

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE  
CAMPUS DE CASCAVEL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**IRRADIAÇÃO COM UV-C PARA CONTROLE DE *Sitophilus sp* E AFLATOXINA EM  
GRÃOS DE MILHO ARMAZENADOS**

**JOELSON GRACIANO FELICIANO**

**CASCAVEL – PARANÁ - BRASIL  
2023**

**JOELSON GRACIANO FELICIANO**

**IRRADIAÇÃO COM UV-C PARA CONTROLE DE *Sitophilus sp* E AFLATOXINA EM  
GRÃOS DE MILHO ARMAZENADOS**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Renata Machado Coelho

**CASCADEL – PARANÁ – BRASIL**

**2023**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Graciano Feliciano, Joelson  
IRRADIAÇÃO COM UV-C PARA CONTROLE DE Sitophilus sp E  
AFLATOXINA EM GRÃOS DE MILHO ARMAZENADOS / Joelson Graciano  
Feliciano; orientadora Silvia Renata Machado Coelho. --  
Cascavel, 2023.  
48 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências  
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, 2023.

1. Radiação ultravioleta . 2. Zea mays . 3. Pós-Colheita .  
4. Micotoxinas. I. Renata Machado Coelho, Silvia , orient.  
II. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Reitoria  
CNPJ 78.680.337/0001-84  
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário  
Tel.: (45) 3220-3000 - Fax: (45) 3225-4590 - www.unioeste.br  
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701  
Cascavel - PARANÁ



## **JOELSON GRACIANO FELICIANO**

### **RADIAÇÃO COM UV-C PARA CONTROLE DE Sitophilus sp E AFLATOXINA EM GRÃOS DE MILHO ARMAZENADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Tecnologias de Produção Vegetal e Pós-colheita, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** SILVIA RENATA MACHADO COELHO  
Data: 10/07/2023 15:03:04-0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Orientador(a) - Sílvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

**CLAIR APARECIDA**  
**VIECELLI:03654417914**

Assinado de forma digital por CLAIR APARECIDA VIECELLI:03654417914  
Data: 2023.06.13 17:09:17 -03'00'

Clair Aparecida Viecelli

Dedetizadora Brio Limp Ltda.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** DIVAIR CHRIST  
Data: 10/07/2023 14:52:06-0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 13 de junho de 2023.

## BIOGRAFIA

Joelson Graciano Feliciano, filho de Edyl Barboza Graciano e Jordilina Feliciano Alves Graciano, nasceu em Três Lagoas, Estado do Mato Grosso do Sul, em 1 de março de 1984. Em dezembro de 2001 concluiu o ensino médio no Colégio Objetivo, Três Lagoas - MS.

Iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – UEMS, na cidade de Aquidauana – MS, cursando os dois primeiros anos e não concluindo o curso no ano 2004. Com a busca de uma nova opção profissional começou o curso técnico de Cozinheiro Profissional na Escola SENAC, na cidade de Maringá – PR, concluído em 2004. Em fevereiro de 2005, ingressou no curso de Tecnólogo em Gastronomia na Universidade Cesumar – UNICESUMAR, na cidade de Maringá – PR, graduando-se em fevereiro de 2007, no mesmo ano ingressou no curso de Pós-Graduação Gestão em Gastronomia na mesma universidade, concluído em 2008. Trabalhou durante alguns anos em empresas no ramo da alimentação e em 2011 passou no processo seletivo para professor universitário do curso de Gastronomia do Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL, onde também exerceu as funções de coordenador de pós graduação do mesmo curso e coordenador dos laboratórios de aulas práticas de gastronomia, permaneceu nas funções profissionais acadêmicas até o mês de fevereiro ano de 2021. Em fevereiro de 2015 iniciou o curso de Engenharia Agrônômica no Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL, graduando-se em fevereiro de 2020. No mês de março de 2021 ingressou no Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE em nível de Mestrado, no Programa de Mestrado e Doutorado Acadêmico para a Inovação – MAI-DAI do CNPq.

Um momento especial, um marco em minha jornada acadêmica que não poderia ser alcançado sem o amor, apoio e orientação incansável de vocês. Por isso, gostaria de dedicar este mestrado a vocês meus pais Edyl e Jordilina, meus eternos exemplos de dedicação, perseverança e amor incondicional.

Desde o início, vocês foram meus pilares, me incentivando a explorar meu potencial, nutrindo minha curiosidade e me encorajando a buscar conhecimento. Vocês sempre acreditaram em mim, mesmo quando eu duvidava das minhas próprias capacidades, e me mostraram que não há obstáculo intransponível quando se tem determinação e confiança.

Cada conquista alcançada nesta trajetória foi também uma vitória de vocês, pois compartilhamos os desafios e as vitórias como uma família unida. Vocês me ensinaram o valor do trabalho árduo, da perseverança e do comprometimento, e sou grato por ter tido os melhores professores ao meu lado, dentro e fora da sala de aula.

Hoje, sinto-me profundamente honrado. Sei que vocês estão orgulhosos de mim, assim como eu tenho orgulho de chamar vocês de meus pais. Cada passo dado neste caminho foi guiado pela luz do amor e pelo exemplo que vocês sempre foram para mim.

Esta conquista é tão de vocês quanto é minha. Obrigado por serem a força motriz por trás dos meus sonhos, por me encorajarem a voar alto e por acreditarem em mim quando eu tinha incertezas. Sem vocês, eu não seria quem sou hoje.

Recebam, portanto, está dedicatória como uma expressão sincera do meu amor e gratidão. Vocês são as âncoras da minha vida, os guias da minha jornada e os pilares da minha felicidade. Que esta conquista seja apenas o começo de muitos momentos de alegria e sucesso que compartilharemos juntos.

Com amor e gratidão,

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus aos Amigos Guardiões e aos Anjos de Luz, por tornarem meus objetivos passíveis de serem realizados e por me darem suporte nesta caminhada;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE; Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícola - LACON, por tornar possível a realização desta pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento recebido, por meio da Chamada Pública 12/2020 do CNPq – Acadêmico Programa de Mestrado em Inovação (MAI), concedendo a bolsa e o auxílio financeiro que permitiram a dedicação ao desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço à empresa parceira Plantar Comércio de Insumos LTDA., envolvida na execução deste projeto de interação universidade & empresa, pelo conhecimento prático repassado;

À minha família Graciano Feliciano, pelo apoio, amor, me dando forças sempre para continuar em busca do melhor, e por estar comigo em todos os momentos;

À minha orientadora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, por toda a paciência, os ensinamentos e por acreditar no meu potencial para a realização deste trabalho;

Aos alunos de iniciação científica e graduação, Mateus Reisdorfer, Guilherme Jorge, Luiz Vaz e Stefani Reginato que além de me ajudar nesta pesquisa, nas atividades de laboratório, atividades em campo, foram fundamentais para que ele tomasse forma;

Aos amigos e aos profissionais da área, durante todo o processo de pesquisa;

Ao meu super parceiro e amigo dessa jornada Igor S. Shiraishi. Por me ouvir e me dar forças para seguir em frente;

Enfim, obrigado a todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho, e em mais uma etapa em minha vida.

Muito obrigado!

FELICIANO, Joelson Graciano. **Irradiação com UV-C para controle de *Sitophilus sp* e aflatoxina em grãos de milho armazenados.** Orientador: Silvia Renata Machado Coelho. 2023. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2023.

## RESUMO

O milho (*Zea mays*) é um dos principais grãos utilizados na dieta humana e na produção de ração animal, por ser fonte de proteínas e carboidratos. O controle das pragas e patógenos que atacam o grão armazenado, como gorgulhos e fungos, visa a minimizar as perdas pós-colheita, levando ao uso de agentes de controle químico tradicionais, muitas vezes de forma indiscriminada, resultando em danos ao meio ambiente e à saúde humana. Uma forma alternativa em potencial de controle das pragas nos silos é a irradiação de luz ultravioleta, em comprimentos de onda entre 100 e 280 nm, faixa conhecida como UV-C, que possui alto poder desinfetante e ação germicida. No entanto, os estudos sobre a sua utilização no controle de pragas em grãos armazenados ainda são incipientes. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficácia da radiação UV-C no controle de gorgulhos e fungos em grãos de milho, bem como otimizar o tempo de exposição e a intensidade da radiação, sem prejudicar a qualidade do alimento. Na primeira etapa deste trabalho foi avaliada irradiação da luz UV-C (254 nm) em etapa única de exposição, por durações de 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas, com contagem dos insetos vivos e mortos a cada 14 dias, por um período total de 126 dias. Cada unidade amostral continha, inicialmente, 20 gorgulhos acondicionados em 200 g de grãos de milho. Na segunda etapa, foi empregada metodologia semelhante, mas com períodos de exposição intermitentes de 0, 15 e 30 minutos de irradiação, a cada intervalo de 15 dias, por um período total de 120 dias, seguida de uma investigação na concentração de aflatoxinas e características físicas dos grãos. Os resultados observados na primeira etapa apontaram que a exposição única à radiação não se mostrou efetiva no controle dos insetos. Já na segunda etapa, com irradiação intermitente, observou-se redução significativa (até 50%) do número de gorgulhos vivos ao final do período de estudo, quando comparados às amostras que não sofreram irradiação. A redução não apresentou diferença estatística entre exposições de 15 ou 30 minutos. A determinação na concentração de aflatoxinas demonstrou efeitos significativos positivos à qualidade do grão, de forma que o contaminante foi reduzido a níveis indetectáveis na maioria dos ensaios, influenciados de forma mais notável pela profundidade da camada dos grãos. Finalmente, foi indicado o local considerado ideal para aplicação da radiação em uma unidade de recebimento e armazenamento de grãos, considerando os resultados obtidos nesse estudo e as características das estruturas que compõem a unidade. A aplicação da luz UV-C mostrou-se promissora no controle de insetos e contaminantes fúngicos, sendo que aplicações intermitentes de curta duração foram suficientes para reduzir a população inicial de gorgulhos e a concentração de aflatoxinas. Os resultados justificam a importância da continuidade do trabalho, com a implementação de protótipo no local indicado e avaliações do método em escala real.

**Palavras-chave:** Radiação Ultravioleta; *Zea mays*; Pós-colheita; Micotoxinas, Protótipo.

FELICIANO, Joelson Graciano. **UV-C irradiation to control *Sitophilus sp* and aflatoxin in stored maize grains**. Advisor: Silvia Renata Machado Coelho. 2023. 48 f. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Western Paraná State University, Cascavel, 2023.

## **UV-C IRRADIATION FOR CONTROL OF *SITOPHILUS SP* AND AFLATOXIN IN STORED CORN GRAINS**

### **ABSTRACT**

Corn (*Zea mays*) is one of the main grains used in human diet and animal feed production due to its protein and carbohydrate content. Controlling pests and pathogens that attack stored grains, such as weevils and fungi, aims to minimize post-harvest losses, often leading to the use of traditional chemical control agents, which are frequently applied indiscriminately, resulting in environmental and human health damage. An alternative potential method for pest control in silos is ultraviolet light irradiation, in the wavelength range of 100 to 280 nm, known as UV-C, which possesses high disinfecting and germicidal properties. However, studies on its use for pest control in stored grains are still limited. Thus, the present study aimed to evaluate the effectiveness of UV-C radiation in controlling weevils and fungi in corn grains, as well as optimize the exposure time and radiation intensity, without compromising food quality. In the first stage of this research, the UV-C light irradiation (254 nm) was evaluated in a single exposure stage for durations of 0, 1, 2, 3, 4, 5, and 6 hours, with live and dead insect counts conducted every 14 days over a total period of 126 days. Each sample unit initially contained 20 weevils placed in 200 grams of corn grains. In the second stage, a similar methodology was employed, but with intermittent exposure periods of 0, 15, and 30 minutes of irradiation every 15 days over a total period of 120 days, followed by an investigation of aflatoxin concentration and physical characteristics of the grains. The results from the first stage indicated that a single exposure to radiation was not effective in controlling the insects. However, in the second stage, with intermittent irradiation, a significant reduction (up to 50%) in the number of live weevils was observed at the end of the study period, when compared to samples that did not undergo irradiation. The reduction showed no statistical difference between 15 and 30-minute exposure periods. The determination of aflatoxin concentration showed significant positive effects on grain quality, as the contaminant was reduced to undetectable levels in most assays, with the depth of the grain layer notably influencing this reduction. Finally, the ideal location for applying radiation in a grain receiving and storage facility was indicated, considering the results obtained in this study and the characteristics of the structures comprising the unit. The application of UV-C light showed promising results in the control of insects and fungal contaminants, with short intermittent applications being sufficient to reduce the initial population of weevils and aflatoxin concentration. The results justify the importance of continuing the work, including the implementation of a prototype in the indicated location and evaluations of the method on a larger scale.

