as moléculas (DA SILVA et al., 2014, p.1626). Na figuras 11 temos uma fonte de cobalto-60, similar às utilizadas em irradiadores e na figura 12, temos uma ampola de raio X, que é responsável pela emissão dos raios.

Figura 11- Fonte de Cobalto-60



Fonte: Google.

Figura 12- Esquema ampola de Raio X.



Fonte: Google.

As células, tanto dos seres vivos como dos vegetais, apresentam muitas diferenças em suas aparências, mas quanto à estrutura possuem partes comuns, pois todas elas são envoltas por uma membrana citoplasmática e possuem um núcleo bem definido. No núcleo existem três componentes: nucleoplasma, cromossomos e os nucléolos. A parte mais sensível à radiação são os cromossomos, que consistem de um ácido desoxirribonucleico (DNA) e as proteínas. No processo de ionização acontece a alteração dos átomos, na qual pode alterar a estrutura das moléculas. Quando a energia de excitação é maior que a energia de

ligação dos átomos, pode ocorrer a quebra das ligações químicas e como consequência a mudança na estrutura molecular. Se estas moléculas constituem uma célula, poderão sofrer distúrbios como produção de radicais livres, íons e elétrons (TAUHATA et al., 2013, p. 108).

Temos maiores consequências quando estas alterações moleculares acontecem no DNA. Um dos efeitos diretos da radiação no DNA são as lesões:

A lesão é uma alteração na estrutura do DNA. Uma das fitas do DNA pode ser rompida (quebra simples) ou o DNA de um cromossomo pode ser separado em duas partes (quebra dupla na fita do DNA). Pode haver ligação entre as duas fitas do DNA (“crosslink”) quando um agente intercalante (sensibilizador) estiver presente. Neste caso, as fitas não podem mais se separar e a célula perde a capacidade de se dividir e pode até morrer em decorrência desta lesão. As bases que compõem a estrutura do DNA podem ser arrancadas ou quimicamente alteradas para vários derivados. As quebras duplas no DNA são mais complicadas para reparar e podem gerar cromossomos anormais ou até mesmo perdas de partes de cromossomos (DAFRA E MARIS, 2013, p.29).

A radiação ionizante favorece a quebra da cadeia do DNA dos microrganismos, com objetivos de eliminá-los ou torná-los incapazes de se reproduzir. Este processo está diretamente relacionado com a quantidade de dose recebida pelo objeto (DA SILVA et al., 2014, p.1627).

2.5 DOSES DE RADIAÇÃO E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

As radiações ionizantes, de acordo com TAUHATA et. al (2013, pg. 16), são produzidas em processos de ajustes que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas, ou pela interação das radiações ou partículas com o núcleo ou com o átomo. Como sabemos, a radiação pode ser descrita como um processo físico de emissão e propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas, possuem campo elétrico e campo magnético e se propagam tanto no ar como no vácuo.

A exposição à radiação ionizante pode causar danos à saúde e este risco se agrava com o aumento da taxa de exposição à radiação. Para isso temos um conjunto de medidas que tem por objetivo proteger o homem e o ambiente dos efeitos indesejados.

Não são todos os insetos que são suscetíveis de serem esterilizados utilizando a radiação ionizante, pois as doses de radiação variam muito de acordo com cada tipo de artrópode (filo na qual pertence o subfilo hexapoda, dos insetos) e também em qual fase do organismo a ser tratado, sendo a variação menor quando se trata de espécies do mesmo gênero (IMPERATO e RAGA, 2015 p. 4). **A dose de radiação** emitida é uma variável fundamental no processo de irradiação para garantir a qualidade e a competitividade dos insetos.

As doses de radiação ou o estudo da dosimetria busca medir, calcular e avaliar a dose de radiação que será absorvida em um corpo. Os estudos da dosimetria são de fundamental importância para manter a qualidade do que está sendo irradiado, assim como do responsável pelo procedimento de irradiação.

A relação entre a energia absorvida e a massa do volume de material atingido é a base da definição da grandeza “dose absorvida” (D), ou seja, para evitar variações na quantidade de energia absorvida em diferentes pontos do volume do material, temos a definição descrita pela equação (I):

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} , \quad (I)$$

onde $d\bar{E}$ representa a energia média depositada em um determinado ponto P, em um meio de massa dm . A unidade de medida de dose é o *rad* (dose absorvida de radiação), também utilizada pela conversão em Gray dada por: 100 rad = 1 Gy (TAUHATA et al., 2013, p. 151).

Para trabalhar com elementos radioativos é necessário seguir os protocolos de proteção radiológica que, de acordo com MAZZILLI et. al (2002, p.16)

[..] A principal finalidade da proteção radiológica é proteger os indivíduos, seus descendentes e a humanidade como um todo dos efeitos danosos das radiações ionizantes, permitindo, desta forma, as atividades que fazem uso das radiações.

Toda a exposição em excesso à radiação ionizante pode causar prejuízos à saúde, tendo efeitos imediatos ou a longo prazo. Nos efeitos imediatos em humanos, temos os causados nas células, podendo causar a morte ou danos à estas, assim como queimaduras, perda de cabelo ou infertilidade. Doses extremamente altas

acima de 50 Gy, podem causar a morte em poucos dias. Já nos efeitos tardios podemos citar doenças como leucemia e tumores sólidos. Para isso existem regulamentos sobre a quantidade de dose que um indivíduo, animal ou corpo pode receber, sem que este seja afetado (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991, p. 15).

Para os componentes da fauna e flora, estes organismos apresentam uma resistência diferente às radiações ionizantes. Em geral, quanto mais complexa for sua estrutura orgânica, estrutural e neurológica, menor é a sua resistência à radiação, pois como já vimos, quando a radiação ionizante incide sobre órgãos ou tecidos, podem provocar efeitos físicos, químicos e biológicos respectivamente (CARVALHO e OLIVEIRA, 2017, p.31). No Quadro 1, temos alguns dados da literatura sobre as doses de radiação para a classe dos insetos, estando divididos pela ordem e família, bem como as taxas de radiação, em níveis de dose em Gy, que compreendem cada ordem. De acordo com IMPERATO e RAGA (2015, p.4) as doses de radiação necessárias para induzir a esterilização variam entre os grupos de artrópodes e entre a fase do organismo que é tratado.

Quadro 1 - Lista de ordem e família de insetos submetidos à irradiação para obtenção de esterilidade.

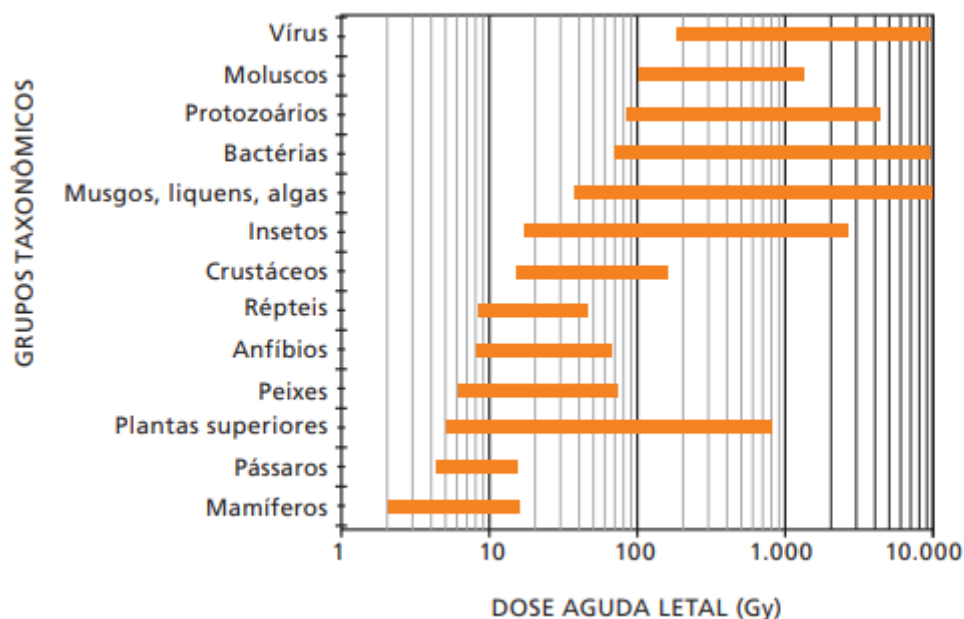
Ordem	Famílias (gênero, espécie)	Dose de esterilização (Gy)
Diptera	Agromyzidae; Anthomyiidae; Calliphoridae; Ceratopogonidae; Chloropidae; Culicidae; Cuterebridae; Drosophilidae; Glossinidae; Muscidae; Oestridae; Piophilidae; Psilidae; Sarcophagidae; Sciaridae; Tachinidae; Tephritidae.	20 a 200
Hemiptera	Aleyrodidae; Aphididae; Cicadellidae; Coccidae; Coreidae; Diaspididae; Delphacidae; Lygaeidae; Miridae; Pentatomidae; Pseudococcidae;	10 a 200

	Pyrrhocoridae; Reduviidae.	
Hymenoptera	Apidae; Braconidae; Eulophidae; Formicidae; Pteromalidae	80 a 100
Lepidoptera	Arctiidae; Bombycidae; Cossidae; Gelechiidae; Lymantriidae; Lyonetiidae; Noctuidae; Pieridae; Plutellidae; Pyralidae; Sphingidae; Tineidae; Thaumetopoeidae; Tortricidae, Yponomeutidae.	40 a 400
Orthoptera	Acrididae	4
Thysanoptera	Phlaeothripidae; Thripidae	100

Fonte: Baseado em: BAKRI, 2005, p.6 e ARAUJO, 2017, p.39-40

Na Figura 13, podemos observar as doses de radiação para os grupos taxonômicos, onde cada grupo apresenta doses diferentes, variando de espécie para espécie do mesmo grupo. O grupo taxonômico dos insetos apresenta doses letais que variam da ordem de 20 Gy a 1500 Gy, sendo que essa dose menor de 20 Gy já é considerada bastante alta e letal para os mamíferos. Observa-se que, quanto menos complexa é a estrutura molecular do ser vivo, maior é a taxa de dose letal a ser aplicada.

