

# Tecnologia inovadora de irradiação no controle pós-colheita de fungos micotoxigênicos em grãos de soja

*Silvia Leticia Rivero Meza<sup>1,2</sup>; Lázaro da Costa Corrêa Cañizares<sup>1,2</sup>; Larissa Alves Rodrigues<sup>1,2</sup>; Brenda Dannenberg Kaster<sup>1,2</sup>; Betina Bueno Peres<sup>1,2</sup>; André Tozello<sup>3</sup>; Mauricio de Oliveira<sup>1,2</sup>*

---

## RESUMO

A agricultura brasileira tem como desafio evoluir de forma competitiva e sustentável para suprir a demanda crescente de fornecimento de produtos agrícolas, bem como de atender às exigências do mercado quanto à qualidade dos produtos. Nos últimos 40 anos, o Brasil passou de importador de alimentos para o maior exportador mundial. Apesar deste status, o agronegócio brasileiro é importador de tecnologia, importando produtos e insumos de alto valor agregado e exportando commodity. Há a necessidade urgente de geração de tecnologias para a agroindústria brasileira para agregar valor a produtos e serviços, reduzindo assim a dependência brasileira das inovações importadas. Desta forma, este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de uma tecnologia inovadora e segura para a agroindústria brasileira quanto a conservabilidade de grãos de soja. Foi possível demonstrar efeitos promissores na capacidade de descontaminação da tecnologia UVC na faixa de 200-230 nm para alimentos. A eficiência na descontaminação dos grãos nos tratamentos com tempos de exposição mais prolongados a irradiação UVC e com menores distâncias entre a fonte e a amostra. Sendo assim, a tecnologia UVC demonstrou maior eficiência na descontaminação de grãos de soja nas condições de 50 cm e 180s, garantindo uma redução na contaminação de 76 %.

**Palavras-chave:** *Glycine max*; Luz ultravioleta; Descontaminação fúngica; Segurança alimentar

---

<sup>1</sup> Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

<sup>2</sup> Unidade InovaAgro EMBRAPII – Tecnologias para a Agricultura

<sup>3</sup> Co-founder M2D1

## INTRODUÇÃO

A contaminação em grãos é um grande desafio nos sistemas de cultivo e armazenamento pós-colheita, principalmente, devido as doenças causadas por patógenos fúngicos que afetam diretamente a qualidade comercial, causando perdas significativas. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias que contribuam para a descontaminação de alimentos é essencial para garantir produtos seguros e de qualidade. O uso da tecnologia UVC tem sido foco em estudos de descontaminação viral, bactericida e fúngica do ar, água e superfícies (Kitagawa et al., 2020; Ha et al., 2018). O que tem despertado grande interesse da agroindústria para seu uso em matrizes alimentares.

Está bem estabelecido que a irradiação UVC na faixa de 240-280 nm provoca um efeito germicida significativo (Sellera et al., 2021). Lâmpadas germicidas com pico de emissão em 254 nm têm sido amplamente usadas para matar e inativar bactérias e vírus (Kim et al., 2018). Contudo a exposição à UVC de 254 nm por longos períodos representa um risco à saúde humana, podendo causar dermatite e aumentar o risco de câncer de pele. Por outro lado, o uso de UVC com comprimentos de onda menores (~200-230 nm) tem se mostrado inofensiva para as células de mamíferos, pois não atinge os núcleos, uma vez que a luz é absorvida pelas proteínas, principalmente por ligações peptídicas. Além de ser seguro a saúde tem se demonstrado eficiente na descontaminação de água e superfícies (Tsenter et al., 2022). Contudo, pouco se sabe sobre sua eficiência na redução da carga microbiana em grãos (Narita et al., 2020).