**Keywords:** Ultraviolet radiation; *Zea mays*; Post-harvest; Mycotoxins; Prototype.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivos gerais .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1 Aspectos gerais da produção de milho no país .....	4
3.2 Armazenamento de grãos .....	5
3.2.1 Características gerais .....	5
3.2.2 Perdas em grãos armazenados.....	6
3.3 Pragas e microrganismos em grãos armazenados.....	7
3.3.1 Características gerais .....	7
3.3.2 Manejo integrado de grãos armazenados .....	9
3.4 Luz ultravioleta.....	11
3.4.1 Características.....	11
3.4.2 Utilização de luz UV-C no controle de contaminantes em produtos agrícolas .....	12
3.4.3 Utilização em grãos da luz UV-C no controle de insetos praga e fungos em grãos ..	13
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
4.1 Material vegetal e insetos.....	16
4.2 Radiação UV-C.....	16
4.3 Delineamento experimental do efeito da Luz UV-C em insetos .....	17
4.3.1 Aplicação única de luz UV-C, no início do armazenamento dos grãos de milho.....	17
4.3.1.1 Avaliações realizadas .....	18
4.3.2 Aplicação de luz UV-C intermitente durante o armazenamento .....	18
4.3.2.1 Avaliações realizadas .....	18
4.4 Delineamento experimental do efeito da Luz UV-C em aflatoxinas de grãos .....	19
4.5 Análise estatística .....	20
4.6 Proposta de um protótipo para aplicação em escala comercial da luz UV-C em unidades armazenadoras .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>

5.1	Efeito da Luz UV-C em insetos.....	22
5.1.1.	Aplicação única de Luz UV-C no início do armazenamento dos grãos de milho .....	22
5.2	Insetos vivos e mortos por aplicação de luz UV-C a cada 15 dias, num período de 120 dias .....	31
5.3	Avaliação do efeito de aplicação de luz UV-C em grãos contaminados com aflatoxina .....	35
5.3.1	Caracterização inicial do produto.....	35
5.3.2	Efeito da utilização da radiação UV-C sobre a descontaminação dos grãos de milho .....	35
5.4	Proposição de protótipo para aplicação em escala comercial da luz UV-C em unidades armazenadoras .....	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Matriz do planejamento e níveis dos fatores do delineamento composto central e seus respectivos valores reais .....	19
<b>Tabela 2</b>	Matriz do planejamento experimental DCC com os valores codificados e reais dos fatores utilizados na exposição das sementes pela radiação UV-C.....	20
<b>Tabela 3</b>	Massa seca dos grãos de milho infestados com <i>Sitophilus</i> sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias .....	29
<b>Tabela 4</b>	Insetos vivos em grãos de milho infestados com <i>Sitophilus</i> sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias .....	29
<b>Tabela 5</b>	Insetos mortos em grãos de milho infestados com <i>Sitophilus</i> sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias .....	30
<b>Tabela 6</b>	Médias dos números de insetos vivos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento .....	31
<b>Tabela 7</b>	Médias dos números de insetos mortos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento.....	33
<b>Tabela 8</b>	Médias dos números de perda de massa em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento.....	33
<b>Tabela 9</b>	Teores de umidade em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento .....	34
<b>Tabela 10</b>	Caracterização dos grãos de milho sem aplicação da UV-C (controle) .....	35
<b>Tabela 11</b>	Efeitos das interações do planejamento DCC 2 <sup>2</sup> para a resposta concentração de aflaxotinas B1 nos grãos de milho após a radiação UV-C.....	36
<b>Tabela 12</b>	Concentração de aflatoxina após aplicação da UV-C.....	36

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Série histórica do cultivo de milho (*Zea mays*) no Brasil, desde a safra de 1976/1977 até a safra 2020/21, considerando a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), a produção (milhões de toneladas) e a área cultivada (milhões de hectares). ..... 4
- Figura 2** Esquema do dispositivo de aplicação de luz UV-C, com disposição das lâmpadas do equipamento UV-C, com dimensões de 1 m de largura x 0,30 m de altura \*0,50 m de profundidade, com distâncias entre as lâmpadas de 0,05 m. .... 17
- Figura 3** Variação da umidade dos grãos durante o armazenamento. .... 22
- Figura 4** Médias dos números de insetos vivos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento. .... 32
- Figura 5** Médias dos números de insetos mortos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento..... 33
- Figura 6** Médias da perda de massa em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento..... 34
- Figura 7** Registro fotográfico de pontos críticos dentro da unidade armazenadora: (a) visão externa da área de recepção de grãos/moega; (n) base da moega/distribuição dos grãos; (c) base da moega/ detalhe da esteira; (d) fita transportadora - subsolo. 37
- Figura 8** Desenho e cotas da moega em estudo para implantação do protótipo. .... 38

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais grãos utilizados para o consumo humano e na produção de ração animal, como fonte de carboidratos. Diversos fatores podem afetar a qualidade dos grãos de milho durante o armazenamento, como a temperatura, a umidade do silo, a umidade relativa do ar e a presença de fungos e pragas.

As pragas agrícolas são responsáveis por grande parte das perdas durante o armazenamento dos grãos, sendo que os *Sitophilus* sp. (gorgulhos) são os principais agentes de infestação do milho. Esses insetos podem acarretar a redução da qualidade geral dos grãos, com perda de valor nutricional e comercial. Por essa razão, o controle químico (inseticidas) é amplamente empregado nas lavouras e nas unidades de armazenamento. Além disso, o aparecimento de fungos durante o armazenamento, vindos do campo ou aumentados pela deterioração causada pelas pragas, pode levar à redução da qualidade dos grãos, principalmente com o desenvolvimento de micotoxinas.

Apesar de representarem o método de controle mais utilizado, os defensivos agrícolas de ação química afetam negativamente o meio ambiente e a saúde humana, principalmente quando há aplicação inadequada, vedação deficiente dos silos e uso de concentrações acima da estabelecida pelo fabricante. Como resultado, são constantemente relatados casos de desenvolvimento de resistências dos insetos-praga e acúmulo de resíduos químicos nos grãos. Novos métodos, como o uso da luz UV-C, podem ajudar a reduzir o uso de produtos químicos.

A faixa da radiação ultravioleta restrita aos comprimentos de onda entre 100 e 280 nm é conhecida como UV-C e possui alto poder desinfetante e ação germicida, promovendo danos ao DNA e à membrana celular, por meio da oxidação de moléculas biológicas, lipídios, proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos. A radiação UV-C já é amplamente utilizada na indústria de alimento no controle de fungos, principalmente aplicada em embalagens. Também há evidências científicas da redução de metabólitos secundários de fungos, como aflatoxinas, por meio de irradiação UV-C. Estudos têm relatado que essa radiação possui a propriedade de interferir na reprodução dos insetos, diminuindo a fecundidade da população, o número de ovos chocados e o crescimento larval.

O uso da radiação ultravioleta pode ser considerado como uma alternativa ao controle químico utilizado, pois é uma forma mais prática de realizar o controle, de modo eficiente, além de ser uma metodologia com baixo custo, quando comparada com o controle químico.

Pesquisas com a utilização da luz UV-C no controle de pragas e fungos em grãos armazenados ainda são escassas. Sendo assim, no presente estudo o objetivo estabelecido

foi avaliar a aplicação da radiação UV-C no controle de gorgulhos (*Sitophilus sp.*) e a avaliação da redução de aflatoxinas nos grãos do milho durante o período de armazenamento, em condições controladas e propor um protótipo para aplicação de radiação UV-C em unidade armazenadora, de modo a integrar o controle de pragas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos gerais

Determinar a dose de radiação UV-C para redução de *Sitophilus zeamais* e de aflatoxinas em grãos de milho armazenado e propor um modelo de protótipo para seu controle.

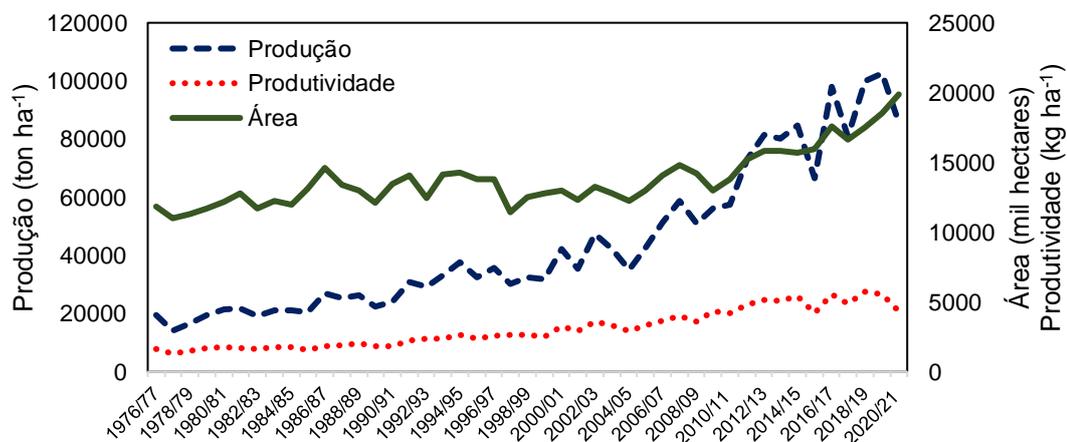
### 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar, em condições controladas, o efeito da luz UV-C na população de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado;
- Avaliar, com a utilização da UV-C, a redução de aflatoxina em grãos armazenados;
- Propor um protótipo para irradiação controlada de luz UV-C, a partir da análise dos pontos críticos dentro de unidade armazenadora no Oeste do Paraná.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Aspectos gerais da produção de milho no país

A agricultura nacional se caracteriza pela diversificação de espécies cultivadas, visto que o Brasil possui um clima tropical, favorável ao desenvolvimento de várias espécies de culturas (PEREIRA et al., 2012). A soja (*Glycine max* L. Merrill) é considerada a cultura chave para o desempenho agrônômico do país, contribuindo para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Além disso, ressalta-se que o milho, cereal de maior destaque no Brasil, também pode ser utilizado como matéria prima na fabricação de rações, participando de modo secundário da cadeia produtiva de carnes, contribuindo ainda mais para a elevação da renda do país (CONAB, 2021). Na Figura 1 visualiza-se a série histórica de cultivo do grão, demonstrando a sua produtividade, desde a safra de 1976/1977 até a safra 2020/2021.



**Figura 1** Série histórica do cultivo de milho (*Zea mays*) no Brasil, desde a safra de 1976/1977 até a safra 2020/21, considerando a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), a produção (milhões de toneladas) e a área cultivada (milhões de hectares).

**Fonte:** Adaptado de Conab (2021).

De acordo com a Figura 1, é possível observar que antes dos anos 2000, a produtividade não ultrapassava  $3 \text{ mil kg ha}^{-1}$ , devido ao baixo nível tecnológico aplicado no desenvolvimento de híbridos de milho. A partir do ano 2000, verifica-se em todas as regiões uma linha com algumas variações de altos e baixos, mas de evoluindo de modo crescente, até alcançar os patamares atuais, em que na região Sul são produzidas mais de seis toneladas por hectare. Verifica-se também que as regiões norte e nordeste são as que menos

produzem, enquanto as demais possuem uma competitividade entre si, sendo que a região Sul se sobressai às demais (CONAB, 2021).

O complexo milho participa de muitas cadeias produtivas ou sistemas agroindustriais, sendo as cadeias relacionadas à alimentação e à produção animal as mais expressivas. Segundo Garcia et al. (2021), do total produzido, cerca de 70% da produção de milho no mundo é destinada a essa finalidade. Desse modo, além da contribuição direta, o milho gera uma contribuição indireta para a economia brasileira, pela venda da carne de aves e suínos (BARROS; CALADO, 2014).

A importância do milho para o sistema de produção nacional e internacional é devida ao seu potencial produtivo e à composição química de alto valor nutritivo de seus grãos. Barros e Calado (2014) indicam que o grão pode ser utilizado como alimento base de populações em países emergentes e subdesenvolvidos, bem como, pode ser utilizado na alimentação animal por meio de rações, devido ao seu elevado teor de amido (72%) e por conter 18 aminoácidos essenciais (FORNASIERI FILHO, 2007).

De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (2022), o Brasil é considerado o terceiro produtor mundial de milho, contribuindo com cerca de 9% de todo o milho produzido, atrás somente dos EUA e da China. No entanto, é forte candidato a se tornar o principal exportador do milho, pois, nos Estados Unidos o milho está sendo destinado à produção de etanol, o que faz com o país deixe de competir com o mercado externo. Já a China, que possui uma alta demanda interna pelo grão, poderá não produzir o suficiente para atender sua própria demanda, podendo tornar-se o principal país importador do milho. Essas condições favorecem a exportação brasileira para esses países, mas também aos países que adquiriam a matéria prima dos EUA e da China (USDA, 2022).

## **3.2 Armazenamento de grãos**

### **3.2.1 Características gerais**

A produção de grãos é de suma importância para o desenvolvimento agrícola e, conseqüentemente, para manter o Brasil competitivo no mercado internacional. Essas características ocorrem por ser o Brasil um país de clima tropical, o que favorece sua agricultura e possibilita a produção de diversas matérias primas, dentre elas, variados tipos de grãos, como a soja, o milho, o arroz e cereais de inverno, entre outros (CONAB, 2021).

Contudo, por ser um país com grande produção agrícola, nem sempre os produtores comercializam toda a produção ao final da safra. A comercialização acontece de acordo com a oferta e a demanda, comercializando a produção conforme a venda se torne favorável. Essa situação ocorre principalmente com os grandes produtores, ou seja, produtores que possuem grandes áreas e que em suas propriedades conseguem armazenar a produção, o que ocorre geralmente em silos próprios (SISMAN; ALBUT, 2010).

Assim, parte da produção nacional da safra fica estocada nas propriedades. Entretanto, algumas características devem ser levadas em consideração no momento da armazenagem dos grãos, pois é de suma importância que os grãos possuam qualidade fisiológica suficiente para que possa ser mantidos armazenados sem que se deteriore nesse processo. Sendo assim, assume-se que dentre as diversas características que os grãos armazenados devem ter, cita-se com prioridade a qualidade obtida no momento da colheita (MARCOS FILHO, 2015).

### 3.2.2 Perdas em grãos armazenados

No Brasil, segundo Costa (2012) e Macedo Neto et al. (2022), o principal sistema de armazenamento de grãos se dá por unidades específicas para armazenagem a granel, conhecidos popularmente como silos, em cooperativas privadas. Da totalidade dos locais de armazenamento de grãos, 78% são silos, enquanto os demais 22% são compostos por armazéns convencionais que usam sacos e fardos para armazenar. Entre os produtores de grãos, somente 14% conseguem armazenar a colheita em suas propriedades, principalmente pelo fator econômico, visto que para se ter um silo é necessário um investimento considerado elevado (RAMOS; RAMOS, 2022).

A qualidade dos grãos não pode ser melhorada no armazenamento, ela apenas deve ser mantida. Assim, torna-se essencial aos produtores rurais juntamente aos profissionais da área agrônômica, identificar no processo produtivo possíveis falhas que devem ser corrigidas antes de ocorrer a colheita. Após identificadas estas falhas, no momento da colheita os grãos devem se apresentar em condições ideais, principalmente em relação à umidade, que deve estar em torno de 13%  $\pm$ 2 (SISMAN; ALBUT, 2010).

Dessa forma, pode-se dizer que a qualidade dos grãos armazenados se deve a cinco fatores fundamentais e integrados entre si: condições iniciais do grão (qualidade vinda do campo), temperatura, umidade, aeração e monitoramento das condições dos grãos. Dentre as condições iniciais do grão, cita-se em destaque a forma como o grão é armazenado, ou seja, se os grãos estão em sua maioria inteiros ou se estão quebrados, pois, grãos inteiros facilitam a atividade de armazenamento. Outro fator relevante, nessa primeira etapa, é a inserção de materiais estranhos nos silos de armazenamento, ou seja, solo, restos de culturas

vegetais, entre outros, são considerados materiais estranhos, e que de, maneira geral, devem estar presentes em concentrações abaixo de 4% (COLUSSI, 2014).