Figura 13- Dose letal de radiação para diversos organismos vivos.



Fonte:(Carvalho & Oliveira, 2017, p.32)

De acordo com MAZZILLI et al. (2002, p. 16) as pessoas podem se expor a radiação ionizante de duas maneiras. A primeira seria na situação normal, onde a fonte radioativa está controlada e a exposição pode ser limitada com o emprego de medidas necessárias; já a segunda forma seria a exposição anormal ou acidental, onde não se tem o controle sobre a fonte radioativa. Em virtude disso, alguns cuidados devem ser instruídos às pessoas que trabalham em locais com radiação para evitar a contaminação externa, como: A dosagem da radiação ionizante está diretamente relacionada com tempo de exposição à fonte; se um indivíduo precisa ser exposto à radiação, que esta exposição seja calculada para não acarretar em uma dosagem elevada. Outro fator muito importante é a distância da fonte até o indivíduo, uma vez que a dose de radiação recebida é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o indivíduo e a fonte, ou seja, quanto mais se afastar da fonte, menor será a dose de radiação recebida.

Para a proteção das pessoas e também para colimar os feixes de radiação ionizante, torna-se necessário o uso de blindagens das fontes radioativas. O uso de blindagem, de acordo com MAZZILLI (2002, p.28):

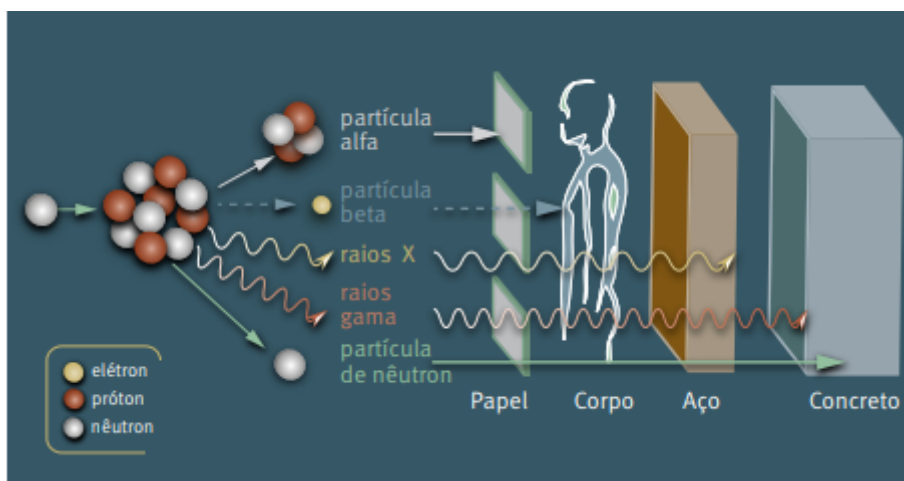
Denomina-se blindagem a todo sistema destinado a atenuar um campo de radiação por interposição de um meio material entre a fonte de radiação e as

pessoas ou objetos a proteger, sendo a blindagem o método mais importante de proteção contra a irradiação externa. (MAZZILLI 2002, p.28)

De acordo com TAUHATA et al. (2013, p.249), “Devido ao fato de fótons X e γ (gama) atravessarem o material absorvedor, sua redução é determinada pela energia da radiação, pela natureza do material absorvedor e a sua espessura”. Portanto, a radiação pode ocorrer na forma de partículas (alfa, beta, elétrons e nêutrons) ou como ondas eletromagnéticas (raios X e raios gama), cada uma com sua quantidade de energia característica. Com a diferença de energia e a diferença de penetração de cada partícula, temos diferentes efeitos na matéria viva. Por exemplo, partículas alfa são compostas de dois prótons carregados positivamente e dois nêutrons, portanto ela tem uma maior carga perante aos outros tipos de radiação, porém com esta carga acentuada, a partícula interage em maior quantidade com átomos que estão ao seu redor e como consequência, tem uma menor penetração nos materiais. Já as partículas beta possuem uma carga menor, interagem com menos partículas e portanto possuem um poder de penetração maior que as partículas alfa. Tanto os raios X como os raios gama são altamente penetrantes e podem atravessar materiais mais densos (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991, p.19).

Na Figura 14 temos uma ilustração do poder de penetração das radiações ionizantes. Podemos ver que a partir dos raios X, o poder de penetração em corpos é maior, sendo blindado por materiais como o aço. Já o raio gama é mais penetrante, sendo blindado por materiais mais densos, como o concreto e o chumbo.

Figura 14 - Poder de penetração dos diferentes tipos de radiação.



Fonte: (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991, p.9)

3. METODOLOGIA

Como já discutido no capítulo anterior, devido a utilização excessiva de agrotóxicos para o controle das pragas, acarretando no aumento da intoxicação humana, vegetal e do solo devido ao uso desses defensivos, o homem recorreu ao MIP (Manejo de Integrado de Pragas) para buscar o controle biológico dos insetos. Um dos tipos de controle que vem sendo utilizado em larga escala é o controle genético conhecido como Técnica do Inseto Estéril (TIE), onde insetos são capturados no campo e levados para laboratório.

Este trabalho propõe uma revisão bibliográfica baseada na pesquisa-ação, buscando estabelecer uma relação entre uma técnica e a solução de um problema coletivo (PRODANOV e FREITAS, 2013, p.126). Serão analisados trabalhos publicados na literatura que mostrem aplicações da radiação ionizante para combater os insetos-praga em determinadas culturas, preferencialmente para a região sul do Brasil, e que utilizem a técnica do inseto estéril (TIE).

Os dados serão abordados qualitativamente, com o intuito de coletar informações que descrevem a técnica de irradiação de insetos utilizando parâmetros físicos, biológicos e técnicos presentes na literatura. Após a coleta dos dados, será realizada uma comparação entre as informações obtidas das diferentes fontes, no formato de triangulação, com o intuito de tornar mais precisas as informações obtidas (PRODANOV e FREITAS, 2013, p. 70).

Como é um assunto que envolve conceitos e fenômenos biológicos, utilizaremos receituários técnicos disponibilizados pela Embrapa, os quais trazem muitas informações acerca da agricultura, sobre as pragas e estudos que estão em andamento. Usaremos também relatórios de pesquisa, livros, artigos científicos, monografias, dissertações, teses e plataformas de notícias online. Nestes documentos serão também analisadas referências de estudos já desenvolvidos na área, que embasaram as discussões acerca do problema proposto.

Nestes documentos serão analisadas as seguintes informações: levantamento dos insetos já estudados, bem como a dosagem da irradiação nos insetos, tempo de exposição à radiação, amostragem, aspectos biológicos da praga, cultura afetada, região geográfica analisada, equipamentos utilizados para esterilização, assim como a forma de análise e os resultados encontrados, fazendo observações diretas aos resultados contidos na plataforma Banco de dados

internacional sobre desinfestação e esterilização de insetos (IDIDAS/IAEA⁷). No Quadro 2 temos as palavras-chave utilizadas para pesquisa e também as plataformas online onde estas pesquisas foram realizadas.

Quadro 2 - Palavras-chave e plataformas de pesquisa utilizadas.

PALAVRAS-CHAVES UTILIZADAS	esterilização; insetos; irradiação; agricultura; TIE; Cultura; Sul do Brasil; Milho; Trigo; Soja; Frutas; sterilization; ionizing radiation; insects; <i>Dalbulus maidis</i> (deLong & Walcott)
Plataformas	Google Scholar Scielo Periódicos da Capes Embrapa UFPE CENA IDIDAS IAEA IPEN

Fonte: Elaborado pela autora.

Os critérios para a escolha da praga e cultura foram definidos levando em conta alguns aspectos como: Número de trabalhos já publicados sobre o tema para a região sul do Brasil e praga que está atingindo atualmente essas regiões agrícolas.

A coleta de dados será na forma de pesquisa bibliográfica, levando em consideração os principais insetos-praga que atingem as culturas citadas na Tabela 5. A escolha das culturas foi definida como as de maior extensão cultivar do sul do Brasil, de acordo com os dados da Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB) do estado do Paraná, Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural de Santa Catarina e Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do estado do Rio Grande do Sul, do ano de 2018

⁷ O Banco de Dados Internacional sobre Desinfestação e Esterilização de Insetos (IDIDAS) fornece informações sobre as doses de radiação aplicadas para esses fins a ácaros e insetos-praga de lavouras e importância veterinária e humana. Inclui dados sobre as doses necessárias para a irradiação fitossanitária (desinfestação) de produtos frescos e duráveis infestados com pragas específicas, e também as doses de radiação usadas para induzir a esterilidade (esterilização) em pragas alvo para a aplicação da técnica de inseto estéril, herdada esterilidade e controle biológico como parte de programas de manejo integrado de pragas em toda a área. As informações sobre irradiação fitossanitária e doses de esterilização, quando disponíveis, são apresentadas juntas para cada espécie de praga. IDIDAS inclui as informações mais completas disponíveis sobre os principais grupos de pragas de insetos

a 2020. Na Tabela 5, encontram-se as culturas com maior extensão cultivada no estado do Paraná no ano de 2018.

Tabela 5- Dados de área e produção agrícola dos principais cultivares do Paraná.

Cultura	Área (ha)	Produção (t)
Soja	5.437.646	19.190.473
Milho	2.440.145	12.066.669
Trigo	1.101.991	2.808.553
Feijão	406.569	608.024

Fonte: Baseado em SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SEAB), 2019.

Em levantamento realizado em plataformas online de notícias como Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), que emitiu um alerta fitossanitário a uma praga denominada de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) popularmente conhecida como cigarrinha do milho, noticiou que nas últimas décadas trouxe grandes prejuízos a produtores de milho e é a principal espécie transmissora dos agentes etiológicos das doenças conhecidas, como o enfezamento e a virose da risca, provocando, indiretamente, altas perdas na produção do milho cultivado em várias regiões tropicais da América Latina (HRUSKA e PERALTA, 1997 apud ZURITA V. et al, 2000, p. 348). Com base nessas informações, surgiu a ideia de propor um projeto de aplicação da TIE a este inseto-praga, o qual será descrito no capítulo 5.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado um levantamento bibliográfico sobre os insetos-praga que atingem as culturas de soja, milho, feijão e trigo no sul do Brasil, quais são possíveis de esterilizar utilizando a radiação ionizante e a Técnica do Inseto Estéril e por fim, comparar os resultados encontrados com os dados padrão, disponibilizados pelo IDIDAS/IAEA.