Desta forma, este trabalho propõe uma solução inovadora para aumentar a conservação de grãos de soja, visando a redução de contaminantes fúngicos, através da aplicação de tecnologia UVC para alimentos. Para isto grãos de soja foram expostos a fonte de irradiação UVC na faixa de 200-230 nm para verificação da sua capacidade de desinfecção.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Amostra**

Grãos de soja (*Glycine max*) do cultivar P95R95 foi colhida manualmente na Granja Agropecuária Canoa Mirim S/A, situada no município de Santa Vitória do Palmar/RS em Maio/2022. Os grãos de soja foram limpos e secos até 13% de umidade e armazenados em câmara fria à 16°C até o momento da análise. Os grãos foram tratados com a tecnologia UVC no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (UFPEL).

### **Sistema de irradiação UVC**

Para a irradiação com a tecnologia UVC em grãos foi utilizado uma **lâmpada UVC** na faixa de 200-230 nm de dimensão de 75 x 97 x 28 mm, **ângulo de feixe de 60°, e irradiação de 14µW/cm<sup>2</sup>** a 100 cm de distância da amostra. A soja foi exposta à irradiação UVC a uma distância de 50 e 100 cm da fonte, e tempos de exposição de 5, 30 e 180 segundos. O experimento foi conduzido com uma amostra controle, o qual não recebeu nenhum tratamento.

### ***Incidência fúngica em grãos***

A análise de incidência fúngica em grãos de soja foi determinada utilizando Blotter test como descrito por Ferreira et al. (2019). Uma folha de papel filtro autoclavado foi colocado em caixa de germinação (Gerbox) previamente desinfetada com hipoclorito de sódio (0,07%) e álcool (70%) (Ferreira et al., 2019). A folha de papel filtro foi embebida com solução de 2,4-D (2,4 – dicloro- fenóxiacetato de sódio) para evitar a germinação dos grãos. Foram distribuídos 25 grãos sobre o papel filtro disposto na caixa de germinação. As amostras foram incubadas por 7 dias, a temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa de 80%, com fotoperíodo de 12 h luz/12 h escuro. Após período de incubação, as sementes foram examinadas sob microscópio estereoscópico com resolução de 30X–80X e os fungos identificados a nível de gênero. Dois ou mais gêneros de fungos podem ser identificados no mesmo grão. Os resultados foram expressos como unidade de colônia de fungos por 50 sementes de soja.