A quebra de grãos pode ocorrer principalmente por umidade muito baixa no momento da colheita, sendo considerado como um dano mecânico. A quebra acontece, principalmente, quando a colhedora entra em contato com os grãos com teores baixos de umidade. Quando os grãos não estão inteiros, é maior a chance de serem atacados por insetos pragas de armazenamento, que têm sua alimentação facilitada quando o grão está nessa condição (ELIAS, 2007).

Para o armazenamento correto dos grãos é importante que três fatores estejam presentes: grãos inteiros e limpos, temperatura de armazenagem e umidade ideais. Esses fatores, quando controlados, inibem o crescimento de patógenos fúngicos indesejados e a atividade de pragas de armazenamento, o que ocorre, principalmente, quando a temperatura está elevada em nível ótimo. Dentre os patógenos fúngicos, citam-se os mesófilos e termófilos, que se desenvolvem preferencialmente em temperaturas acima de 25 °C (SISMAN; ALBUT, 2010). O teor de umidade dos grãos se torna um dos principais critérios na prevenção da deterioração durante o armazenamento.

De acordo com Sisman e Albut (2010), quando os grãos colhidos não se apresentam com a qualidade fisiológica adequada como, por exemplo, grãos verdes ou provindos de situações de déficit hídrico ou, ainda, que se apresentem em grande quantidade rachados/quebrados, a umidade pode diminuir no máximo mais 2%, uma vez que valores abaixo dos indicados não são considerados ideais para o uso dos grãos posteriormente.

No processo de armazenagem, os grãos devem passar por uma série de processos para ao final ser comercializado. Dentre esses processos, citam-se: a limpeza, a secagem, o tratamento fitossanitário transporte, a classificação e outros que se fizerem necessários. Ao final, os grãos devem apresentar baixo teor de umidade, peso considerável, degradação de componentes nutritivos em níveis mínimos e um baixo índice de quebra (ELIAS, 2003). Destaca-se que devem se apresentar ausentes de pragas e patógenos e apresentar alta viabilidade das sementes.

### **3.3 Pragas e microrganismos em grãos armazenados**

#### **3.3.1 Características gerais**

Mundialmente as perdas ocasionadas pelo ataque de insetos pragas em pós-colheita ocorre em torno de 15% e demandam custos elevados para controle nos locais de

armazenamento (LORINI et al., 2015). No Brasil, as perdas em transporte e armazenagem de grãos podem atingir 13% do total produzido e, segundo Deliberador, Mello e Batalha (2019), podem atingir os mesmos patamares de redução de produção quanto o ataque das pragas em campo.

Outro problema do armazenamento é a alta incidência de insetos, cujo ataque, além de diminuir o peso dos grãos o seu poder germinativo, contribui para a disseminação de fungos e cria bolsões de calor. São classificados em primários e secundários, associados e de infestação cruzada. Pragas primárias atacam os grãos inteiros e sadios, pois conseguem penetrar a camada do tegumento, já as pragas secundárias, são aquelas que atacam os grãos danificados ou quebrados (LORINI, 2015).

As pragas associadas são aquelas que se alimentam dos restos deixados por pragas primárias e secundárias; as de infestação cruzada são as que ocorrem tanto no campo quando no armazenamento. Os principais insetos que afetam os grãos armazenados são: *Sitophilus zeamais*, *Zabrotes subfasciatus*, *Acanthoscelides obtectus*, *Sitotroga cerealella*, *Plodia interpunctella*, *Rhyzopertha dominica*, *Lasioderma serricorne*, *Tenebroides mauritanicus*, *Tribolium castaneum*, *T. confusum*, *Oryzaephilus surinamensis* e *Cryptolestes ferrugineus* (FARONI; SILVA, 2008).

Em milho, *Sitophilus zeamais* é a mais importantes das pragas, pertencente à família Curculionidae e ordem Coleoptera. Aparece em vários países como o principal problema durante o armazenamento (ALAM et al., 2019; BHUSAL; KHANA, 2019; JIMÉNEZ-GALINDO et al., 2023). Alam et al. (2019) encontraram que danos significativos aos grãos (média de 75,85%) associados a perdas de até 85% foram causados por pragas, de três a seis meses de armazenamento.

Kumari et al. (2022), em estudo com *S. zeamais* em grãos de milho sob condição de laboratório durante o inverno 2021-2022 (novembro-janeiro), registraram que a fase de ovo varia de 7 a 10 dias com média de  $8,21 \pm 0,025$  dias. O período de pupa variou entre 9 e 14 dias com média de  $11,33 \pm 0,022$  dias no inverno. A taxa de sobrevivência para o macho variou de 43 a 51 dias com média de  $46,37 \pm 0,053$  e a fêmea de 54 a 61 dias, com média de  $58,33 \pm 0,022$  dias, incluindo o período de acasalamento, que dura entre 20 a 55 minutos, com média de  $46,41 \pm 0,008$ . O ciclo de vida total de ovo até adulto durante o inverno, durou cerca de 87 a 102 dias em machos com média de  $92,37 \pm 0,08$  e de 98 a 109 dias em fêmeas com média de  $98,62 \pm 0,154$ .

Os fungos presentes em grãos podem ser divididos em três grupos, de acordo com a fase em que o material se encontra: de campo, intermediários e de armazenamento (PRESTES et al., 2019). Os fungos de campo são aqueles contaminantes durante o ciclo vegetativo da planta, e que à contaminam antes da colheita, quando o produto ainda está no campo. A característica principal dessa classe é a necessidade de alto teor de umidade, pois, no campo os grãos se apresentam ainda úmidos e favoráveis ao desenvolvimento de fungos

e sua presença gera danos à qualidade do grão pré-colheita. Os danos principais são visíveis na ponta da espiga, por onde a entrada é facilitada devido à abertura (PINTO JR. et al., 1997). Em trabalho realizado por Reges et al. (2016), observou-se presença de *A. flavus*, *F. moniliforme*, *F. roseum*, e *Penicillium* spp., em grãos de milho procedentes do Silo Bag e pós-colheita.

Dentre os fungos de armazenagem, destacam-se os gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, os quais estão mais presentes em cereais e oleaginosas armazenados (PRESTES et al., 2019). Os fungos presentes no armazenamento de grãos, geralmente, são controlados a partir da manutenção da umidade e temperatura, os quais correspondem aos processos de secagem e aeração dos grãos. A proliferação de fungos, quando tais parâmetros não são controlados, gera na massa de grãos o aumento da atividade respiratória, o que favorece o processo de decomposição, perda de massa, conseqüentemente comprometendo a qualidade do grão armazenado (ELY, 2018). A atividade fúngica pode ser detectada a partir de parâmetros tais como: o aumento de temperatura em regiões do armazém, a taxa de gás carbônico produzida pela massa de grãos e o aumento do teor de umidade, uma vez que há produção de água devida à metabolização dos compostos (BILHALVA et al., 2022).

O risco associado à proliferação de fungos está na produção de micotoxinas. Destacam-se as aflatoxinas, produzidas geralmente pelos fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*. As micotoxinas são substâncias tóxicas prejudiciais a seus consumidores, sendo letal para alguns animais quando consumidas em meio a rações, provenientes de cereais e leguminosas contaminados com a atividade fúngica (CARDOSO FILHO et al., 2020). Geralmente, grãos com atraso de colheita ou armazenados com alto teor de umidade, estão susceptíveis ao desenvolvimento dos fungos e, conseqüentemente, intoxicação por micotoxinas (ROCHA et al., 2020).

### 3.3.2 Manejo integrado de grãos armazenados

Dentre os principais métodos utilizados no controle dos insetos pragas de grãos armazenados, cita-se: o resfriamento artificial, o controle da umidade e da temperatura, como métodos físicos. Os inseticidas são métodos químicos e os inimigos naturais são classificados como métodos biológicos. No Brasil, o principal método utilizado é o químico, por meio de inseticidas protetores ou pela fumigação. A fumigação é realizada pela ação da fosfina (gás tóxico para as pragas de armazenamento) e tem como utilização de modo curativo, que tem como principal objetivo controlar as pragas nos silos de armazenagem e, conseqüentemente,

evita a redução do peso dos grãos. Dentre os métodos de controle, pode-se citar o manejo integrado de pragas de grãos armazenados (LORINI et al., 2015).

As perdas pós colheita de grãos são comumente computadas em termos quantitativos. Porém, perdas nutricionais que reduzem a qualidade do produto são associadas entre outros fatores à presença de insetos praga. Segundo Stathers et al. (2020), *S. zeamais* se alimenta preferencialmente do endosperma do milho resultando em uma maior perda relativa de carboidratos em relação à proteína, sendo importante a identificação dos insetos presentes, bem como do seu controle. Almeida et al. (2013), com o objetivo de avaliar a ação de extratos hidroalcoólicos, testaram o efeito desses produtos em *Mormodica charantia* e *Capsicum baccatum* no controle de *S. zeamais*. Os resultados obtidos permitiram identificar que, quando aplicado o extrato em pó de *C. baccatum*, houve uma alta repelência dos insetos aos milhos armazenados, bem como foi determinado que a aplicação do *M. charantia* deve utilizar extrato acima de 6 mL por 100 mL, enquanto para *Capsicum*, extratos a partir de 4 mL apresentaram controle efetivo.

Antunes et al. (2011), com o objetivo de estudar a mortalidade de *S. zeamais*, *Tribolium castaneum* e *Cryptolestes ferrigineus*, testaram o uso de fosfina em concentrações de 1 e 2 gm<sup>3</sup>. Os resultados permitiram concluir que todos os insetos adultos de todas as espécies apresentaram suscetibilidade à fosfina com concentração de 1 g m<sup>3</sup> por um período de cinco dias e que 30 dias após o expurgo, não se notou emergência de novos insetos adultos, indicando a eficiência da fosfina em baixas concentrações.

Aguiar et al. (2003) testaram a eficiência do uso do congelamento (-18 °C) no controle de *R. dominica*, *T. castaneum*, *S. zeamais*, *C. ferrugineus* e *O. surinamensis*, em trigo armazenado. Os grãos foram armazenados em placas de Petri com 20 insetos adultos de cada espécie e levados ao congelamento por períodos de 0, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos. Os resultados indicaram que foram mortos todos os insetos de *S. zeamais* e *O. surinamensis* com três horas de exposição ao frio, enquanto as demais espécies, apresentaram tolerância.

O crescente número de pesquisas que visam ao controle de insetos-praga em grãos com uso de óleos essenciais (MATOS et al., 2021), ozônio (ABREU, 2023; INGEGNO et al., 2021), dióxido de carbono (KUMAR et al., 2021) e outras técnicas não termais (SIROHI, 2021) indicam a importância do aprofundamento em novas metodologias de controle de pragas em grãos que sejam sustentáveis e de baixo custo. Mir et al. (2023) apontam um crescimento de técnicas que ajudam a controlar a infestação de insetos no armazenamento grãos, mas alguns desafios ainda se colocam à indústria de grãos tanto em relação à eficiência quanto a técnicas que afetam negativamente os atributos de qualidade dos grãos.

Além das técnicas citadas, pode-se acrescentar a utilização da luz UV-C como uma forma de controle, uma vez que essa faixa de comprimentos de onda possui uma maior quantidade de energia. Com maior quantidade energética é possível interferir sobre o

desenvolvimento dos insetos, levando-os à morte e, dessa forma, realizar o controle das pragas de grãos armazenados, sendo uma hipótese a ser testada.

### **3.4 Luz ultravioleta**

#### **3.4.1 Características**

Os estudos com luz foram iniciados em 1887 por Heinrich Hertz. Albert Einstein conseguiu desvendar o efeito fotoelétrico já no século XX. Essa descoberta permitiu descrever que a radiação eletromagnética pode ser tanto por ondas quanto por partículas, portanto, um comportamento duplo. Dessa forma, a radiação eletromagnética é classificada de acordo com a frequência de sua onda e, partindo deste princípio, existe um espectro magnético que compreende diferentes tipos de ondas (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001).

Dentro do espectro magnético, existe a chamada luz ultravioleta (UV), descoberta por Ritter em 1801, após verificar que raios invisíveis do espectro eram capazes de oxidar os haletos de prata, chamados primeiramente como raios desoxidantes. Com o avanço da ciência, este tipo de radiação se tornou de extrema utilidade em diversas vertentes científicas, como por exemplo, caracterização molecular e quantificação de substâncias químicas (GOUVÊA et al., 2014).

A funcionalidade básica da luz UV está na transição eletrônica de elétrons de valência para níveis mais energéticos, ou seja, por meio da excitação eletrônica, mais energia é gerada e, conforme ocorre essa excitação, são emitidos fótons, gerando os efeitos de fosforescência e fluorescência ou, ainda, pode não ocorrer nenhuma reação química, chamada de relaxação não radiativa. Independente dos fatores que ocorram, todos são de extrema utilidade dentro da área química (GOUVÊA et al., 2014).

De acordo com a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais – DAS (BRASIL, 2021), a luz UV dentro do espectro magnético abrange comprimentos de ondas desde 1 até 400 nm e é dividida basicamente em três tipos de ultravioleta, sendo elas: ultravioleta de vácuo, ultravioleta distante e ultravioleta próximo, sendo os espectros em ordem respectiva de 1-200 nm, 200 a 300 nm e de 300-400 nm. Entretanto, essa radiação ainda pode ser classificada de outro modo, ou seja: luz UV-C (100-280 nm), UV-B (280-315 nm) e UV-A (315-400 nm), sendo a última a que mais incide sobre a atmosfera terrestre, enquanto as demais são absorvidas ou refletidas pela camada de ozônio. Independente da classificação do tipo de UV

em que a faixa se encontra, é importante salientar que ela possui diferentes efeitos sobre o material em que é inserida.

### 3.4.2 Utilização de luz UV-C no controle de contaminantes em produtos agrícolas

Além das diversas áreas de uso da luz UV-C na ciência de alimentos, ela pode ser utilizada como forma alternativa no tratamento de patógenos, pois de modo geral é um procedimento simples e que evita contaminar os alimentos. Dessa forma, pode-se dizer que na indústria alimentícia, o uso desse tipo de luz serve para controlar no processo de deterioração de matéria prima (grãos) e seus derivados. Essa proteção ocorre pelo fato de que esse tipo de radiação atua como um germicida e destrói os microrganismos de modo total ou parcial (GOUVÊA et al., 2014).