4.1 PRAGAS QUE ATINGEM A AGRICULTURA DO SUL BRASILEIRO.

Uma grande parcela da economia da região Sul do Brasil é movimentada pela produção agrícola de grãos como soja, milho, trigo e feijão, sendo um dos grandes desafios aos agricultores o controle de pragas que atingem estas plantações. Em um levantamento bibliográfico realizado nos documentos publicados por órgãos de informação agrícola, constatou-se que os insetos são os que mais causam prejuízos a estas culturas. Também foram analisados nas referências do IDIDAS quais eram os insetos suscetíveis a esterilização por radiação ionizante e as doses necessárias para aplicar o método de esterilização TIE. As informações contidas no IDIDAS estão separadas por espécies de pragas e, neste acervo bibliográfico, encontram-se as informações mais completas disponíveis sobre as principais pragas, de insetos e ácaros, suscetíveis à radioesterilização. Porém não está especificado diretamente qual a fonte de radiação, tempo de exposição e taxa de radiação utilizada. No Quadro 3, temos o levantamento dos insetos-praga que atingem a agricultura no sul do Brasil nos anos 2000 a 2020, bem como a cultura e região atingida.

Quadro 3 : Levantamento de insetos-praga que mais causaram prejuízos à agricultura no Sul do Brasil de 2000 a 2020.

Inseto	Cultura	Região
<i>Anticarsia gemmatalis</i> (Hübner, 1818) (Lep.: Noctuidae)	Soja	Sul do País
<i>Pseudoplusia includens</i> (Walker, 1858)(Lep.: Noctuidae)	Soja	Sul do Maranhão e eventualmente Região Sul do Rio Grande do Sul.
<i>Aracanthus mourei</i> (Rosado Neto, 1981) (Parra e Omoto, 2004) (Col.: Curculionidae)	Soja	Estados do Paraná e do Mato Grosso do Sul.
<i>Diabrotica speciosa</i> (Germar, 1824)(Col.: Chrysomelidae)	Legumes, frutas, milho, soja, feijão	Oeste e Sudoeste do Paraná.
<i>Cerotoma arcuata</i> (Oliv. 1791) <i>tingomariana</i> (Col.: Chrysomelidae)	Milho, soja e feijão	Oeste e Sudoeste do Paraná
<i>Nezara viridula</i> (Linnaeus, 1758) (Hem.: Pentatomidae)	Soja	Sul do Brasil.
<i>Piezodorus guildinii</i> (Westwood, 1837)(Hem.: Pentatomidae)	Soja	Sul, Norte e Nordeste do País.

<i>Euschistus heros</i> (Fabricius, 1798)(Hem.: Pentatomidae)	Soja	Do Norte do Paraná ao Centro Oeste do Brasil.
<i>Maruca testulalis</i> (Fabricius, 1787)(Lep.: Pyralidae)	Soja	Centro-oeste do Paraná, no sul e oeste de São Paulo e do Mato Grosso
<i>Sternechus subsignatus</i> (Boheman) (Col.: Curculionidae)	Feijão e soja	Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul
<i>Epinotia aporema</i> (Walsingham, 1914) (Lep.: Tortricidae)	Soja	Regiões sul e sudoeste do Paraná, e os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul
<i>Spodoptera frugiperda</i> (G.E. Smith, 1797) (Lep.: Noctuidae)	Arroz, milho, feijão, soja, trigo, legumes e verduras.	Em todo Brasil.
<i>Dichelops furcatus</i> (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Heteroptera)	Milho e trigo	Sul do Brasil
<i>Dalbulus maidis</i> (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae)	Milho	Sul do Brasil
<i>Helicoverpa zea</i> (Boddie, 1850) (Lep.: Noctuidae)	Legumes, verduras, frutas, milho, soja e trigo.	Sul do Brasil
<i>Diatraea saccharalis</i> (Fabricius, 1074) (Lep.:	Milho, soja e trigo	Sul do Brasil

Diatraea)		
<i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch, 1856) (Hem.:Aphididae)	Milho	Sul do Brasil
<i>Frankliniella williamsi</i> Hood (Hood JD, 1915)	Milho	Sul do Brasil
<i>Elasmopalpus lignosellus</i> (Zeller, 1848) (Lep.:Pyralidae)	Soja, milho, feijão e trigo	Sul do Brasil
<i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius, 1889) (Hem.: Aleyrodidae)	Feijão e soja	Sul do Brasil
<i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner, 1805) (Lep.: Noctudae)	Legumes, verduras, frutas, milho, soja e trigo.	Sul do Brasil

Fonte: Baseado em Campo et al. 2000; Canal Rural, 2018; Barros, 2012; Blog da Aegro sobre gestão no campo e tecnologias agrícolas 2020. Acesso: 05 agosto 2021

As culturas supracitadas estão sujeitas ao ataque de diferentes pragas desde a germinação, colheita, armazenamento e depois de processados; podem interferir desde a formação das vagens ao enchimento dos grãos, assim como na conservação dos alimentos. O crescimento populacional destas pragas muitas vezes são controladas por predadores naturais e fatores climáticos, porém quando o crescimento populacional torna-se incontrolável na forma natural, então é acionado o MIP, para a análise do caso e aplicação de métodos de controle.

Na Tabela 6, temos os principais insetos-praga que atingem as culturas do sul do Brasil e que são listados no documento do IDIDAS, com dados de dose padronizados de acordo com a fase de desenvolvimento do inseto, para a esterilização com a TIE.

Tabela 6- Insetos que atingem a agricultura do sul do Brasil que possuem dados de esterilização.

Inseto	Fase de desenvolvimento	Dose de tratamento (Gy)	Esterilidade induzida
<i>Nezara Viridula</i> (Linnaeus, 1758)	OVO	48 horas de idade: 0, 10, 20 Gy	95,01%; 85,51% ;81,6% nascimento
	NINFA	Ninfa de 5° instar ⁸ : 5 Gy	53,8 - 77,6% de fertilidade do ovo 56,2 - 62,8% de emergência de larvas
		Ninfa de 4° instar < 10 Gy	esterilidade F1 parcial
		Macho de 5° instar: 16 Gy; 20 e 24 Gy	98,14% de esterilidade; 100% de esterilidade respectivamente (machos irradiados x fêmeas unirradiadas)
		Fêmeas de 5° instar : 28 Gy	Esterilidade 100% induzida do ovo (irradiado feminino x masculino não irradiado)
		5° instar machos e fêmeas	100% de esterilidade do ovo (irrad masculino x irrad feminino)

⁸ INSTAR: (1) Cada uma das etapas dos estágios larvais, cada instar está delimitado pelo período de duas mudas; (2) o número de ínstaras larvais é fixo na maioria das espécies; (3) estágio.

		:16, 20, and 24 Gy	
	ADULTO	Machos e fêmeas : 50 Gy	100%
<i>Spodoptera frugiperda</i> (G.E. Smith, 1797)	Pupa	Fêmeas de 5 dias de idade: 100 - 125 Gy	46% - 85% de esterilidade P ⁹ ; 83% - 90% de esterilidade F1
		Macho 5 dias de idade: 100- 125 Gy	53% - 90% de esterilidade; 92% - 96% de esterilidade F1
	Adulto	Machos recém-emergidos (<24 h de idade): 150 Gy	Esterilidade F1.
<i>Helicoverpa zea</i> (Boddie, 1850)	Larva	L5 de 3-4 dias: 60 Gy	aberração cromossômica em larvas F1
	Adulto	Machos recém-emergido com 12 dias de idade: 100 Gy (nitrogênio)	58% P-esterilidade 80% F1-esterilidade
		Machos recém-emergidos (<24 h	F1- Esterilizado.

⁹ Os parâmetros P e F1- São descritos a partir da 1° lei de Mendel, no qual a geração P refere-se à geração parental, ou seja, os progenitores puros. Já a F1 refere-se à geração entre cruzamentos de insetos da geração P.

		de idade): 150 Gy	
<i>Diatraea saccharalis</i> (Fabricius, 1074)	Pupa	Macho, 6 dias de idade: 100 Gy	55% P- esterilidade 82% F1- esterilidade
		Machos com 5-6 dias de idade: 200 Gy	74% P-esterilidade 99,8% F1-esterilidade
		Machos com 6 dias de idade: 150 Gy	79% P-esterilidade 98,8% F1-esterilidade
	Adulto	Machos 12h após emrg .: 100 Gy	59% P-esterilidade 88% F1-esterilidade
		Machos 12h após a emergência: 150 Gy	77% P-esterilidade 94% F1- esterilização
<i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius, 1889)	Adulto	Macho: 80 Gy	98 % esterilidade
		Fêmeas :70 Gy	100% esterilidade
<i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner, 1805) (Lep.: Noctuidae)	Pupa	Pupa:100-150 Gy	40% -60% de esterilidade P; 92% - 97% de esterilidade F1

		Pupa: 200 Gy	63% P-esterilidade; 100 % de esterilidade F1
	Adulto	Raio gama: 100 Gy (masculino)	Esterilidade F1 (equilíbrio entre esterilidade induzida de machos e sua competitividade em campo)

Fonte: IDIDAS

No levantamento realizado no Quadro 3 e complementado na Tabela 6, que traz as pragas que mais causam prejuízos econômicos à agricultura brasileira e são plausíveis de esterilização, verificou-se poucas espécies com dados de doses de esterilização. A seguir serão apresentados alguns trabalhos encontrados na literatura que discutem a esterilização de alguns insetos brasileiros que causam danos às lavouras.

O primeiro trabalho brasileiro sobre esterilização de insetos foi desenvolvido por GALLO (1960), no qual irradiou *Ceratitidis capitata* (Mosca-das-frutas) e *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1074) (broca da cana-de-açúcar), utilizando como fonte de radiação gama uma fonte de berílio, porém não obteve êxito (ARTHUR 2018, p.25-26).

Estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2021), analisa as gônadas masculinas¹⁰ da *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), popularmente conhecida como vaquinha; é uma importante praga da América Latina que apresenta impacto nas culturas de milho, soja e feijão, causando desfolhamentos. Como habitualmente é controlada com a utilização de fertilizantes agrícolas visando o manejo sem causar impactos ambientais, a alternativa escolhida foi utilizar radiação ionizante no processo de esterilização. A metodologia de pesquisa consistiu em dividir os insetos em três grupos com 3 ou 4 indivíduos cada, onde:

Machos adultos de *Diabrotica speciosa* foram divididos em 3 grupos experimentais: Grupo I – Controle (C): não irradiados (n=5); Grupo II – Experimental (E), o qual foi subdividido em dois subgrupos: E-70Kv – 6 sessões de radiação X intensidade 70Kv por 0,10 segundos a 10mA e E-80Kv – 6 sessões de radiação ionizante X, intensidade 80Kv por 0,10 segundos a 10 mA (n=5). (OLIVEIRA et al. 2021, p. 36489)

Após irradiar as gônadas da *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), Oliveira et al. (2021) concluiu que tanto os insetos que receberam doses de controle como os grupos que receberam radiação X nas doses de 70 Kv e 80 Kv, não sofreram nenhuma anormalidade em relação a quantidade ou alterações nas estruturas das células gaméticas. As doses utilizadas no trabalho não induziram a esterilização dos insetos.

¹⁰ Gônadas: São os órgãos responsáveis pela produção das células sexuais necessárias para a reprodução.

No Quadro 4 temos a análise de dois trabalhos que verificaram o comportamento da *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), quando submetida a radiação ionizante. Esta praga afetou regiões do estado do Paraná.

Quadro 4- Esterilização da *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824).

Artigo	Fonte de radiação ionizante
Histologia das gônadas masculinas de adultos de <i>Diabrotica speciosa</i> submetidas à Radiação X. OLIVEIRA et al. (2021)	Equipamento de Raio X, marca Dabi Atlante Seletronic, Spectro 70X pertencente ao Centro Radiológico do Departamento de Odontologia (UEPG), nas doses de 70 kV e 80 kV.
Esterilização de machos de <i>Diabrotica speciosa</i> (Coleptera: Chrysomelidae) com irradiação gama visando o controle em culturas de importância econômica. ARAUJO (2017)	Fonte de Cobalto- 60, do tipo Gammacell 220 da Atomic Energy of Canadá Ltda, com taxa de dose de 0,808 KGy/hora e atividade de 3.534,13 x 10 ¹⁰ Bq

Fonte: Autora.

O trabalho desenvolvido por ARAUJO (2017), busca analisar a dose de radiação necessária para esterilização de 100% dos insetos da espécie *Diabrotica speciosa*. A metodologia da pesquisa detalha que:

Os adultos recém-emergidos da criação comercial foram sexados e após o terceiro dia os machos foram irradiados em doses crescentes de radiação gama: 0 (controle), 25,50,75,100 Gy, totalizando 20 repetições por dose. Os casais foram então individualizados em pequenas gaiolas (copos de 400 mL) de plástico transparente. O topo dessa gaiola possui uma pequena abertura circular vedada com tecido voil, para permitir aeração. Os casais foram alimentados com folíolos de feijoeiro mantido em pequeno vidro com água. Dentro de cada gaiola foi colocado um recipiente plástico medindo 3 cm de diâmetro por 1 cm de altura, contendo no seu interior gaze umedecida de cor preta, utilizado como substrato de oviposição (ARAUJO, 2017, p. 42).

Como objetivo desta mesma referência, se analisou o consumo foliar dos casais de machos estéreis e fêmeas nativas, determinou a longevidade dos machos estéreis e avaliou as diferenças das gônadas masculinas estéreis e férteis; estes

insetos são provenientes de uma biofábrica do município de Engenheiro Coelho/SP. Na Tabela 7 temos os dados referentes à média da fecundidade (número de ovos/fêmea) e viabilidade de larvas provenientes dos casais com machos submetidos à radiação gama.

Tabela 7- Média da fecundidade (número de ovos/fêmea) e viabilidade de larvas após irradiação de machos *Diabrotica speciosa*

Dose (Gy)	Soma total de ovos	Fecundidade (n° ovos)	Viabilidade	(%) Adultos
Controle	2107	104,3 a	75,3 a	57,3
25	4911	225,3 a	35,9 ab	51,7
50	4766	231,6 a	25,7 ab	53,3
75	4522	224,1 a	0,3 b	0
100	4703	235,1 a	0 b	0
C.V. (%)		13,6	19,7	

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância.

CV: coeficiente de variação

Fonte: (ARAUJO, 2017, p. 49)

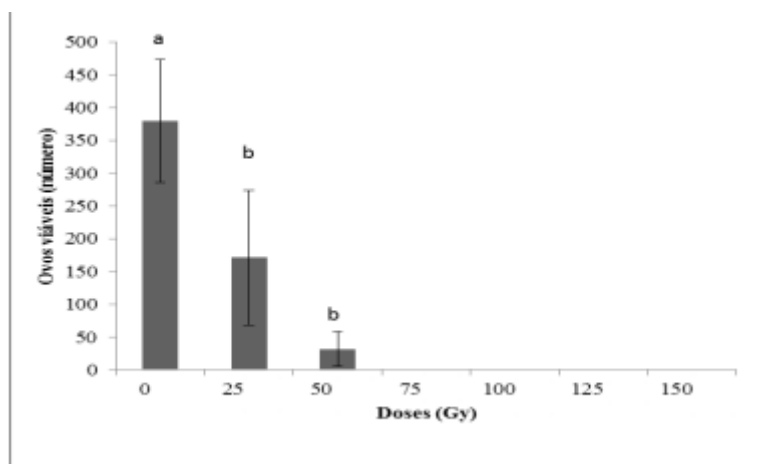
Nesta tabela temos os valores médios de fertilidade obtidos entre machos da espécie *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) irradiados com diferentes doses, verificando-se que, quando cruzados com fêmeas férteis, a esterilização ocorreu a uma dose de 75 Gy. Portanto, a fertilidade diminui com o aumento da dose de radiação. Os resultados apresentados por ARAUJO (2017) divergem dos estudos realizados por BRASON et al. (1978), o qual analisou outros besouros da família Chrysomelidae¹¹ pertencentes ao gênero diabrotica, onde os machos adultos expostos à dose de radiação gama entre 7 e 35 Gy, com taxa de 8 Gy/h, um dia após a imersão se mostraram estéreis. Porém, está de acordo com os parâmetros analisados pelo Quadro 1, que mostra um levantamento das doses de radiações para as ordens e as famílias de insetos, de acordo com os dados da IDIDAS, feita por BAKRI et al. (2005, p. 6). Nesta tabela verifica-se que a taxa de dosagem para a ordem de insetos *Coleoptera* varia entre aproximadamente 15 a 245 Gy, e para a família das *Chrysomelidae*, está entre aproximadamente 20 a 110 Gy. A

¹¹ Chrysomelidae; Família de besouros, na qual o gênero Diabroticas faz parte.

longevidade mostrou-se dependente da dose de radiação que foi aplicada, pois para doses de radiação entre 75 Gy e 100 Gy, a sobrevivência ficou entre 12,5 a 13,5 dias respectivamente, enquanto para doses de 50 Gy, não causou esterilidade nos insetos e estes viveram 17,4 dias. Foi possível observar uma desordem no tecido testicular e diversas lacunas entre as células germinativas, em doses 75 Gy e 100 Gy; quanto ao consumo alimentar, casais de insetos nativos durante o período de 24 horas, consumiram 66,2% da área foliar disponibilizados, enquanto os casais com machos irradiados consumiram 42,9% da área foliar.

Estudos feitos por HADDAD (2017), utilizando como fonte de radiação gama o Cobalto-60, tinham como objetivo determinar as doses de radiação esterilizantes para os insetos *Heliothis virescens* (Fabricius, 1777) e *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805), bem como avaliar a esterilidade da geração P e a capacidade de competição dos insetos irradiados, que atacam culturas como milho, soja, feijão, trigo e algodão. Os insetos utilizados eram provenientes de uma criação em laboratório, para os testes foram utilizadas 200 amostras para cada repetição, sendo que foram feitas quatro repetições por dose de radiação e as doses foram: 0 (controle), 25, 50, 75, 100, 125 e 150 Gy. As conclusões mostraram que a dose aplicada na fase adulta foi de 350 Gy e na fase de pupa de 75 Gy para *Heliothis Virescens* (Fabricius, 1777) e de 400 Gy para adulto e 100 Gy para pupa, para a *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805). Para as duas espécies após a irradiação, ambas mostraram-se em perfeitas condições para o acasalamento. Na Figura 15 temos um gráfico que expressa a viabilidade dos ovos da *Helicoverpa armigera* (Hübner,1805), e nos diz que a partir de 75 Gy não houve mais ovos viáveis.

Figura 15- Viabilidade dos ovos de *Helicoverpa armigera*, irradiados com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60.



Fonte: HADDAD, 2017, p. 48

O comparativo dos resultados para a *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805) estão na Tabela 5, onde a referência do IDIDAS aponta que na esterilização utilizando 100 Gy, há equilíbrio entre esterilidade induzida de machos e sua competitividade em campo, ou seja, doses acima de 100 Gy afetam a competitividade de acasalamento do inseto, o que não é ideal para a TIE.

A partir do ano de 1994 foram realizadas pesquisas sobre irradiação de pupas de *Spodoptera frugiperda* (G.E. Smith, 1797), também conhecida como lagarta-do-cartucho, as quais causaram prejuízos às lavouras na região de Piracicaba, São Paulo. As lagartas foram capturadas e acondicionadas em laboratório para iniciar a criação em massa; as pupas obtidas foram separadas, sexadas e irradiadas com 5 dias de idade. A fonte de radiação foi o Cobalto-60, do tipo Gammabeam-650, a uma taxa de 2,12 kGy/hora, com doses crescentes de radiação: 0 (test.), 50, 100, 125, 150, 175 e 200 Gy. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8, na qual adultos irradiados eram cruzados com adultos normais (Mi x Fn) (Mn X Fi)¹² (ARTHUR et al. 2002).