A atuação da luz UV-C nos microrganismos ocorre por meio da penetração da radiação na célula microbiana até atingir o material genético que, quando alcançado, começa a produzir uma base nitrogenada em grande quantidade: a timina que, ao ser formada em grandes quantidades, não permite a replicação celular, pois a formação de proteínas e demais compostos celulares são impedidos. É importante salientar que o uso desse tipo de controle microbiano não altera as características organolépticas do produto, mas mantém frescos e mantém suas características originais (GOUVÊA et al., 2014).

Em estudo envolvendo a desinfecção superficial de tomates com a utilização de luz UV-C, como forma alternativa de tratamentos químicos pré-colheita, Campos et al. (2009) identificaram que, além de controlar os microrganismos, esse tipo de tratamento permitiu um aumento nos teores de carotenoides totais, conforme se aumentou a radiação utilizada, comprovando que, além de atenuante contra patógenos, auxilia na qualidade nutricional.

Na fruticultura, grande parte dos frutos são perdidos em condições de pós-colheita pela ação de microrganismos que fazem os frutos perderem além do sabor, qualidade de polpa, ou seja, perdem sua firmeza. Partindo desse pressuposto, Coutinho et al. (2003) estudaram a viabilidade de aplicação dessa luz no controle de patógenos de pêssegos de mesa e identificaram que a aplicação de 30 minutos de luz UV-C tornou possível controlar 100% dos fungos causadores de podridões nos pêssegos, após oito dias de armazenamento.

Armas, Hollis, Heaney (2004) identificaram que a utilização da radiação da luz UV-C sobre microrganismos superficiais em carnes suínas embaladas, devido à forma incorreta de manuseio do produto, foi eficiente para descontaminação superficial, tanto da carne quanto da embalagem, pois 90% das bactérias aeróbias foram eliminadas, durante uma exposição de 15 minutos.

Rocha (2019) estudando o efeito da luz fosforescente e da radiação UV-C no controle de podridão seca e rizoctoniose de batata semente em condições pós-colheita identificaram

que o uso dessa tecnologia diminuiu a atividade das colônias fúngicas *in vitro*. Almeida (2013), estudando o efeito da radiação ultravioleta-B sobre o desenvolvimento de arroz, identificou que, para o desenvolvimento das plantas de arroz, essa tecnologia atestou-se negativa, pois reduziu clorofila *a*, *b* e total, além de modificar a morfologia da planta sendo, portanto, eficaz somente contra patógenos.

### 3.4.3 Utilização em grãos da luz UV-C no controle de insetos praga e fungos em grãos

No momento da exposição dos insetos a luz UV-C, é interessante que fiquem expostos diretamente, pois os próprios grãos podem servir de abrigo para eles, podendo reduzir os efeitos da radiação. No entanto, nos silos, como há uma grande quantidade de grãos que protegem os gorgulhos, é necessário um maior tempo de exposição, para que se consiga um efeito efetivo de controle das pragas (PONCE et al., 2022).

A irradiação ultravioleta como forma de tratamento de amostras é cada vez mais utilizada pela indústria de alimentos, pois o procedimento é simples e evita o risco de contaminação. Esse tratamento é usado para o controle de deterioração de alimentos, uma vez que a irradiação atua como germicida, resultando na descontaminação dos produtos alimentícios, por meio da destruição total ou parcial dos microrganismos. Isso acontece devido à penetração da radiação na célula microbiana e a sua absorção pelo material genético, levando à formação de dímeros de bases pirimídicas, principalmente de timina (GOUVÊA et al., 2014).

A formação de uma considerável quantidade de dímeros dificulta a replicação do DNA, comprometendo desse modo a síntese de proteínas e, conseqüentemente, reduzindo o crescimento dos microrganismos. Além disso, após a realização do processo com luz UV-C, os grãos apresentam-se mais frescos e de melhor palatabilidade, ou seja, com melhores características organolépticas, preservando suas propriedades originais e aumentando o seu tempo de vida nas prateleiras (GOUVÊA et al., 2014).

Ferreira et al. (2018), com o objetivo de avaliar a radiação UV-C no controle de gorgulho do milho, irradiaram grãos de milho armazenados com dose de UV-C de 10 J cm<sup>2</sup>. Os resultados obtidos indicaram que o tratamento com essa luz permitiu um menor número de gorgulhos vivos, bem como reduziu a perda de massa dos grãos e apresentou um menor número de grãos danificados. No entanto, observaram que os teores de carotenoides foram reduzidos, discordando de Bushra e Aslam (2014), os quais indicam que a radiação causa muito pouco ou nenhum efeito nos grãos de cereais armazenados.

O uso da luz ultravioleta no controle das pragas de grãos armazenados está diretamente relacionado com a ação dela sobre as funções celulares e genéticas, pois causa

danos diretos no DNA, como por exemplo, a metilação do mesmo e alteração nas bases nitrogenadas (AHMED et al., 2019). Além disso, uma maior concentração de luz permite um aumento nas espécies reativas do oxigênio, promovendo estresse oxidativo e oxidando moléculas biológicas como, por exemplo, os lipídeos e as membranas.

Faruki et al. (2007) e Ghanem, Orfi e Shamma (2007), irradiando ovos e larvas de gorgulho do trigo diretamente em placas de Petri, verificaram que houve uma redução do número de ovos chocados bem como uma menor população de indivíduos adultos. Em condições de armazenamento, os resultados são distintos, principalmente, devido à radiação não ocorrer de forma direta, aumentando o número de indivíduos vivos. Porém, o controle ainda é considerado efetivo.

Tungjitwitayakul, Suppasat e Tatun (2022) observaram que a radiação UV-C reduziu claramente a quantidade total de proteína nos órgãos reprodutivos de *Tribolium castaneum*, o que se correlacionou com a redução no tamanho dos órgãos reprodutivos. Tungjitwitayakul, Yasanga e Tatun (2020) já haviam observado que as pupas irradiadas com UV-C apresentaram anormalidades nas antenas dos adultos. Esses estudos são um indicativo da alteração da morfologia e do ciclo reprodutivo desses insetos.

Em estudos com *Callosobruchus*, importante praga de leguminosas, observou-se atraso na eclosão de ovos ovipositados por adultos irradiados com UV. Mesmo após um mês, não houve eclosão de ovos com 30 e 60 min de exposição à luz UV-C. No caso de adultos tratados com UV, o ciclo de vida foi atrasado com muita supressão do desenvolvimento e durações prolongadas de estágios imaturos com crescente exposição de UV (BHARDWAJ et al., 2019).

Fungos micotoxigênicos como *Penicillium* e *Fusarium* podem produzir micotoxinas (desoxinivalenol, zearalenona, aflatoxina e ocratoxina). Popovic et al. (2018) observaram a redução de *Penicillium verrucosum* (98,6%) e de *Fusarium graminearum* (88,8%) em ágar, obtidas usando uma dose de UV-C de 100 mJ cm<sup>-2</sup>. Em doses mais altas, obtiveram redução de zearalenona em ~50%.

Páez et al. (2011) investigaram o efeito da luz UV-C como meio de controle da microbiota natural de grãos dos milhos híbridos *San Juan* e H-159, utilizando lâmpadas UV-C de 15 W e os tempos de exposição aplicados foram 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min. Os autores observaram reduções de 42,85 e 52,05% no número de grãos infectados com *Fusarium spp.* em relação ao controle, indicando que a radiação UV-C pode ser útil para aplicação como germicida em uma ampla variedade de grãos.

O armazenamento de grãos é uma etapa fundamental para o sucesso dessa cadeia produtiva, responsável por manter a qualidade dos produtos durante o processo de pós-colheita. Porém, o desafio é impedir que o produto sofra danos que levem à redução da qualidade sanitária, sensorial e física dos grãos. Para tanto, há necessidade de estudos que

utilizem técnicas sustentáveis para garantir a manutenção da qualidade e a aplicação de luz UV-C pode ser uma nova possibilidade, por ser de baixo custo e segura.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

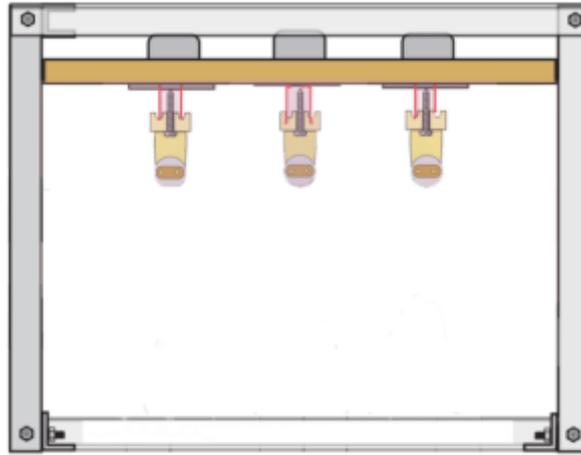
### 4.1 Material vegetal e insetos

Os grãos de milho amarelo foram obtidos em unidade de beneficiamento de grãos, UBS Plantar, situada na rodovia federal prefixo BR-467, km 105, Cascavel – Paraná. (UTM 22J x-247963.00 m, y-7242422.00 m). Apenas grãos saudáveis foram selecionados e os grãos danificados ou com possíveis evidências de ataque de pragas foram descartados. Para garantir que os grãos não estivessem infestados com pragas, eles foram adicionados em recipientes e expostos a uma temperatura de -18 °C por um período de 7 dias.

O *Sitophilus sp.* utilizado no presente estudo foi obtido a partir de uma população da região Oeste do Paraná, mantida em B.O.D a 27 °C e umidade relativa de 60%, em recipientes com grãos de milho, no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas – LACON, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, em Cascavel – Paraná. Insetos jovens (1 a 15 dias) foram usados no experimento. Para isso, os insetos adultos foram transferidos para um milho livre de pragas e incubados conforme as condições já descritas. Após 15 dias, os *Sitophilus sp.* foram removidos e o milho foi incubado por mais 30 dias, obtendo-se, assim, uma população de insetos jovens (FERREIRA et al., 2017).

### 4.2 Radiação UV-C

A aplicação de radiação UV-C foi realizada utilizando-se um protótipo de laboratório 0217, composto de três lâmpadas de quartzo de 30 W cada, sendo a potência total do equipamento de 240  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (Figura 2). A amostra foi exposta a uma distância de 80 mm, em recipientes plásticos abertos e transparentes.



**Figura 2** Esquema do dispositivo de aplicação de luz UV-C, com disposição das lâmpadas do equipamento UV-C, com dimensões de 1 m de largura x 0,30 m de altura \*0,50 m de profundidade, com distâncias entre as lâmpadas de 0,05 m.

#### 4.3 Delineamento experimental do efeito da Luz UV-C em insetos

O experimento foi dividido em duas etapas: aplicação única no início do armazenamento dos grãos e aplicação quinzenal de luz UV-C durante o armazenamento.

##### 4.3.1 Aplicação única de luz UV-C, no início do armazenamento dos grãos de milho

Para a realização dessa etapa do experimento foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com dois fatores: tempo de exposição a UV-C com potência de  $240 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  com sete níveis (0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas) e tempo de armazenamento após a exposição com 10 níveis (0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126 dias). Desse modo, o experimento totalizou 7 tratamentos com 5 repetições, ou seja, 35 unidades amostrais. Cada unidade experimental foi composta por um recipiente plástico transparente e destampado, de boca redonda e diâmetro de 10,8 cm, contendo 200 g de grãos de milho e 20 insetos adultos não sexados, mantidos à temperatura ambiente não controlada (média no período de  $27^\circ\text{C}$ , variando entre  $18^\circ\text{C}$  e  $32^\circ\text{C}$ ). A umidade relativa do ambiente no período ficou em média 43% aferida por meio de um termo-higrômetro NICERPO.

Foi considerado como tratamento controle, o tratamento com insetos e grãos nas mesmas condições, porém, sem a aplicação de luz UV-C (tempo de exposição igual a zero), avaliado a cada 14 dias por um período de 126 dias.

#### 4.3.1.1 Avaliações realizadas

**Quantificação da perda de massa de grãos:** a perda de massa foi determinada por meio da pesagem do milho em balança analítica (precisão 0,001) a cada 14 dias e o resultado expresso em gramas (g). Os grãos danificados pelos gorgulhos foram avaliados após os 126 dias de armazenamento. Foram separados manualmente e quantificados, com o resultado apresentado em g de perda de massa.  $100\text{g}^{-1}$  de grãos totais.

**Quantificação de insetos vivos e mortos:** a cada 14 dias os insetos vivos e mortos foram contabilizados por meio de separação manual. Os gorgulhos vivos foram devolvidos em seus recipientes e os mortos foram descartados após cada contagem. O processo foi repetido quinzenalmente, até concluir o ciclo de 126 dias.

**Teor de água nos grãos:** o teor de umidade dos grãos de milho foi determinado a cada 15 dias em todos os tratamentos, ao longo dos 120 dias. Foi utilizado o método da estufa (Estufa Tecnal, TE-39/I), com temperatura regulada em  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com circulação de ar por 24 horas (ASAE, 2000).

#### 4.3.2 Aplicação de luz UV-C intermitente durante o armazenamento

Um segundo experimento foi montado, visando à avaliação dos efeitos de aplicação de luz UV-C em intervalos de 15 dias durante todo o armazenamento dos grãos. Os insetos jovens foram obtidos a partir de insetos na fase adulta vindos da unidade armazenadora e reproduzidos no laboratório conforme descrito em 4.1 (FERREIRA et al., 2017).

Para avaliação do efeito da luz UV-C em *Sitophilus sp.* foram avaliados 200 g de grãos de milho com 20 insetos não sexados. O primeiro tratamento foi irradiado com UV-C durante 15 minutos na potência de  $240\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , o segundo foi irradiado com UV-C durante 30 minutos na potência de  $240\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$  e, por fim, um terceiro tratamento considerado como controle não foi exposto à radiação UV-C. A aplicação intermitente de luz UV-C, realizada posteriormente a contagem de insetos e determinação de perda de massa, foi repetida a cada 15 dias, durante 120 dias, com cinco repetições por tratamento. A cada 15 dias foram avaliadas a perda de massa de grãos e a quantificação de insetos. Ao final do experimento, foi avaliada contagem total de fungos e determinação de micotoxina.

##### 4.3.2.1 Avaliações realizadas

**Quantificação da perda de massa de grãos:** a perda de massa foi determinada por meio da pesagem do milho em balança analítica (precisão 0,001) a cada 14 dias e o resultado

expresso em gramas (g). Os grãos danificados pelos gorgulhos foram avaliados após os 126 dias de armazenamento. Foram separados manualmente e quantificados, com o resultado apresentado em g de perda de massa.  $100\text{g}^{-1}$  de grãos totais.