¹² Mi- Macho Irradiado; Fn- Fêmea normal; Mn- Macho normal; Fi- Fêmea irradiada.

Tabela 8 - Média da longevidade, número de ovos e porcentagem de viabilidade de adultos de *S.frugiperda* irradiados na fase de pupa com doses crescentes de radiação gama do Cobalto-60 .

Doses/Gy		Longevidade		Número	%
		machos	fêmeas	ovos	viabilidade
0	Mn x Fn	8,6ab	9,0b	4148	97,0
	Mi x Fn	10,0a	-	6076	86,0
50	Fi x Mn	-	7,6b	5458	77,0
	Mi x Fn	10,6a	-	4378	72,0
100	Fi x Mn	-	8,0b	2610	4,9
	Mi x Fn	7,2ab	-	5026	7,0
125	Fi x Mn	-	5,8c	894	0,0
	Mi x Fn	7,4ab	-	4676	10,0
150	Fi x Mn	-	12,0a	1084	0,0
	Mi x Fn	8,8ab	-	3252	6,0
175	Fi x Mn	-	9,0b	0	0,0
	Mi x Fn	6,8cb	-	3046	0,0
200	Fi x Mn	-	8,6b	0	0,0

Números com letras iguais não diferem entre si em nível de 5% (Tukey).

C.V. 3,45% para machos e para fêmeas 4,35%.

Fonte: (ARTHUR et al. 2002, p. 76)

Os resultados encontrados por ARTHUR et al. (2002) mostraram que a dose que causou esterilização aos insetos foi de 125 Gy e 200 Gy, para fêmeas e machos respectivamente, caracterizando assim que os machos possuem uma maior radioresistência. Comparando esses dados com a Tabela 6, onde estão os padrões sobre esterilização da *Spodoptera frugiperda* (G.E. Smith, 1797) conforme o IDIDAS, aponta que insetos machos irradiados com 5 dias de vida estão em uma faixa de 92 a 96% de esterilização a uma dose de 100-125 Gy, enquanto a esterilidade 100% é alcançada com doses de 200 Gy, para gerações F1 adulto. Portanto os resultados encontrados por ARTHUR et al (2002), estão de acordo com as doses estabelecidas pelo IDIDAS.

Na Tabela 9, encontra-se a comparação entre os dados dos artigos e os dados do IDIDAS.

Tabela 9- Comparação de dados da literatura com o IDIDAS.

Inseto-praga	Fase de desenvolvimento	Doses de esterilização encontradas na literatura.	Dose de esterilização de acordo com IDIDAS
<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Pupas</i>	Machos: 200Gy Fêmeas: 125 Gy	Machos: 100-125 Gy; Geração P: 53% - 90% de esterilização. Geração F1: 92- 96% de esterilização. Fêmeas: 100-125 Gy: Geração P: 46-85 % de esterilização. Geração F1: 83-90% de esterilização.
<i>Helicoverpa armigera</i>	Pupa	100 Gy	100- 150 Gy- geração F1: 92-97% de esterilidade. 200 Gy- 100% esterilidade.
	Adulto	400 Gy	100 Gy- na geração F1- A um equilíbrio entre a esterilização e competitividade.

Fonte: Autora.

Os resultados encontrados para os insetos mencionados na Tabela 9 estão parcialmente em desacordo com as doses referenciadas pelo IDIDAS. No caso da *Spodoptera frugiperda* (G.E. Smith, 1797), para a irradiação de machos visando a esterilização, a dose utilizada encontra-se quase o dobro acima do valor referenciado pelo IDIDAS; já para a fêmea, o valor encontra-se de acordo com o limite superior estabelecido. Para a *Helicoverpa Armigera*, na fase pupa a dose encontrada ficou de acordo com as doses de referência do IDIDAS e, na fase adulta,

mostrou que a dose aplicada foi quatro vezes maior que a recomendada pelo IDIDAS, a qual mantém o equilíbrio entre esterilização e competitividade.

A análise dos dados teve como base a metodologia da triangulação, conforme citada na metodologia. Partindo desse princípio, inicialmente foram pesquisadas as fontes bibliográficas tendo como principal critério a busca dos insetos-praga que mais foram citados como agentes causadores de prejuízos às lavouras na região sul do Brasil. Como segundo critério, buscaram-se dados sobre doses de radiação para posterior comparação com as referências do IDIDAS. Em seguida, na revisão bibliográfica, foram feitas as análises das referências sobre esterilização dos insetos utilizando radiação ionizante e finalmente estes dados foram analisados de acordo com as doses padrão indicadas pelo IDIDAS.

5. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA TIE NO SUDOESTE DO PARANÁ.

Entre os grãos mais cultivados no Paraná temos o milho, o qual representa 37% da produção agrícola e que abastece o mercado nacional e internacional. A partir da safra 2018/2019, se começou a observar prejuízos decorrentes do complexo de enfezamento, que consiste na ocorrência de doenças causadas por bactérias da classe mollicutes, que infectam a planta de forma sistemática e são transmitidas pela *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (*Homoptera: Cicadellidae*). Esta praga tem grande potencial de dispersão e pode adquirir e inocular patógenos com apenas algumas horas de alimentação no milho, podendo provocar a quebra de até 100% da produtividade (ADAPAR, 2021).

A produção agrícola do sudoeste do Paraná é responsável pela movimentação da economia local, a agricultura familiar é o principal modelo de estabelecimentos agropecuários da região. Agricultura familiar é caracterizada por propriedades com até quatro módulos fiscais de terra, mão de obra de produção da própria família e com fonte de renda primária os produtos produzidos na propriedade. De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2006, na região sudoeste as culturas mais produzidas eram o milho e feijão, somando 82% do total de grãos produzidos na região. O milho tem grande importância econômica para a região, pois é utilizado na alimentação humana e é destinado também às atividades

pecuárias, visto que a produção animal é uma das principais atividades desenvolvidas na região Sudoeste. (VEDANA e MORAES, 2018)

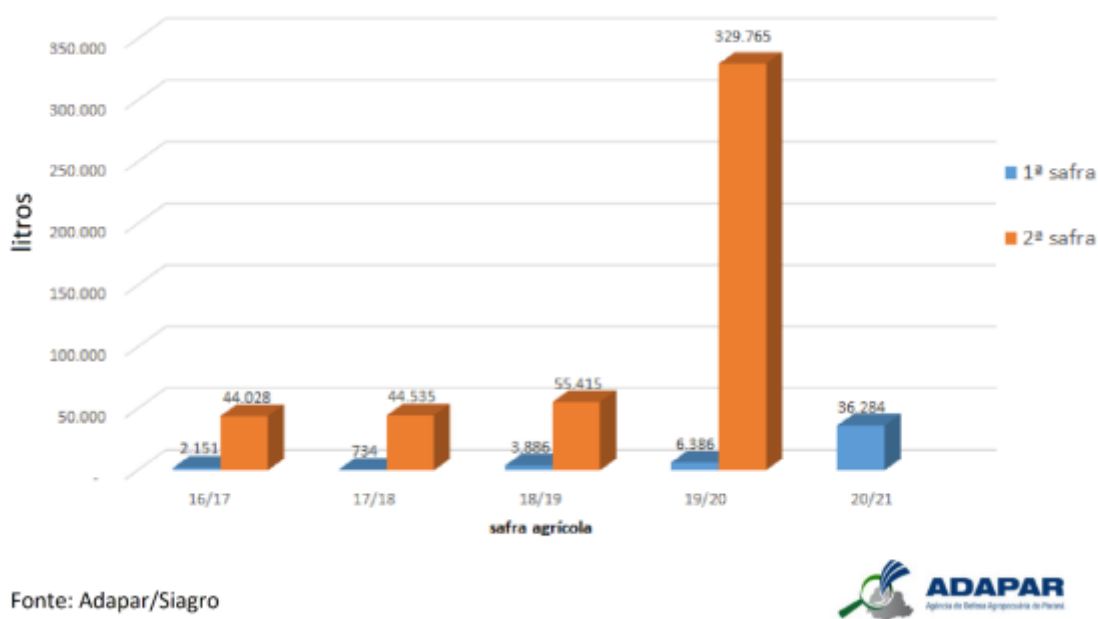
Na safra 2020/2021 as lavouras do estado do Paraná, principalmente na região sudoeste, sofreram perdas consideráveis com o ataque deste inseto-praga *Dalbulus maidis*, denominado popularmente como cigarrinha-do-milho, que atingiu 70% das lavouras da região e acarretando em uma quebra da produção em 22% (AMSOP, 2021). De acordo CNA (2019), desde 2019 o estado do Paraná sofre com o ataque deste inseto que se esconde no cartucho da planta, inoculando agentes que causam doenças denominadas de enfezamentos. Portanto, o *Dalbulus maidis* é um vetor transmissor de doenças ao milho, que prejudicam o desenvolvimento da espiga, enchimento dos grãos, favorece o apodrecimento do colmo e por fim o tombamento da planta.

A partir das safras paranaenses 2018/2019 observou-se um crescimento da utilização de inseticidas especialmente para o alvo, *Dalbulus maidis*, o que evidencia a presença massiva do inseto nas lavouras. No entanto, mesmo com aplicações repetidas de inseticidas, não verificou-se efeitos satisfatórios. A ADAPAR (2021) lançou uma nota técnica a respeito dos desafios do complexo de enfezamento do milho no Paraná, referente a safra 2020/2021, e pontuou o insucesso das aplicações de inseticidas como:

Isso deve-se ao fato de que as infestações das cigarrinhas ocorrem em fluxos espaçados, e que as pulverizações podem reduzir as populações, mas não conseguem impedir a transmissão das doenças. Portanto, é bastante questionável o uso excessivo de inseticidas para o controle do complexo de enfezamento (ADAPAR, 2021).

A Figura 16 mostra o gráfico com a quantidade de inseticidas utilizados nas últimas safras para o combate do *Dalbulus maidis*.

Figura 16 - Gráfico da quantidade de inseticidas utilizados no controle de *Dalbulus maidis* na cultura do milho no Estado do Paraná.



Fonte: ADAPAR (2021)

5.1- CARACTERÍSTICAS *DALBULUS MAIDIS*(*DE LONG & WOLCOTT*)

Dalbulus maidis, é um pequeno inseto com cerca de 3,7 a 4,3 mm e possui coloração amarelo-palha, pertence a ordem dos Hemípteros e a família da Cicadellidae, subfamília Deltocephalinae, tribo: macrostelini, gênero: *Dalbulus* e espécie: *maidis* (DE OLIVEIRA, 1996, p. 18), como mostrado na Figura 17. A biologia deste inseto é afetada sensivelmente pela temperatura; características próprias desse inseto são a existência de espinhos nas tíbias posteriores e as peças bucais que são do tipo picador-sugador utilizado para sugar a seiva da planta. É considerada uma das pragas de maior importância para a cultura do milho da América Latina, sendo o principal agente transmissor do vírus da risca do milho (Maize rayado fino virus, MRFV), e os mollicutes associados ao enfezamento do milho *Spiroplasma kunkelii* Whitcomb et al. (“corn stunt spiroplasma”, e fitoplasma (“maize bushy stunt phytoplasma”, MBSP).

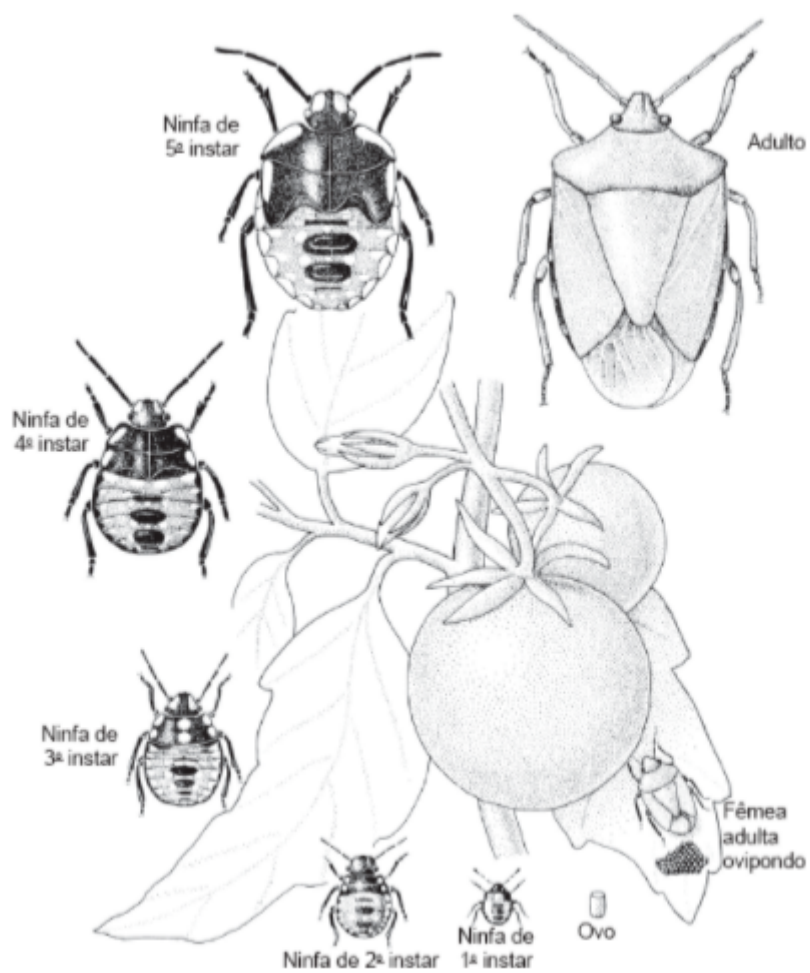
Figura 17- *Dalbulus maidis*.



Fonte: Schneider, 2017 apud Pinto, 2021, p.16

Estes insetos são hemimetábolos, ou seja, possuem uma metamorfose incompleta, possibilitando que desde insetos imaturos até adultos ocupem o mesmo habitat, enquanto os insetos holometábolos tem a possibilidade de seu desenvolvimento ocorrer em outros habitat. A Figura 18 mostra o desenvolvimento dos hemimetábolos e na Tabela 10, apresenta as fases do desenvolvimento do inseto *Dalbulus maidis* e qual a duração de cada fase.

Figura 18 - Desenvolvimento de insetos hemimetábolos.



Fonte: GULLAN, 2017, p.117

Tabela 10 - Dados biológicos do *Dalbulus maidis*.

Fase de desenvolvimento	Duração	Temperatura	Alimentação
Embrionário	8 dias	23,4 °C	
Ninfas	Entre 2 e 3 dias.	Só a eclosão de ninfas com temperatura acima de 20°C.	Se alimentam da ceifa e dificilmente abandonam o local de alimentação.
Machos adultos	16,3 dias	Varia com a temperatura	Alimentam-se preferencialmente de cartuchos de milho.
Fêmeas adultas	42,1 dias	Varia com a temperatura	
Pré-oviposição	8,5 dias	<20°C	
Oviposição	29,6 dias	<20°C	

Fonte: Baseado em WAQUIL et al., 1999.

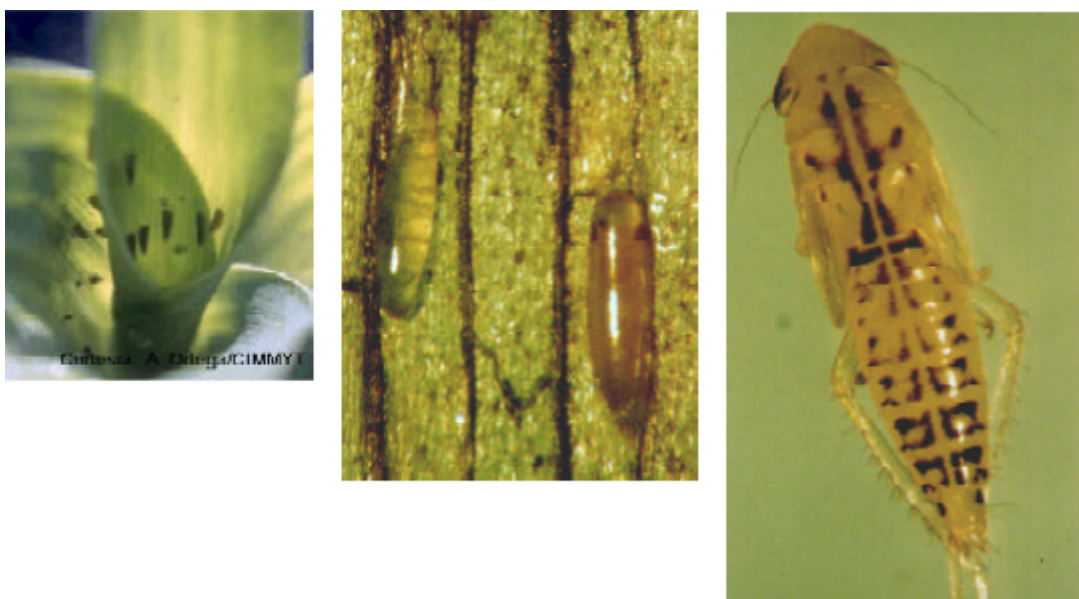
De acordo com WAQUIL et al. (2004, p.2) (b)

As fêmeas colocam seus ovos, através de seu ovipositor, dentro do tecido da nervura central das folhas - postura endofítica. Abaixo de 20°C, não há eclosão de ninfas; entretanto, esses ovos permanecem viáveis. Sob condições favoráveis, a eclosão das ninfas se dá em nove dias e essas levam 15 dias para completar seu desenvolvimento, com a emergência dos adultos. As fêmeas depositam cerca de 14 ovos/dia, podendo colocar 611 ovos durante os seus 45 dias de vida. Entre 26 e 32°C, o seu ciclo biológico completa-se em 24 dias (WAQUIL et al., 2004, p.2)(b).

A grande maioria dos insetos tem reprodução sexuada, como as cigarrinhas, na qual têm vida curta, onde deve haver uma sincronização entre ciclo de vida, comportamento e condições reprodutivas. Em insetos-praga o aumento populacional é muito rápido, proveniente de espaço de tempo muito curto, alta fecundidade e sincronicidade da população ao ambiente (GULLAN, 2017).

O conjunto de hospedeiros da *Dalbulus maidis* é limitado ao gênero *Zea* e ocasionalmente é encontrado em plantas de gênero próximo, principalmente em regiões neotropicais¹³. Entre os meses de março e abril, a densidade populacional deste inseto pode ultrapassar 10 adultos/planta (WAQUIL et. al., 2004). Na Figura 19 temos imagens do *Dalbulus maidis* no milho, para três fases de desenvolvimento.

¹³ Região geográfica que compreende a América Central, incluindo parte sul do México e da península da Baja Califórnia, o sul da Flórida, todas as ilhas do Caribe e a América do Sul.

Figura 19 - Estágio de desenvolvimento *Dalbulus maidis*

Fonte: Baseado em WAQUIL,2004.

5.2 PROPOSTA PARA ESTERILIZAÇÃO *DALBULUS MAIDIS*.

Como uma aplicação da técnica TIE na região sudoeste do Paraná, propõe-se a utilização de um laboratório da UFFS para acondicionar uma pequena biofábrica de insetos. Inicialmente será escolhida uma lavoura de milho da região, a qual se tenha a permissão do proprietário para se realizar a pesquisa, e que esteja infestada pelo *Dalbulus maidis*. Será realizada uma análise populacional, considerando a área da lavoura plantada e, de acordo com uma estatística apropriada, propor uma sub-área a ser analisada. Esta sub-área deverá ser demarcada para estudos. Desta sub-área deverão ser verificadas e contadas quantas cigarrinhas existem em cada planta, para posterior análise da efetividade da técnica.