**Quantificação de insetos vivos e mortos:** a cada 14 dias os insetos vivos e mortos foram contabilizados por meio de separação manual. Os gorgulhos vivos foram devolvidos em seus recipientes e os mortos foram descartados após cada contagem. O processo foi repetido quinzenalmente, até concluir o ciclo de 126 dias.

**Teor de água nos grãos:** o teor de umidade dos grãos de milho foi determinado a cada 15 dias em todos os tratamentos, ao longo dos 120 dias. Foi utilizado o método da estufa (Estufa Tecnal, TE-39/I), com temperatura regulada em  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com circulação de ar por 24 horas (ASAE, 2000).

#### 4.4 Delineamento experimental do efeito da Luz UV-C em aflatoxinas de grãos

A fim de reduzir o número de ensaios para determinação de efeito da luz UV-C na redução de aflatoxinas optou-se por utilizar um delineamento composto central  $2^3$ , incluindo três repetições no ponto central. Na Tabela 1 são apresentados os fatores, com os respectivos níveis codificados em -1 e +1.

**Tabela 1** Matriz do planejamento e níveis dos fatores do delineamento composto central e seus respectivos valores reais

Fator	Níveis		
	-1	0	+1
Tempo de exposição (min)	1	5	9
Camada de grãos (cm)	0,5	1,5	2,5

Na Tabela 2 apresenta-se a matriz do planejamento composto rotacional, com seus valores reais e codificados. Foram realizados em laboratório, de forma aleatória, sete ensaios principais, sendo que as condições do ponto central foram repetidas em três ensaios. Em adição foi realizado um ensaio de controle com camada de grãos de 2,5 centímetros e ausência da exposição à radiação e três repetições no ponto central.

**Tabela 2** Matriz do planejamento experimental DCC com os valores codificados e reais dos fatores utilizados na exposição das sementes pela radiação UV-C

Ensaio	Tempo de exposição (min)	Camada de grãos (cm)
1	1 (-1)	0,5 (-1)
2	1 (-1)	2,5 (+1)
3	9 (+1)	0,5 (-1)
4	9 (+1)	2,5 (+1)
5	5 (0)	1,5 (0)
6	5 (0)	1,5 (0)
7	5 (0)	1,5 (0)

Para avaliação do efeito da aplicação UV-C na redução de contaminação por aflatoxina em grãos não infestados por insetos, utilizaram-se grãos contaminados com aflatoxina na concentração de 11,40  $\mu\text{g}$  de B2.g<sup>-1</sup> de milho e 2,11  $\mu\text{g}$  de aflatoxina B2.g<sup>-1</sup> de milho. A aplicação de radiação foi realizada de acordo com a Tabela 2, de forma aleatorizada e imediatamente analisadas por HPLC-MS, e os resultados foram expressos em  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (ppb).

#### 4.5 Análise estatística

Para as análises estatísticas foi utilizado o *software* R (R CORE TEAM, 2020). Para os dados obtidos após a realização do experimento, foram analisadas as variáveis respostas (número de insetos vivos, número de insetos mortos, massa seca dos grãos e teor de água dos grãos) verificando-se os fatores: tempo de exposição à UV-C e número de dias de acompanhamento após a exposição, com 5% de significância pelo teste F. Além disso, foram realizados testes de correlação e ajustaram-se os modelos de regressão, para descrever o comportamento das variáveis respostas ao longo dos 120 dias. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para validar os modelos matemáticos obtidos. Para respostas, pelo valor da relação do F calculado/F tabelado, quanto maior é o F calculado, em relação ao F tabelado, melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais. O valor F da falta de ajuste também será comparado ao F tabelado (CHRIST, 2006).

Para análise estatística do efeito da aplicação de luz UV-C na redução de aflatoxinas dos grãos de milho foi utilizado o *software* computacional Protimiza Experimental Design. Os dados obtidos, após a realização do planejamento DCC 2<sup>2</sup>, foram analisados de maneira a calcular os efeitos principais e de interações das variáveis das respostas, determinando-se os fatores significativos ( $p < 0,1$ ) (BARROS NETO; SCARMINO; BRUNS, 2010).

#### **4.6 Proposta de um protótipo para aplicação em escala comercial da luz UV-C em unidades armazenadoras**

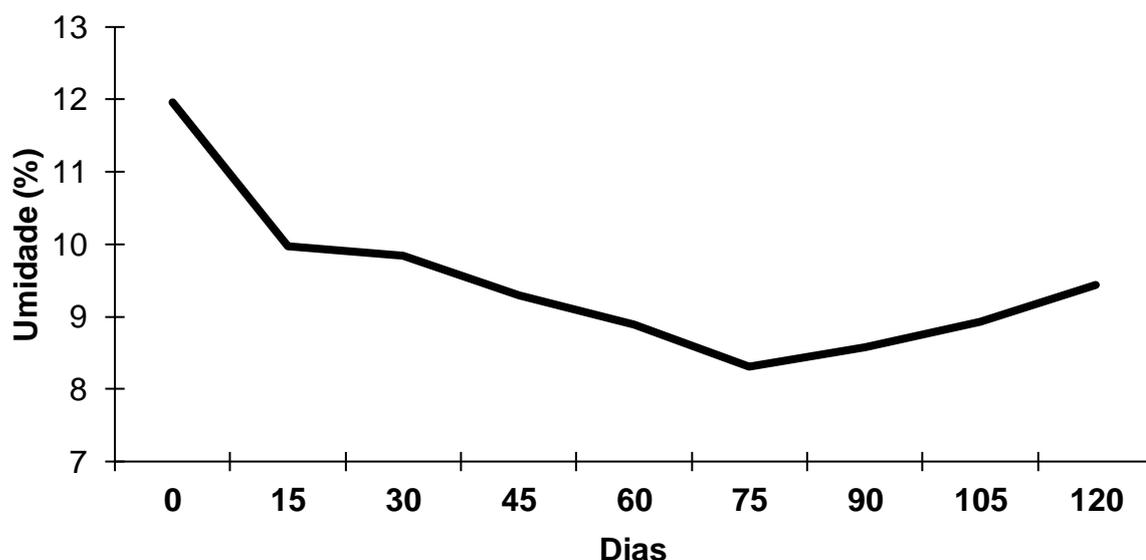
Após a avaliação das potencialidades de aplicação da radiação UV-C no controle de pragas e redução de contaminação por micotoxinas em grãos armazenados, foi realizado um estudo de caso em uma unidade armazenadora para a viabilidade de implantação de irradiadores de luz-UV-C. Inicialmente, foram realizadas visitas *in loco* para avaliação do fluxograma de recebimento e armazenamento de grãos com levantamento das principais operações unitárias. Após, foram elencados os pontos críticos em que existem maior possibilidade de implantação dessa tecnologia e que beneficiariam da aplicação de luz UV-C. Por fim, foi realizado com auxílio do *software* AutoCAD uma proposta de protótipo para futuros testes dentro da unidade armazenadora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Efeito da Luz UV-C em insetos

#### 5.1.1. Aplicação única de Luz UV-C no início do armazenamento dos grãos de milho

Foi observada variação do teor de umidade dos grãos durante o armazenamento (Figura 3). Essa variação pode ser devida ao comportamento higroscópico dos grãos, uma vez que houve controle de umidade e temperatura no ambiente de armazenamento (JAQUES et al., 2018). O teor de água em cada tempo de armazenamento foi utilizado para determinar a massa seca dos grãos, de modo que a perda de massa apresentada foi somente devida ao desenvolvimento dos insetos no período.



**Figura 3** Variação da umidade dos grãos durante o armazenamento.

Foi possível observar diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para massa seca dos grãos (Tabela 3). Os grãos que não tiveram aplicação de Luz UV-C apresentaram maior massa seca que os demais tratamentos podendo indicar perda de qualidade do produto. Porém, essas diferenças, apesar de significativas, não superaram 0,6% de perda de massa dos grãos. Valor baixo, mas que pode ser devido a processos fisiológicos desses grãos.

Para massa seca de grãos (Tabela 3) em relação ao dia 0, houve um decréscimo, indicando que a presença dos gorgulhos interferiu de modo a diminuir a massa de grãos. Como não houve interação entre os fatores avaliados e observando-se o efeito do tempo de armazenamento na alteração da massa seca dos grãos, a perda de massa desses grãos foi mais acentuada com o tempo, alcançando 3,5% quando se compara o início e o final do armazenamento, aos 135 dias. Isso pode ser devido ao consumo dos grãos pelos insetos, que foi cumulativo, indicando a importância de controle de pragas dentro de uma unidade armazenadora.

Segundo Collins e Kitchingman (2010), o controle das pragas de armazenamento deve ser bem delineado, de modo a controlar os insetos e garantir um armazenamento seguro dos produtos colhidos. Assim, a utilização de diferentes métodos de controle pode ser realizada de modo individual ou em conjunto, desde que garanta o máximo controle das pragas. Porém, a massa dos grãos decresceu significativamente com o aumento do tempo de exposição à luz UV-C, o que não era esperado. Esse fato indica que a luz UVC, aplicada apenas no início do armazenamento não apresentou efeito positivo.

Na análise de quantificação de insetos vivos (Tabela 4) e mortos (Tabela 5), a aplicação do tratamento da luz ultravioleta no início do armazenamento não afetou o ciclo do *Sitophilus*. Observou-se efeito apenas do fator tempo de armazenamento, pois ao final constatou-se redução na população de *Sitophilus* vivos, bem como menor número de insetos mortos, uma vez que houve diminuição dessa população.

**Tabela 3** Massa seca dos grãos de milho infestados com *Sitophilus* sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias

Nº de dias	Horas de exposição a UV-C							Média ± DP
	0	1	2	3	4	5	6	
0	180,33	180,25	180,23	180,2	180,19	180,16	180,25	180,23 <sup>a</sup> ± 0,07
15	178,66	177,57	178,17	177,93	177,43	177,57	177,57	177,84 <sup>b</sup> ± 0,62
30	178,18	176,96	177,47	177,3	176,81	176,91	176,97	177,23 <sup>c</sup> ± 0,66
45	178,48	177,51	177,99	177,81	177,52	177,53	177,64	177,78 <sup>b</sup> ± 0,54
60	177,13	175,88	176,41	176,34	175,93	175,73	175,92	176,19 <sup>d</sup> ± 0,77
75	175,83	174,29	174,87	174,64	174,37	174,11	174,11	174,60 <sup>f</sup> ± 0,92
90	176,77	175,46	175,96	175,67	175,56	175,3	175,17	175,70 <sup>e</sup> ± 0,81
105	176,32	175,48	175,93	175,77	175,36	175,41	175,34	175,66 <sup>e</sup> ± 0,60
120	174,68	173,85	174,25	174,05	173,83	173,79	173,73	174,02 <sup>g</sup> ± 0,63
135	174,56	173,78	174,22	174,00	173,77	173,69	173,68	173,96 <sup>g</sup> ± 0,54
Média ± DP	177,09 <sup>a</sup> ± 1,84	176,10 <sup>cd</sup> ± 1,98	176,55 <sup>b</sup> ± 1,95	176,37 <sup>bc</sup> ± 1,98	176,07 <sup>cd</sup> ± 1,96	176,02 <sup>d</sup> ± 2,02	176,04 <sup>cd</sup> ± 2,05	176,32 ± 1,98

**Tabela 4** Insetos vivos em grãos de milho infestados com *Sitophilus* sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias

Nº de dias	Horas de exposição a UV-C							Média ± DP
	0	1	2	3	4	5	6	
0	20	20	20	20	20	20	20	20,00 <sup>a</sup> ± 0,00
15	12	10,8	12	9,6	12,6	13,4	12,6	11,85 <sup>ab</sup> ± 3,10
30	4,8	6	4,8	6	6,4	8	9	6,42 <sup>de</sup> ± 2,94
45	2,6	3,6	2,6	4	2,8	5,4	5,4	3,77 <sup>ef</sup> ± 2,29
60	7,8	7	6,2	8,8	9,6	10,6	10	8,57 <sup>bcd</sup> ± 4,68
75	8,8	8,6	7,4	9,6	11,8	11,4	13,2	10,11 <sup>bcd</sup> ± 4,33
90	6,8	5	5,8	8,6	10,2	10,4	9,2	8,00 <sup>bcd</sup> ± 3,86
105	5,2	2	2,8	3,8	5,4	7	6,8	4,71 <sup>ef</sup> ± 3,25
120	3	2,2	2	1,4	3,6	5	3,2	2,91 <sup>f</sup> ± 2,58
135	2,2	3,8	1,2	1,4	3,8	4,4	2,2	2,71 <sup>f</sup> ± 3,04
	7,32 <sup>a</sup> ± 6,11	6,90 <sup>a</sup> ± 5,91	6,48 <sup>a</sup> ± 5,75	7,32 <sup>a</sup> ± 6,09	8,62 <sup>a</sup> ± 5,84	9,56 <sup>a</sup> ± 5,62	9,16 <sup>a</sup> ± 5,84	7,91 ± 5,93

**Nota:** DP: Desvio padrão. Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância.

**Tabela 5** Insetos mortos em grãos de milho infestados com *Sitophilus* sp. e irradiados com luz UV-C no início do armazenamento por 135 dias

Nº de dias	Horas de exposição a UV-C								Média ± DP
	0	1	2	3	4	5	6		
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	7,8	9,2	8,2	10,4	7,4	7,4	7,2		8,22 <sup>a</sup> ± 2,84
30	6	4,2	2,8	3	5,4	3,6	3		4,00 <sup>b</sup> ± 2,25
45	2,8	2,2	3,8	2,4	3,2	2,8	4		3,03 <sup>bd</sup> ± 1,37
60	1,8	3,2	2,2	2	2,2	4,4	3,2		2,71 <sup>bd</sup> ± 1,79
75	5	4,6	4,4	6,8	4,6	5,8	5,2		5,20 <sup>b</sup> ± 3,24
90	5	3,8	3,4	4,6	4,2	4	8		4,71 <sup>b</sup> ± 2,85
105	3	3,2	2,8	2,6	4,6	3,4	4,4		3,43 <sup>b</sup> ± 2,23
120	6,2	1,2	3	4,2	4,88	6,6	5,2		4,46 <sup>b</sup> ± 2,96
135	1,8	1,2	1,4	2	2,4	1,4	1,4		1,65 <sup>cd</sup> ± 1,23
	4,37 <sup>a</sup> ± 3,18	3,65 <sup>a</sup> ± 2,96	3,55 <sup>a</sup> ± 2,43	4,22 <sup>a</sup> ± 3,56	4,31 <sup>a</sup> ± 2,87	4,37 <sup>a</sup> ± 2,91	4,62 <sup>a</sup> ± 2,82		4,16 ± 1,88

**Nota:** DP: Desvio padrão. Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 3, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas para massa de grãos até 105 dias de avaliação e somente até 4 horas após a aplicação. Após esses períodos as médias são iguais estatisticamente.

Em relação ao número de insetos vivos (Tabela 4), salienta-se que aos 105 dias, comparado com 120 e 135 dias, não houve efeito significativo, indicando que o tratamento aplicado, nas condições estudadas, não interfere após esse período.

Observou-se redução da população de insetos durante o armazenamento. Porém, a aplicação de luz UV-C não causou alteração da população em relação ao controle em nenhum dos tempos de aplicação verificados. Isso pode ser devido à aplicação no início do armazenamento, quando ainda não há ovoposição. Indica-se ainda, que ovos mais velhos são mais suscetíveis do que os mais novos, o que pode explicar a ocorrência de novos insetos nos potes, tempos depois. Ainda em relação aos ovos, os efeitos da radiação atuam diretamente na composição dos ácidos nucleicos, bioquímicos ou fisiológicos, afetando negativamente o desenvolvimento dos insetos, ocorrendo a degradação do feromônio, reduzindo a taxa de fecundação das fêmeas e produzindo menores quantidades de ovos (HORI et al., 2014). Desse modo, a aplicação de luz UV-C nos grãos recém armazenados pode não ter sido suficiente para atingir os insetos alvo, não afetando seu ciclo vida como esperado.

Na irradiação de alimentos, os principais fatores que influenciam a economia incluem: parâmetros de projeto de irradiação, como a dose aplicada, a densidade de acondicionamento dos produtos, as condições de manuseio, como produtos secos, deterioráveis, que necessitam de temperatura de conservação controlada, uniformemente da dose e produtividade operacional.

Ferreira et al. (2018), também verificando o efeito da luz UV-C no controle de *S. zeamais* no armazenamento de grãos de milho, observaram efeito assertivo da irradiação dos grãos sobre a população adulta dos gorgulhos, comparando-se com os estágios imaturos, não afetou a qualidade dos grãos. Em seu estudo, esses pesquisadores constataram que houve redução do número de insetos vivos, redução na perda da massa de grãos e um menor número de grãos danificados, diferindo do presente trabalho. Ainda, Ferreira et al. (2017), utilizando a luz UV-C, no controle de *S. zeamais* observaram um efeito confirmativo na redução de insetos vivos, contudo, a radiação acabou afetando as propriedades antioxidantes de milho.

Enu, R., & Enu, P. (2014), também realizando estudos da interferência da radiação UV-C no controle de *S. zeamais* em grãos de milho, constataram uma eficiência no controle dos insetos adultos: 100 e 99,5% de mortalidade desses insetos por 52 e 21 dias, respectivamente.

Em seus estudos, Tungjitwitayakul et al. (2016) apresentaram resultados semelhantes ao encontrados no presente trabalho, em que a aplicação da radiação UV-C não apresentou

efeito significativo na redução da população dos gorgulhos adultos, mas indicam que essa radiação foi mais efetiva nos ovos, larvas e pupas. Os efeitos da radiação são incontestáveis, uma vez que a mortalidade dos insetos é ocasionada devido aos radicais livres da radiação, os quais são muito reativos, danificando o DNA e as estruturas da membrana celular, garantindo a morte dos insetos. Contudo, em casos em que a aplicação não foi efetiva, a redução pode ser explicada muitas das vezes pela camada de grãos, que pode interferir com menor potencial, conforme relatado por Silva (2021).

## 5.2 Insetos vivos e mortos por aplicação de luz UV-C a cada 15 dias, num período de 120 dias

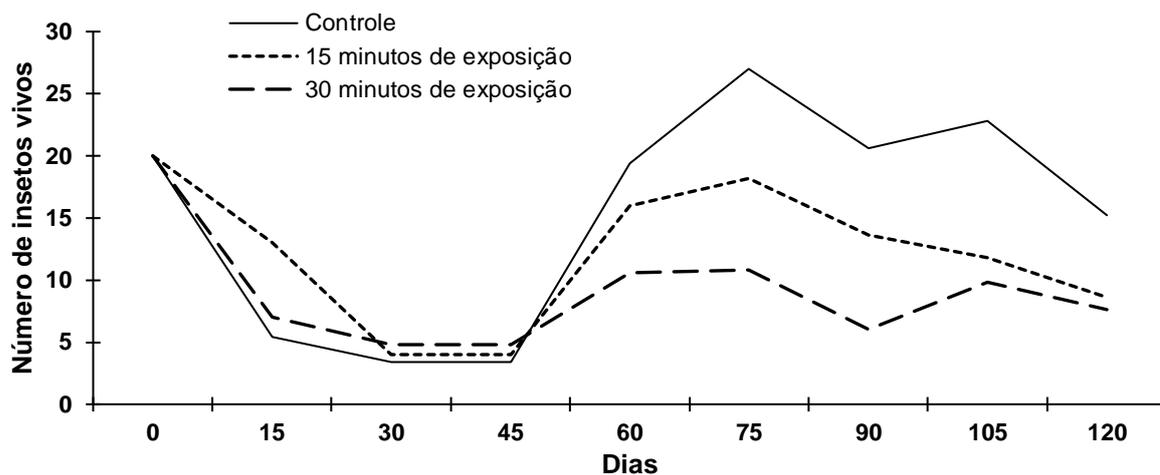
Para testar a influência da aplicação intermitente de luz UV-C, foi realizado novo experimento com aplicação de radiação a cada 15 dias durante o armazenamento em grãos de milho infestados com *Sitophilus sp.*

A quantidade de gorgulhos vivos nos tratamentos de 15 e 30 minutos de aplicação de luz UV-C foi diferente do grupo controle, mostrando a efetividade no controle parcial de nascimentos de novos insetos, ou seja, nas amostras tratadas com luz UV-C observou-se a redução no número de gorgulhos vivos (Tabela 6). Observa esse comportamento no gráfico da Figura 4, relacionando o número de insetos vivos nos diferentes tratamentos com o decorrer do tempo.

**Tabela 6** Médias dos números de insetos vivos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento

Tempo	Número de insetos vivos		
	Controle	15 minutos de exposição	30 minutos de exposição
0	20 a	20 a	20 a
120	15,2 ± 1,483*a	8,6 ± 2,191*b	7,6 ± 3,578*b
C.V (%) = 19,17			

**Nota:** [a, b] Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais entre os tratamentos pelo teste de Tukey.



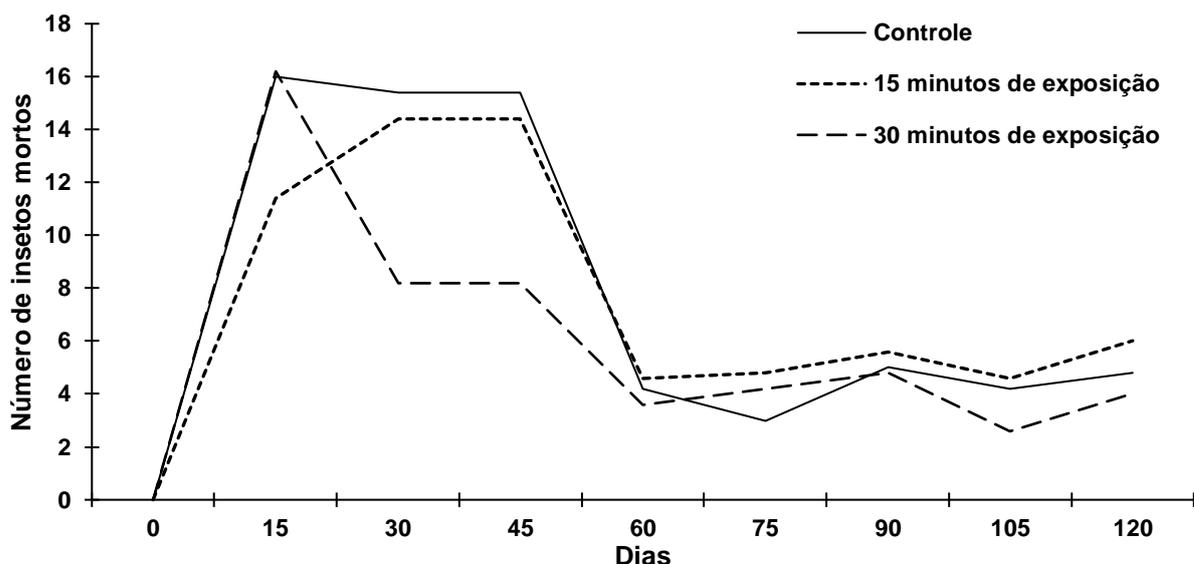
**Figura 4** Médias dos números de insetos vivos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento.

Observou-se que número de gorgulhos vivos foi superior no grupo controle e este fato pode estar relacionado à influência da exposição das amostras à luz UV-C e o seu efeito nos ovos e na pupa dos gorgulhos, uma vez que a oviposição ocorre no grão, desenvolvendo geralmente uma larva por local de oviposição e o ovo a eclodir primeiro, preda outros ovos colocados no mesmo grão, diminuindo a competição por substrato alimentar (GUEDES et al., 2010). Dessa maneira, quando expostos à luz UV-C, os *Sitophilus* em fase de ovo ou pupa foram afetados, revelando a diferença no número de insetos vivos dos grupos expostos a radiação UV-C e o grupo controle (FERREIRA et al., 2018). Como o uso de inseticidas liberados para controle de insetos é reduzido, no sentido de diferentes moléculas de ação, alternativas torna-se eficazes, como por exemplo, o uso da luz UV-C, que com comprimentos de onda curtos (100-280 nm) conseguem afetar negativamente a molécula de DNA dos insetos, garantindo uma redução na reprodução destes insetos (DARRAS et al., 2021).

Verificou-se que não houve diferença significativa entre o tratamento com 15 minutos de exposição e o de 30 minutos de exposição (Tabela 6), não se pode afirmar a dose efetiva, mas observando-se efeito de redução a partir dos 15 minutos de exposição.

Observou-se também que o pico de insetos vivos ocorreu a partir do dia 45, o que é compatível ao ciclo de vida do *Sitophilus*, uma vez que os insetos foram inseridos nas amostras já com maturidade sexual, podendo ter ocorrido a oviposição no período próximo de sua ambientação com os grãos de milho, uma vez que havia condições ótimas de umidade e temperatura (ROSSETO, 1972).

Ao analisar-se o número de insetos mortos no experimento, verificou-se que não houve diferença na taxa de mortalidade entre os grupos, uma vez que a aplicação de luz UV-C nos insetos adultos não foi significativa para o aumento da taxa de mortalidade deles (Figura 5).



**Figura 5** Médias dos números de insetos mortos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento.

Além disso, na Figura 5 é possível observar uma queda no número de insetos mortos a partir do dia 60 do experimento, demonstrando que, a partir desse ponto, houve uma certa estabilização, independentemente do tratamento. Na Tabela 7 estão apresentados os dados de insetos mortos.

**Tabela 7** Médias dos números de insetos mortos em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento

Tempo	Número de insetos mortos		
	Controle	15 minutos de exposição	30 minutos de exposição
0	0	0	0
120	4,8 ± 2,588*a	6 ± 3,674*a	4 ± 1,871*a
C.V (%) = 58,82			

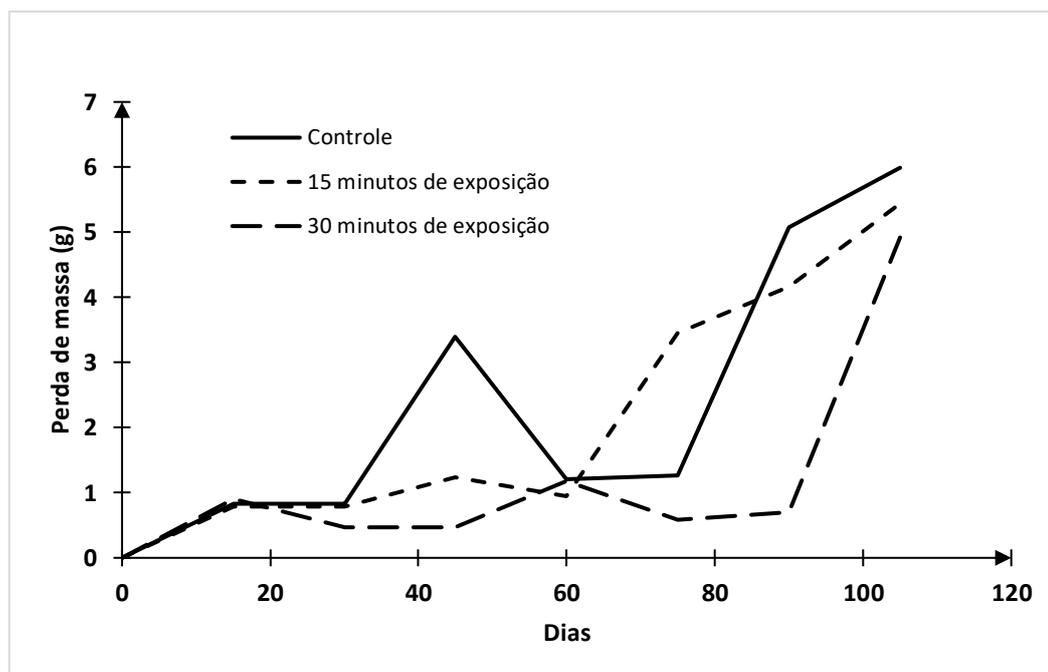
**Nota:** [a, b] Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

A análise de perda de massa revelou que não houve diferença significativa entre os tratamentos, como se pode verificar pelos dados na Tabela 8 e no gráfico da Figura 6.

**Tabela 8** Médias dos números de perda de massa em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento

Tempo	Perda de massa (g)		
	Controle	15 minutos de exposição	30 minutos de exposição
0	0	0	0
120	5,995 ± 0,27*a	5,44 ± 0,38*a	4,922 ± 0,157*a
%	2,997%	2,72%	2,46%
C.V (%) = 9,76			

**Nota:** [a, b] Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais entre os tratamentos pelo teste de Tukey.



**Figura 6** Médias da perda de massa em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento.

O teor de umidade das amostras diminuiu no decorrer da armazenagem dos grãos, resultando na secagem do milho, conforme demonstrado na Figura 3. Segundo Correa (2020), esse fato se deve ao produto estar sujeito ao equilíbrio higroscópico, em contato com a temperatura e umidade relativa do ambiente, sofrendo alterações de umidade como observado na Tabela 9.