Após essa etapa serão coletadas uma quantidade X de insetos machos e Y de insetos fêmeas nativos da região de interesse, sendo essas quantidades estabelecidas por estatísticas a serem estudadas. Estes insetos serão acomodados em gaiolas, envoltas com tecido de voil e separadas machos e fêmeas. Este

ambiente deve ter temperatura e luminosidade controlada e os insetos alimentados com uma dieta específica, o mais parecida possível com a alimentação do habitat natural. WAQUIL et al. (1999), em sua criação massal de *Dalbulus maidis*, utilizou pedaços de folhas de milho ao invés de plântulas intactas para alimentar os insetos; os pés de milho foram plantados em vasos plásticos com 0,5 kg de solo peneirado e adubado, cada vaso cultivava três plantas e que com o passar do seu desenvolvimento, foi deixado somente uma planta. Na Figura 20, temos um protótipo de gaiola para os insetos.

Figura 20 - Protótipo de uma gaiola para insetos.



Fonte: GOOGLE.

Em dias seguintes, estes insetos (machos e fêmeas) serão soltos na sub-área demarcada, mas que deverá estar isolada com uma tela fina, tipo mosquiteiro, de forma que as fêmeas possam depositar os ovos nas plantas de milho nesta região.

Como vimos na Figura 18, temos sete etapas de desenvolvimento em insetos hemimetábolos. A ideia inicial é, após coletar os ovos, dividi-los em sete grupos, onde cada grupo será irradiado em uma fase diferente, começando com os ovos. De acordo com o Quadro 1, temos que para a ordem de insetos Hemípteros, a dose de radiação para esterilização varia de 10 a 200 Gy. Suponhamos separar grupos de ovos, como 400 insetos/ovos por grupo. Estes 400 insetos/ovos serão divididos em 4 grupos de 100 insetos/ovos, que receberão doses de radiação de 25 Gy, 75 Gy, 125

Gy e 200 Gy, respectivamente, ou seja, cada grupo receberá uma dosagem diferente de radiação visando a esterilização, em tempos a serem calculados para a adequada exposição.

Para a irradiação pretende-se utilizar o equipamento de raios X do SUHVU - hospital veterinário do campus Realeza/UFGS, o qual possui de 40 a 125 Kv de capacidade energética. Um trabalho semelhante com raios X foi desenvolvido na UEPG, como descrito no trabalho de OLIVEIRA et al. (2021), no qual obteve êxito ao analisar efeitos nas gônadas de *Diabrotica speciosa*, após submetidos a irradiação.

Após irradiados, cada grupo de inseto será colocado em uma gaiola revestida de voil, recebendo a dieta prescrita. Quando chegarem à fase adulta, nestas gaiolas serão adicionados insetos nativos para o acasalamento. Após o acasalamento será possível analisar o resultado obtido para cada grupo irradiado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o levantamento de insetos-praga que atingem as culturas de soja, milho, feijão e trigo, do sul do Brasil, vinte e um insetos foram analisados como causadores de prejuízos aos agricultores. Na literatura, foram encontrados quatro trabalhos que debatem a esterilização de três destes insetos-praga que são: *Diabrotica speciosa*, *Helicoverpa armigera* e *Spodoptera frugiperda* utilizando a radiação ionizante como agente esterilizador. Os resultados encontrados são satisfatórios, uma vez que as doses utilizadas alcançaram o propósito de esterilização. Porém, destes vinte e um insetos-praga, somente dois possuem doses regulamentadas pelo IDIDAS, cujos dados finais encontram-se na tabela 9. Desta maneira, se evidenciou que é possível controlar insetos-praga a partir da Técnica do Inseto Estéril (TIE), utilizando como esterilizante a radiação ionizante proveniente de Cobalto-60 ou Raio X.

Estes resultados foram obtidos por meio triangulação de dados proposta por PRODANOV e FREITAS (2003, p. 70), resultados da análise e comparação de trabalhos de pesquisa com os dados disponíveis no Banco de Dados sobre Desinfecção e Esterilização (IDIDAS).

Nos trabalhos analisados, grande parte foi realizada em Piracicaba - SP e utilizando como fonte de radiação o Cobalto-60. Um estudo feito no estado do Paraná, especificamente em Ponta Grossa, foi o único que utilizou como fonte de radiação o raio X. Este trabalho obteve êxito ao analisar gônadas de machos da *Diabrotica speciosa*, que após submetidos a doses de radiação, não houve modificações nas estruturas gaméticas do inseto.

Ao final da pesquisa, foi possível analisar e comparar os dados encontrados na literatura de dois insetos-praga, *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera*, duas pragas que atingem as culturas de milho, soja, feijão, trigo, verduras e legumes. Estes dois insetos-praga pertencem à mesma ordem Lepidoptera e família Noctuidae e características biológicas parecidas, como reprodução sexuada, aumento populacional rápido e com desenvolvimento completo, holometábolo, com fases de: ovo, lagarta, pupa e ninfa.

As doses de radiação encontradas nos trabalhos analisados, quando comparados com as informações do Quadro 1, para a ordem de insetos Lepidoptera, devem estar entre 40 e 400 Gy. Nos trabalhos foram encontrados resultados dentro dos parâmetros do Quadro 1, porém com doses maiores que o recomendado pelo IDIDAS, para cada fase do desenvolvimento.

Ao final do trabalho foi proposto um projeto de continuidade de pesquisa, com intuito de buscar uma solução para os problemas encontrados com a *Dalbulus maidis*, que aflige as lavouras de milho não somente da região sudoeste do estado do Paraná, mas de toda a região sul e outras áreas do país. Como os defensivos agrícolas já não surtem mais o efeito esperado, com a aplicação da TIE, utilizando como fonte esterilizadora o Raio X, pretende-se buscar um meio alternativo de controle para este inseto-praga.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR. (2021). **Desafios do complexo de enfezamento do milho no Paraná, safra de 2020/2021** [NOTA TÉCNICA CONJUNTA IDR-PARANÁ E ADAPAR]. Curitiba, PR. Retrieved setembro 01, 2021, from https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-02/nota_tecnica_desafios_do_complexo_de_enfezamento_do_milho_0.pdf
- AMSOP. (2021). **Cigarrinha do milho atinge 70% das lavouras do Sudoeste e problema é debatido na Amsop**. Francisco Beltrão, PR. Acesso: 01 setembro 2021, from: <https://amsop.com.br/noticia/619>
- ARAUJO, M.M. **Esterilização de machos de *Diabrotica speciosa* (Coleoptera:Chrysomelidae) com irradiação gama visando o controle em culturas de importância econômica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP. 2017, São Paulo, p. 79. Acesso: 01 Agosto 2021.
- ARTHUR, PAULA BERGAMIN. **Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases de vida do *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae)**. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear). *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, São Paulo, IPEN/CNEN/SP, 2018, p. 76, <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso: 16 agosto 2021.
- ARTHUR, V., et al. **Esterilização De Adultos De Spodoptera Frugiperda A Partir De Pupas Irradiadas**. *Arq. Inst. Biol*, vol. 69, no. 2, 2002, pp. 75-77. Acesso: 13 agosto 2021.
- Abdeljelil, et al. **Fifty Years of Radiation Biology in Entomology: Lessons Learned from IDIDAS**. *Ann. Entomol. Soc. Am*, vol. 98, no. 1, 2005, pp. 1-12. Acesso: 11 Agosto 2021.
- BARROS, RICARDO. **Pragas do Milho Safrinha**. *Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno 2012*, Fundação MS, 2012, <https://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/166/166/newarchive-166.pdf>. Acesso: 09 Agosto 2021.
- BLOG DA AEGRO SOBRE GESTÃO NO CAMPO E TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS. **Veja como identificar as principais pragas do feijão**. 2020, <https://blog.aegro.com.br/pragas-do-feijao/>. Acesso: 09 Agosto 2021.
- BRAIBANTE, M. E. F., & ZAPPE, J. A. (Fev. 2012). **A Química dos Agrotóxicos**. *Química e sociedade*, 34(1), 10-15.
- BRASON, T. F; GUSS, P. L; JACKSON, J. L **Sterilizing male western corn rootworms with gamma radiation (Coleoptera: Chrysomelidae)**. *Journal of the Kansas Entomological Society* , p.270- 273, 1978.
- CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. (Ed.). **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 279 p. 13-51.

CAMPO, CLARA B. H., et al. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. circular Técnico/Embrapa Soja. 2000, Disponível em : <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128003/1/ID-6173.pdf>>. Acesso em: 05 Agosto 2021.

CANAL RURAL, director. **Conheça as 5 pragas que mais atingem o milho no Brasil**. 27 Março 2018. Acesso em: 09 Agosto 2021.

CARVALHO, Miguel Mundstock Xavier de; NODARI, Eunice Sueli; NODARI, Rubens Onofre. **“Defensivos” ou “agrotóxicos”?** História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.24, n.1, jan.-mar. 2017, p.75-91.

CARVALHO, R. P. D., & OLIVEIRA, S. M. V. D. (2017). **Aplicações da energia nuclear na saúde**. Livro eletrônico.

CASSAL et al. (2014). **Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública**. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria* *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET*, 18(1), 437-445.

CNA. (2021). **Cigarrinha do milho ameaça segunda safra no Paraná** [Reportagem]. Retrieved setembro 01, 2021, from <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/cigarrinha-do-milho-ameaca-segunda-safra-no-parana>

COSTA, L. F., & PIRES, G. L. D. P. (2016). **Análise histórica sobre a agricultura e o advento do uso de agrotóxicos no Brasil**. *Toledo Prudente Centro universitário*, 1(1), 17.

DA SILVA, R. C., DA SILVA, M. R., & AQUINO, K. A. S. (2014, Dezembro). **A Interação da Radiação Gama com a Matéria no Processo de Esterilização**. *Revista virtual de Química*, 6(6), 1624- 1641.

DAFRE, A. L., & MARIS, A. F. (2013). **EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES** (1° ed.). Publicação online.

DE OLIVEIRA, C. M. (1996). **Variação morfológica entre população de Dalbulus maidis (DeLONG & WOLCOTT,1923)(HEMIPTERA: CICADELLIDAE) de algumas localidade do Brasil**. *TESES USP*, 1-83. Disponível em:< <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-20191218-110014/publico/OliveiraCharlesMartins.pdf>> Acesso em : 09 setembro 2021.

EMBRAPA. (Agosto de 2010). Normas gerais sobre o uso de agrotóxicos.

ESCOLA EDUCAÇÃO. **Metamorfose dos animais**. *Escola Educação*, 2021, Disponível em: <<https://escolaeducacao.com.br/metamorfose-dos-animais/>>. Acesso: 22 junho 2021.