**Tabela 9** Teores de umidade em grãos de milho controle e irradiados com luz UV-C após 120 dias de armazenamento

Tratamento	Teor de água nos grãos
INICIAL	9,71%
FINAL tratamento controle	8,90%
FINAL tratamento 15 min	8,86%
FINAL tratamento 30 min	8,92%

### 5.3 Avaliação do efeito de aplicação de luz UV-C em grãos contaminados com aflatoxina

#### 5.3.1 Caracterização inicial do produto

Na Tabela 10 estão apresentadas as concentrações iniciais de aflatoxina nos grãos não tratados, considerados controle, os quais apresentavam somente as aflatoxinas B1 e B2 e concentrações que G1 e G2 abaixo de limite de detecção do método.

**Tabela 10** Caracterização dos grãos de milho sem aplicação da UV-C (controle)

Aflatoxina	Concentração inicial ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )
B1	11,40
B2	2,11
G1	<1
G2	<1

**Nota:** Limite de detecção:  $1\mu\text{g.g}^{-1}$ .

Nos grãos contaminados naturalmente (Tabela 10), detectou-se presença apenas das aflatoxinas B1 e B2, sendo que B1 foi predominante na amostra avaliada. Os resultados são coincidentes com os de Kawashima e Soares (2006), os quais não encontraram as aflatoxinas G1 e G2 em 74 amostras de produtos à base milho. O teor máximo de aflatoxina B1 encontrado foi de  $20\mu\text{g/kg}$ . Ramos, Brasil e Geraldine (2008), avaliando grãos de milho na região de Goiás, encontraram maior contaminação por aflatoxina B, a qual tendeu a ser maior que as demais aflatoxinas. Porém, os autores encontraram aflatoxinas G2, diferente deste trabalho, e teores de B1 que alcançaram valores de  $277,8\mu\text{g.kg}^{-1}$ , indicando que os tipos de aflatoxina encontrados bem como a concentração podem apresentar grandes variações.

#### 5.3.2 Efeito da utilização da radiação UV-C sobre a descontaminação dos grãos de milho

Para testar a efetividade da aplicação de luz UV-C no controle de micotoxinas em grãos de milho, foram testados os parâmetros de tempo de aplicação e altura da camada de grãos, sendo avaliada a redução de aflatoxinas em amostras contaminadas. Na Tabela 11 estão apresentados os resultados das análises dos efeitos da radiação UV-C sobre a concentração de aflatoxina B1 dos grãos de milho. Observou-se efeito significativo da camada de grãos ( $p<0,10$ ). A análise dos efeitos foi realizada apenas para a aflatoxina B1, pois foi a única que apresentou concentrações acima da faixa detectável pela técnica.

**Tabela 11** Efeitos das interações do planejamento DCC 2<sup>2</sup> para a resposta concentração de aflaxotinas B1 nos grãos de milho após a radiação UV-C

	Efeito	Coefficiente	Erro padrão	t- Calculado	p-valor
Média		61,182	2,348	26,054	0,000
X1 Tempo de exposição		-4,125	2,754	-1,498	0,208
X2 Camada de grãos	*	-9,250	2,754	-3,359	0,028*
X <sub>1</sub> · X <sub>2</sub>		1,000	2,754	0,363	0,735

**Nota:** \* Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

Na Tabela 12 é possível observar que somente a aflatoxina B1 foi observada, mesmo após a aplicação da luz UV-C com tempo de 9 e 5 minutos com camadas de grãos de 2,5 e 1,5 cm, respectivamente.

**Tabela 12** Concentração de aflatoxina após aplicação da UV-C

Ensaio	Tempo de exposição (min)	Camada de grãos (cm)	B1 (µg.g <sup>-1</sup> )	B2 (µg.g <sup>-1</sup> )	G1 (µg.g <sup>-1</sup> )	G2 (µg.g <sup>-1</sup> )
1	1 (-1)	0,5 (-1)	<1	<1	<1	<1
2	1 (-1)	2,5 (+1)	<1	<1	<1	<1
3	9 (+1)	0,5 (-1)	<1	<1	<1	<1
4	9 (+1)	2,5 (+1)	2,79	<1	<1	<1
5	5 (0)	1,5 (0)	1,49	<1	<1	<1
6	5 (0)	1,5 (0)	<1	<1	<1	<1
7	5 (0)	1,5 (0)	<1	<1	<1	<1

A aplicação de luz UV-C teve efeitos significativos (Tabela 11) e positivos na qualidade dos grãos contaminados com aflatoxina. O tempo de exposição testado não foi significativo, uma vez que o menor tempo já foi suficiente para eliminação total desse contaminante nos grãos (Tabela 12). Observou eliminação de micotoxinas nos grãos contaminados na maioria dos ensaios, demonstrando a efetividade da aplicação de luz UV-C em redução de aflatoxinas.

Observou-se ainda efeito significativo da camada de grãos em relação à redução de aflatoxinas. A redução da altura da camada tem efeito confirmatório na eliminação dessas micotoxinas. Esse fato é importante para seleção de locais de aplicação dessa tecnologia em situações reais, pois esse é um fator limitante. Quanto menor a camada mais efetiva é a aplicação, o que pode ser explicado pela baixa penetração dessa radiação (BABAE; KARAMI-OSBOO; MIRABOLFATH, 2021; UDOVICKI et al., 2022).

#### 5.4 Proposição de protótipo para aplicação em escala comercial da luz UV-C em unidades armazenadoras

Em visitas guiadas por técnicos da empresa armazenadora PLANTAR foi possível acompanhar todo o fluxograma desde o recebimento do milho até o armazenamento final em silos metálicos. Durante esses estudos, foram realizados registros fotográficos dos locais de difícil acesso e que podem acumular grãos, os quais podem ser inóculos de contaminação tanto por insetos quanto por fungos produtores de micotoxinas (Figura 7).

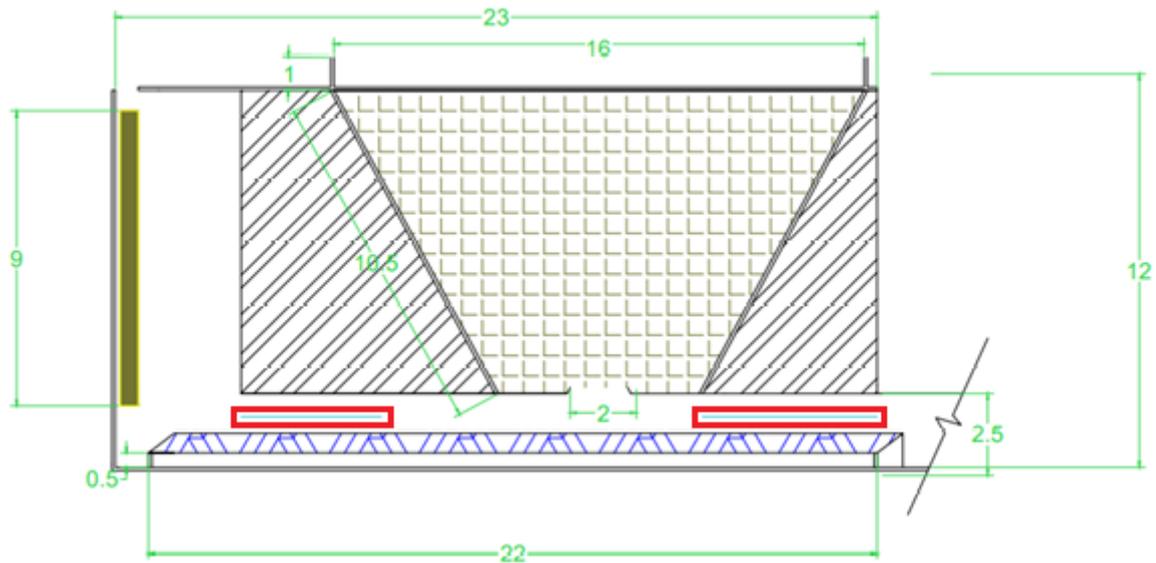


**Figura 7** Registro fotográfico de pontos críticos dentro da unidade armazenadora: (a) visão externa da área de recepção de grãos/moega; (b) base da moega/distribuição dos grãos; (c) base da moega/ detalhe da esteira; (d) fita transportadora - subsolo.

Na unidade armazenadora utilizada como objeto de estudo, os carregamentos de milho são recepcionados e tombados nas moegas; em seguida o produto é direcionado por meio de correias transportadoras a elevadores responsáveis pela elevação dele aos dutos

que o introduz nos equipamentos de limpeza. Observou-se, por meio de visitas técnicas à unidade em estudo, que o local de maior acúmulo de grãos e de mais difícil acesso à limpeza frequente fica nessa área

Desse modo, priorizou-se propor a aplicação da tecnologia estudada dentro dessa moega. Para tanto, foi realizado um levantamento da estrutura da moega, apresentada na ilustração da Figura 8, com destaque em vermelho para instalação da luz UV-C.



**Figura 8** Desenho e cotas da moega em estudo para implantação do protótipo.

Observa-se no esquema da moega: o local no qual há acúmulo de grãos, os quais são inóculos para o crescimento de insetos e fungos produtores de micotoxinas; o local adequado para instalação de um protótipo contendo lâmpadas de UV-C, adicionados; o local para acionamento do sistema fora do local confinado.

## 6 CONCLUSÃO

A redução de *Sitophilus zeamais* e de aflatoxinas em grãos de milho é fundamental para manter a qualidade do produto armazenado. Esta pesquisa foi desenvolvida com esse objetivo e os resultados obtidos permitem concluir que:

- uma aplicação única de luz UV-C, no início do armazenamento, não foi efetiva para o controle da infestação;

- tempos de aplicação de 15 minutos em intervalos de 15 dias foram suficientes para reduzir população inicial de *Sitophilus sp*;

- a aplicação luz UV-C reduz a aflatoxina em grãos já contaminados, mesmo em menores tempos de exposição;

- a altura da camada de grãos influencia nesse processo, pois essa radiação tem baixo poder de penetração, sendo uma barreira para a aplicação dentro de alguns locais na unidade armazenadora.

Em relação ao protótipo proposto, ele deve ser implantado em local cujo acesso seja difícil e que possua acúmulo de grãos em camadas, como ocorre na moega de recepção de grãos de uma unidade armazenadora.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da relevância dos resultados já obtidos, justifica-se a importância da continuidade desta pesquisa, com implementação de protótipo em teste de controle na unidade recebedora de grãos, em local indicado como ponto crítico, para funcionar como parte do manejo integrado de pragas e a avaliação de incidência em situação real, explorando o potencial da aplicação de Luz UV-C, como metodologia de controle e redução de *Sitophilus zeamais* e de aflatoxinas em grãos de milho armazenados,

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Marina Rodrigues. **Ação *in vitro* e *in vivo* do ozônio sobre células de linhagem embrionária (RML-RSE e ISE6) e fêmeas adultas de carrapatos *Rhipicephalus linnaei* semi-ingurgitadas**. 2023. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Rio Claro – SP, 2023,
- AGUIAR, Raimundo Wagner Souza; OLIVEIRA, Carlos Romero Ferreira; MATOS, Cláudia Helena Cysneiros; FARONI, Leda Rita D'Antonino. Uso do congelamento no controle de insetos-praga de grãos armazenados. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 19, n. 2, p. 21-25, 2003.
- AHMED, Naser M. SABAH, Fayroz; ABDULGAFOR, H.; ALSADIG, Ahmed; SULIEMAN, Abdelmoneim; ALKHOARYEF, M. The effect of post annealing temperature on grain size of indium-tin-oxide for optical and electrical properties improvement. **Results in Physics**, v. 13, p. 102159, 2019.
- ALAM, Jewel; AHMED, Kazi Shahanara; HOSSEN, Billal; HOQUE, Mozammel ; HOQUE, A.B.M. Zahidul. Storage pests of maize and their status in Bangladesh. **Journal of Bioscience and Agriculture Research**, v. 20, n. 2, p. 1724-1730, 2019.
- ALMEIDA, Sérgio Luiz. **Efeitos da radiação ultravioleta-b na organização celular e fisiológica da estrutura foliar de *Oryza sativa* (L.) Cultivar Epagri 108**. 2013. 98 f. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Desenvolvimento) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF ASSOCIATION EXECUTIVES – ASAE. **Umidade grãos e sementes não moídos de medição**. No Standards, American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. 2000
- ANTUNES, Luidi E. G. VIEBRANTZ, Priscila C.; GOTTARDI, Roberto; DIONELLO, Rafael G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 15, n. 6, p. 615-620, 2011.
- ARMAS, Laura A. G.; HOLLIS, Bruce W.; HEANEY, Robert P. Vitamin D2 is much less effective than vitamin D3 in humans. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 89, n. 11, p. 5387-5391, 2004.
- BABAE, Reza; KARAMI-OSBOO, Rouhollah; MIRABOLFATHY, Mansoureh. An overview of effective detoxification methods for aflatoxin-contaminated pistachio. **Pistachio and Health Journal**, v. 4, n. 2, p. 75-93, 2021.
- BARROS NETO, Benício; SCARMINO, Ieda. S.; BRUNS, Roy E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BARROS, José F. C; CALADO, José G. **A cultura do milho**. Évora - PT: Universidade de Évora, 2014. Apostila.
- BHARDWAJ, Manisha; SOANES, Kylie; LAHOZ-MONFORT, José J.; LUMSDEN, Linda F.; VAN DER REE, Rodney. Little evidence of a road-effect zone for nocturnal, flying insects. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 1, p. 65-72, 2019.

BHUSAL, K.; KHANAL, D. Role of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. on spread of *Aspergillus section flavi* in different Nepalese maize varieties. **Advances in agriculture**, v. 10, n. 5, p.1-5, 2019.

BILHALVA, Nairiane dos Santos. **Monitoramento de fatores bióticos e abióticos para controle da qualidade de grãos de milho armazenados em silos verticais**. 2022. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DAS. **O que é radiação Ultra Violeta?** Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>. Acesso em: 1 maio 2021.

BUSHRA, S.; ASLAM, M. Management of *Sitotroga cerealella* in stored cereal grains: a review. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 19, p. 2365-2376, 2014.