GABOARDI, S. C., CANDIOTTO, L. Z. P., & RAMOS, L. M. (2019, JAN). **Perfil do Uso de Agrotóxicos no Sudoeste do Paraná (2011-2016)**. *NERA*, 46(22), 13-40.

GOMES, L. (NOVEMBRO de 2020). **Brasil é o país que mais consome agrotóxicos no mundo**. Disponível em SUL21: Disponível em : <<https://sul21.com.br/noticias/geral/2020/11/brasil-e-o-pais-que-mais-consome-agrot-oxicos-no-mundo/>>. Acesso: 10 de setembro de 2021.

GOMES, M. A. F., & BARIZON, R. R. M. (2014). **Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: cenário 1992/2011** (1st ed.) [Documentos/ Embrapa Meio Ambiente;98]. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/987245/1/Doc98.pdf>> Acesso em : 20 jul 2021

GULLAN, P. J. **Insetos : fundamentos da entomologia**. 5. Rio de Janeiro Guanabara Koogan 2017 1 recurso online ISBN 9788527731188.

HADDAD, GIANNI QUEIROZ. **Perspectiva de utilização da técnica do inseto estéril para lagarta da maçã *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) e lagarta do velho mundo *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do algodoeiro como um método alternativo de controle**. Tese(Doutorado- Programa de Pós- Graduação em Ciências. Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no ambiente). 2017, Piracicaba, SP. Acesso: 01 agosto 2021.

IBAMA –**Relatório de comercialização de agrotóxicos**. Brasília, 2016.

IDIDAS. (s.d.). Skip Navigation LinksInternational Database on Insect Disinfestation and Sterilization (IDIDAS) .Disponível em IAEA/NAIPC- Nuclear Application for Insects Pest Control: <[https://nucleus-new.iaea.org/sites/naipc/ididas/SitePages/International%20Databas e%20on%20Insect%20Disinfestation%20and%20Sterilization%20\(IDIDAS\).aspx](https://nucleus-new.iaea.org/sites/naipc/ididas/SitePages/International%20Databas e%20on%20Insect%20Disinfestation%20and%20Sterilization%20(IDIDAS).aspx)> Acesso em : 13 set. 2021.

IMPERATO, R., & RAGA, A. (2015, Outubro). **Técnica do Inseto Estéril (18th ed.)** [Documento Técnico]. APTA.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. (2019). **PESQUISA MENSAL DE PREVISÃO E ACOMPANHAMENTO DAS SAFRAS AGRÍCOLAS NO ANO CIVIL**. IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201904/25164639-lspa-pesquisa-mensal-de-previsao-e-acompanhamento-fevereiro-2019.pdf>

LIMA, KÁRITAS FARIAS ALVES. **Avaliação biológica de machos esterilizados por radiação gama, para utilização em programas de controle populacional de *aedes aegypti* (diptera: culicidae)**. *Fundação Oswaldo Cruz*, 2015. Acesso em : 22 junho 2021.

MAZZILLI, B. P et al. (2002). Noções Básicas de Proteção Radiológica. IPEN

NETO, M. d. L. F., & SARCINELLI, P. d. N. (2009). **Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição o processo de atualização da legislação brasileira.** *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online], 14(1), 69-78. <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000100008>>.

NOUAILHETAS, Y. (2015). *Radiações Ionizantes e a vida* [Apostila educativa]. CNEN.

OKUNO, E. (2018). *RADIAÇÃO EFEITOS, RISCOS E BENEFÍCIOS*. OFICINA DE TEXTO.

OLIVEIRA, MARCIA REGINA PAES DE, et al. **Adult male gonads histology from *Diabrotica speciosa* submitted to X radiation.** *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, no. 4, 2021, pp. 36486- 35494. Accessed Agosto 2021.

PACHECO, MAYLEN G., et al. **Os efeitos da alimentação de machos de *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera:Tephritidae), linhagem transgênica OX3864A na sobrevivência e suas implicações na Técnica do Inseto Estéril.**Resumo. *14° Simpósio de controle Biológico*, 2015, Teresópolis, RJ. Acesso em : 01 Agosto 2021.

PARANHOS, B. A. J. (2005). **Técnica do Inseto Estéril E Controle Biológico: Métodos Ambientalmente Seguros E Eficazes No Combate Às Moscas-Das-Frutas.** I Simpósio de Manga do Vale do São Francisco, 1-11.

PERES, F., e MOREIRA, JC., orgs. **É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. 384 p. ISBN 85-7541-031-8. Available from SciELO Books . Available from SciELO Books.

PINTO, M. R. (2021). **CIGARRINHA-DO-MILHO (*Dalbulus maidis*) E O COMPLEXO DOS ENFEZAMENTOS: CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO, DISSEMINAÇÃO E CONTROLE** [Trabalho Final de Graduação]. ARARAS, SP. Retrieved setembro 01, 2021, Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13756/TFG%20Murilo%20Pinto%20Final%202022-01-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> . Acesso em: 01 setembro 2021.

PRODANOV, C. C., & FREITAS, E. C. D. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico* (2nd ed.). FEEVALE.

RIGOTTO, RAQUEL MARIA, VASCONCELOS, DAYSE PAIXÃO E E ROCHA, MAYARA MELO. **Pesticide use in Brazil and problems for public health.** *Cadernos de Saúde Pública* [online]. 2014, v. 30, n. 7 , pp. 1360-1362. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-311XPE020714>>. ISSN 1678-4464. <https://doi.org/10.1590/0102-311XPE020714>. Acesso : 10 setembro 2021.

RIBAS, P. P., & MATSUMURA, A. T. S. (jul/dez 2009). **A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente.** *Liberato*, 10(14), 149-158.

RODRIGUES, G. S. (2003). Agrotóxicos e contaminação ambiental no Brasil. In *Métodos Alternativos de Controle Fitossanitário* (1st ed., pp. 217-265). EMBRAPA MEIO AMBIENTE. Disponível em : <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164175/1/Campanhola-Metodos.pdf>>

SANTOS, B. (2013). A origem e a importância dos insetos como praga das plantas cultivadas. 1-13.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. (2021, AGOSTO 31). A Secretaria *da Agricultura emite alerta fitossanitário para a cigarrinha do milho.* Disponível em: <<https://www.estado.rs.gov.br/secretaria-da-agricultura-emite-alerta-fitossanitario-para-cigarrinha-do-milho>>. Acesso: 31 agosto 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SEAB). (2019, Outubro). *Levantamento da Produção Agropecuária.* Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-10/cprbr.xls> Acesso em: 12 agosto 2021.

SENAR Santa Catarina. “Quais são as principais pragas na cultura do trigo?” SENAR, 2020, <http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/13486>. Acesso em 09 Agosto 2021.

SENGE- PR. (2019). *Paraná é o 2o maior consumidor de agrotóxicos do país.* Disponível em : <<http://www.senge-pr.org.br/noticia/parana-e-o-2o-maior-consumidor-de-agrotoxicos-do-pais/>> Acesso em : 05 julho 2021.

SILVA, Elaine Crisitna Souza da, et al. “**RADIOTERAPIA VERSUS RADIOSENSIBILIDADE INDIVIDUAL.**” *Ciências biológicas e da saúde*, vol. 1, no. 3, 2014, pp. 111-117. periodicos.set.edu.br. Acesso em: 24 Junho 2021.

SOUZA, CAROLINE RODRIGUES DE, et al. “**Biologia da Reprodução de algumas ordens de insetos.**” 2013, pp. 1-262. Disponível em : <https://www.academia.edu/download/33224280/Biologia_da_Reproducao_de_alguas_ordens_de_insetos.pdf>. Acesso em: 22 junho 2021.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., & DI PRINZIO, M. A.R.R. (2013). *Radioproteção E Dosimetria: Fundamentos* (9th ed.). IRD/CNEN.

TAUHATA, L., SALATI, I., DI PRINZIO, R., & DI PRINZIO, A. R. (2014). Efeitos Biológicos Da Radiação. In *RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA: FUNDAMENTOS* (pp. 108- 144). Edição online.

TAUIL, P. L. 2006. **Perspectivas de controle de doenças transmitidas por vetores no Brasil**. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 39(3): 275-277

TSAI, D. (2006). **Aplicação da radiação por feixe de elétrons como agente esterilizante de microrganismos em substrato turfoso**. *INSTITUTO DE PESQUISA ENERGÉTICAS E NUCLEARES*, 1-119.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (Ed.). (1991). *Radiação Efeitos E Fontes*. UNEP.

VEDANA, R., & MORAES, M. L. (2018). **Family farming in the southwest region of Parana: characterization based on**. *Brazilian Journal of Development*, 4(5), 2408-2432.

WAQUIL, J. M. (2004). Cigarrinha-do-milho: vetor de mollicutes e vírus [Circular Técnico]. In *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. EMBRAPA. Disponível em : <<https://www.embrapa.br/documents/1344498/2767891/cigarrinha-do-milho-vetor-de-mollicutes-e-virus.pdf/17d847e1-e4f1-4000-9d4f-7b7a0c720fd0>> Acesso em : 01 setembro 2021.

WAQUIL, J. M., VIANA, P. A., CRUZ, I., & SANTOS, J. P. (1999). Aspectos da Biologia da Cigarrinha-do-Milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae). *An. Soc. Entomol. Brasil*, 28(3), 413 -421. Disponível em : <<https://www.scielo.br/j/aseb/a/5gmpWKRrPWz6xTHDTtZwFQt/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 01 setembro 2021.

ZARBIN, P. H. G., RODRIGUES, M. A.C. M., & LIMA, E. R. (2009). **Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil**. *Química Nova*, 32(3), 722-731. Disponível em : <<https://www.scielo.br/j/qn/a/BNfcLDYbZYBF3Vt48zQR5Qw/?lang=pt&format=pdf>> Acesso em: 01 junho 2021.

ZURITA V., Y. A., ANJOS, N. D., & WAQUIL, J. M. (jun. 2000). **Aspectos biológicos de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) em Híbridos de Milho (*Zea mays* L.)**. *An. Soc. Entomol. Bras.*, 29(2), 347-352.