CAMPOS, J. A.; Vieites, L. R.; **Revista Eletrônica de Agronomia** 2009, 16, 20.

CARDOSO FILHO, F. C. F.C.; CALVET, R. M.; PEREYRA, C. M. PEREIRA, M. M. G.; ROSA, C. A. R. TORRES, A. M.; MURATORI, M. C. S. Ocorrência de *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.* e aflatoxinas em amostras de farinha de milho utilizadas no consumo humano, Piauí, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo – SP, v. 78, p. 443-447, 2020.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis – SC, v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.

CHRIST, D. **Secagem de clara de ovo em leito de jorro fluidizado bidimensional**. 2006. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2006.

COLLINS, D. A.; KITCHINGMAN. L. The effect of ultraviolet C radiation on stored-product pests. **Julius-Kühn-Archiv**, n. 425, p. 632-636, 2010.

COLUSSI, Rosana. **Acetilação em amido de arroz com diferentes teores de amilose e elaboração de filmes biodegradáveis**. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Séries históricas das safras: milho**. 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CORREA, Ana Carolina Burlan. **Medidor de umidade de grãos com interface de usuário utilizando protocolos de comunicação para Internet das Coisas**. 2020. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2020.

COSTA, M. F. **Qualidade e riscos de contaminações de produtos armazenados**. 2012. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Processamento Pós-Colheita de Grãos e Sementes) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2012.

COUTINHO, Enilton Fick; SILVA JUNIOR, Joel Lima da; HAERTER, Janni André; NACHTIGALL, Gilson Ribeiro; CANTILLANO, Rufino Fernando Flores. Aplicação pós-colheita de luz ultravioleta (UV-C) em pêssegos cultivar Jade, armazenados em condição ambiente. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 663-666, ago. 2003.

DARRAS, Anastasios I. SKOURAS, Panagiotis J.; ASSIMOMITIS, Panagiotis.; LABROPOULOU, Chara; STATHAS, George J. Application of UV-C Irradiation to Rosa x hybrida Plants as a Tool to Minimise *Macrosiphum rosae* Populations. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 702, 2021.

DELIBERADOR, Lucas Rodrigues; DE MELLO, Luciana Torres Correia; BATALHA, Mário Otávio. Perdas de grãos no transporte e armazenagem: uma revisão sistemática da literatura com análise bibliométrica. **Gepros: Gestão da produção, operações e sistemas**, v. 14, n. 5, p. 174-189. 2019.

ELIAS, M. C. **Armazenamento e conservação dos grãos**. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul. Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul. Pelotas, p.1-83, 2003.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1. ed. Pelotas: UFPEL, 2007. v. 1. 424 p.

ELY, Anderson. Redução da qualidade de grãos de soja durante o armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura. **Revista Thema**, v. 15, n. 2, p. 506-520, 2018.

ENU, R., & ENU, P. (2014). Sterilization of grains using ionizing radiation: The case in Ghana. **European Scientific Journal**, 10(6).

FARONI, L. R. A.; SILVA, J. S. Manejo de pragas no ecossistema de grãos armazenados. In: SILVA, J. S. (Org.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2 ed. Viçosa: Aprende Fácil, 2008. v. 1, p. 371-406,

FARUKI, S. I.; DAS, D. R.; KHAN, A. R.; KHATUN, M. Effects of ultraviolet (254nm) irradiation on egg hatching and adult emergence of the flour beetles, *Tribolium castaneum*, *T. confusum* and the almond moth, *Cadra cautella*. **Journal of Insect Science**, v. 7, n. 1, 2007.

FERREIRA, Cristiano D.; ZIEGLER, Valmor; CAPPELARI, Marcelo R.; PETER, Marcio; OLIVEIRA, Maurício. Pré-tratamento com radiação uv-c: influências sobre as propriedades tecnológicas e metabólitos em feijão armazenado. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 2, p. 1–15, 2017. ISSN2448-3184.

FERREIRA, Cristiano D.; ZIEGLER, Valmor; GOEBEL, Schwanz J. T.; LANG, Gustavo H.; ELIAS, Moacir C.; OLIVEIRA, Maurício. Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). **Journal Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, e13453. 2018.  
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13453>.

FORNASIERI FILHO, Domingos. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal – SP: Funep, 2007.

GARCIA, Giovanni O. FERREIRA, Paulo A.; SANTOS, Delfran B.; OLIVEIRA, Flávio G.; MIRANDA, Glauco V. Estresse salino em plantas de milho: I-macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 26-30, 2021.

GHANEM, I.; ORFI, M.; SHAMMA, M. Biodegradation of chlorophyris by *Klebsiella* sp. isolated from an activated sludge sample of waste water treatment plant in damascus. **Folia Microbiologica**, v. 52, p. 423-427, 2007.

GOUVÊA, Marcos M.; LIMA, Glayce S.; SILVA NETO, Adalberto A.; PEREIRA NETTO, Annibal D.; MARQUES, Flávia F. C. Application of ultraviolet radiation as a contribution to green chemistry and construction of an alternative and low-cost photochemical reactor for pre-treatment of samples. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 337-343, 2014.

GUEDES, Nelsa Maria P.; GUEDES, Raul Narciso C.; CAMPBELL, James F.; THRONE, James E. Contest behavior of maize weevil larvae when competing within seeds. **Animal Behaviour**, v. 79, n. 2, p. 281-289, 2010.

HORI, Masatoshi; SHIBUYA, Kazuki; SATO, Mitsunari; SAITO, Yoshino. Lethal effects of short-wavelength visible light on insects. **Scientific reports**, v. 4, n. 1, p. 7383, 2014.

INGEGNO, Barbara L.; MESSELINK, Gerben J.; LEMAN, Ada; SACCO, Dario, Tavella, Luciana. Show moreDevelopment and thermal activity thresholds of European mirid predatory bugs. **Biological Control**, v. 152, A.104423, 2021.

JAQUES, Lanes Beatriz Acosta. ELY, Anderson; HAREBERLIN, Luana; MEDEIROS, Elton Pilar; PARAGINSKI. Ricardo Tadeu. Efeitos da temperatura e da umidade dos grãos de milho nos parâmetros de qualidade tecnológica. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 4, n. 3, p. 409-420, 2018.

JIMÉNEZ-GALINDO, José Cruz; CASTILLO-ROSALES, Adán; CASTELLANOS-PÉREZ, Gloria; OROZCO-GONZÁLEZ, Francisco; ORTEGA-ORTEGA, Adalberto; PADILLA-CHACÓN, Daniel. BUTRÓN, Ana; REVILLA **Pedro**; ROSA, **Ana Malvar**. Identification of Resistance to the Corn Weevil (*Sitophilus zeamais* M.) in Mexican Maize Races (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 312, 2023.

KAWASHIMA, Luciane Mie; VALENTE SOARES, Lucia Maria. Incidência de fumonisina B1, aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, ocratoxina A e zearalenona em produtos de milho. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 516-521, 2006.

KUMAR, Vikas; FAWOLE, Femi J; ROMANO, Nicholas; HOSSAIN, M. D. Sakhawat; LABH, Shyam N.; OVERTURF, Ken; SMALL. Brian C. Insect (black soldier fly, *Hermetia illucens*) meal supplementation prevents the soybean meal-induced intestinal enteritis in rainbow trout and health benefits of using insect oil. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 109, p. 116-124, 2021.

KUMARI, Neha; KUMAR, Vinod; KUMAR, ANUPAM; Kumar, ALOK; Sati, KAILASH; PRAKASH, Om; KAPOOR, Nalini; Biology of *Sitophilus zeamais* Motsch. On maize grains under laboratory condition. **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 9, p. 1388-1391, 2022.

LORINI, Irineu. Perdas anuais em grãos armazenados chegam a 10% da produção nacional. **Visão agrícola**, Piracicaba – SP, v. 13, p. 127-129, 2015.

LORINI, Irineu; KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos; FRANÇA-NETO, José de Barros; HENNING, Ademir Assis; HENNING, Fernando Augusto. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 84 p.

MACEDO NETO, Acácio Pereira; IVALE. André Henrique; DUARTE, Aparecido Carlos et al. Análise do relacionamento entre grãos armazenados e categoria de gestão de sistemas de

armazenagem no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e42411932060-e42411932060, 2022.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MATTOS, Ana; KREWER, Analu; ECCEL, Camila; WILL, Juliano. O uso de óleos essenciais para o controle de pragas do milho. **Estrabão**, v. 2, p. 139-147, 2021.

MIR, Shabir Ahmad; MUDASIR, Bashir Mir; MANZOOR, Ahmad Shah; AFSHAN, Mumtaz Hamdani; KAPPAT, Valiyapeediyekkal Sunooj; YUTHANA, Phimolsiripol; AMIN, Mousavi Khaneghah. New prospective approaches in controlling the insect infestation in stored grains. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 26, n. 2, p. 1-10, 2023.

PÁEZ, Carmen Liliana Rodríguez; REYES, María Cristina Pérez; AGUILAR, Claudia Hernández; PACHECO, Flavio Arturo Domínguez; MARTÍNEZ, Ernesto Moreno; OREA, Alfredo Cruz, Bonilla, José Luis López. Control of natural mycobiota in maize grains by ultraviolet (UVC) irradiation. **Acta Agrophysica**, v. 18, n. 2, p. 375-388, 2011.

PEREIRA, Pedro A Arraes; MARTHA JR., Geraldo B; SANTANA, Carlos A. M.; ALVES, Eliseu. The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. **Agriculture & Food Security**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 19 abr. 2012. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-4>.

PINTO JR., Airton R.; PEREIRA, Paulo R.V.S.; FURIATTI, Rui S.; LAZZARI, Flávio A. Avaliação de inseticidas no controle de *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), e *Rhyzopertha dominica* (Fab.) (Coleoptera: Bostrichidae) em arroz armazenado. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 26, n. 3. p. 285-290, 1997.

PONCE, Marco A.; LIZARRAGA, Sandra.; BRUCE, Alexander.; KIM, Tania N.; MORRISON, William R. Grain Inoculated with Different Growth Stages of the Fungus, *Aspergillus flavus*, Affect the Close-Range Foraging Behavior by a Primary Stored Product Pest, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Environmental Entomology**, v. 51, n. 5, p. 927-939, 2022.

POPOVIĆ, Vladimir; FAIRBANKS, Nicholas; PIERSCIANOWSKI, Jacob; BIANCANIELLO, Michael; ZHOU, Ting; KOUTCHMA, Tatiana. Feasibility of 3D UV-C treatment to reduce fungal growth and mycotoxin loads on maize and wheat kernels. **Mycotoxin Research**, v. 34, n. 3, p. 211-221, 2018.

PRESTES, Isabele D.; ROCHA, Liliana O.; NUÑEZ, Karen V. M.; SILVA, Nathália C.C. Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. **Scientia Agropecuária**, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 10/04/2023.

RAMOS, Cristiane Regina Bueno Aguirre; BRASIL, Edward Madureira; GERALDINE, Robson Maia. Contaminação por aflatoxinas em híbridos de milho cultivados em três regiões do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 95-102, 2008.

RAMOS, Milena Yumi; RAMOS, Simone Yuri. Armazenagem agrícola no Brasil: necessidade, disponibilidade e apoio governamental. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXXI, n. 3, p. 7-25, 2022.

REGES, Juliana Teodora de Assis; RODRIGUES, Josiane Walleria; SILVA, Duarte Ramalho et al. Identificação de fungos e micotoxinas em grão de milho. **Revista Cultura Agrônômica**, Brasília – DF, v. 25, n. 2, p. 147-154, 2016.

ROCHA, Artur Batista de Oliveira. Efeito da luz fluorescente e da radiação UV-C no controle da podridão seca e rhizoctoniose em batata-semente após a colheita. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo -SP, Ano 4, n. 3, v.4, p. 155-169, 2019.

ROCHA, Marcicleia Pereira; TAVEIRA, José Henrique da Silva; PRADO, Sirley Martins Alves; ATAÍDE Maíra Vieira. Sistema de armazenamento e incidência dos principais fungos produtores de micotoxinas em grãos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50176-50193, 2020.

ROSSETO, C. J. **Resistência de milho as pragas da espiga, *Helicoverpa zea* (Boddie), *Sitophilus zeamais* Motschulsky e *Sitotroga cerealella* (Olivier)**. 1972. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queirós, Piracicaba 1972.

SILVA, Letícia Barbosa. **Radiação UV-C: efeito na redução de contaminação fúngica em sementes de soja armazenadas**. 2021. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2021.

SIROHI, Ranjna; TARAFDAR, Ayon; GAUR, Vivek Kumar et al. Technologies for disinfection of food grains: Advances and way forward. **Food Research International**, v. 145, A.110396, 2021.

SISMAN, Can Burak; ALBUT, Selcuk. Grain storage management. In: **Proceedings of 3rd Annual International Symposium on Agriculture Research**. Athens -Greece. July 15-18, 2010. p.1-71.

STATHERS, Tanya E.; ARNOLD, Sarah E. J., RUMNEY, Corinne J.; HOPSON, Clare. Measuring the nutritional cost of insect infestation of stored maize and cowpea. **Food Security**, v. 12, p. 285-308, 2020.

TUNGJITWITAYAKUL, Jatuporn; SUPPASAT, Tipwan; TATUN, Nujira. Adverse effects of UV-C irradiation on the morphology of reproductive organs, fecundity, and fertility of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera; Tenebrionidae). **Polish Journal of Entomology**, v. 91, n. 2, p. 56-67, 2022.

TUNGJITWITAYAKUL, Jatuporn; TATUN, Nujira; VAJARASATHIRA, Boongeua; SAKURAI, Sho. Effects of ultraviolet-C and microwave irradiation on the expression of heat shock protein genes in the maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). **European Journal of Entomology**, v. 113, p. 135-142, 2016.

TUNGJITWITAYAKUL, Jatuporn; YASANGA, Thippawan; TATUN, Nujira. Impact of UV-C radiation on morphology of the antenna and antennal sensilla in *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 13, n. 1, p. 648-656, 2020.

UDOVIČKI, Bozidar; STANKOVIĆ, Slavica; TOMIĆ, Nikola et al. Evaluation of ultraviolet irradiation effects on *Aspergillus flavus* and aflatoxin b1 in maize and peanut using innovative vibrating decontamination equipment. **Food Control**, v. 134, A. 108691, 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Foreign Agricultural Service**. 2022. Disponível em: <https://usdabrazil.org.br/>. Acesso em: 27 abr. 2022.