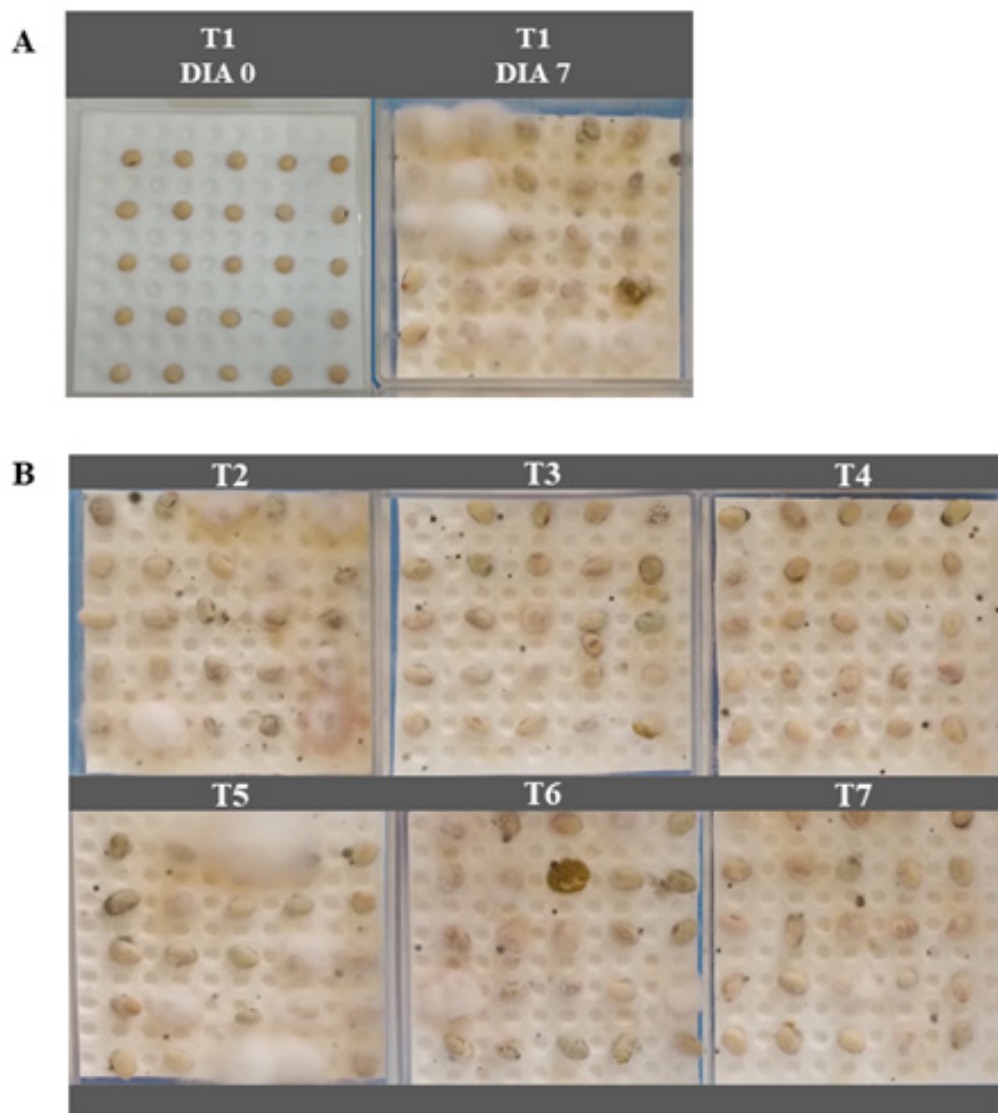
### ***Análise estatística***

Os resultados foram analisados por meio de análise de variância One-way ANOVA comparando as médias, quando houver diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos foi realizado o Teste de Tukey.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foram aplicadas diferentes condições de tratamento com a finalidade de verificar quais as condições mais eficazes da aplicação da tecnológica UVC sobre a descontaminação de fungos em grãos. As condições de tratamento variaram de acordo com as especificações da lâmpada de UVC utilizada. Segundo as especificações descritas pelo fabricante da fonte de UVC é possível utilizá-la a uma distância de 100cm da amostra e obter uma irradiação de  $14\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , dentro de um ângulo de feixe de  $60^{\circ}$ .

Desta forma, a soja recebeu sete tratamentos, os quais incluíram: T1 (sem tratamento); T2 (50cm e 5s); T3 (50cm e 30s); T4 (50cm e 180s); T5 (100cm e 5s); T6 (100cm e 30s); e T7 (100cm e 180s) (Figura 1). Foi aplicada uma distância mínima e máxima de 50 e 100cm, respectivamente, entre a fonte UVC e os grãos de soja, sugerindo assim que a amostra recebeu uma irradiação mínima de  $14\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . A radiação UVC tende a reduzir sua eficiência contra os patógenos de acordo com o aumento da distância da superfície a ser desinfetada. A intensidade da radiação UVC diminui significativamente com distância, em uma razão quadrática. Assim é possível aumentar a intensidade da radiação ou reduzir as distâncias. Os tempos de exposição à irradiação variaram de 5 a 180 s. Esta faixa de tempo foi selecionada de acordo com outros estudos que demonstraram eficácia da aplicação do UVC em outras matrizes (Janisiewicz et al., 2021; Singh et al., 2020).



**Figura 1.** Tecnologia de irradiação UVC aplicada em soja. Amostra controle (T1), indica que não houve tratamento, no início (DIA 0) e após 7 dias de incubação (DIA 7) (A); Amostras irradiadas nas seguintes distâncias da fonte e tempos de exposição: T2 (50cm e 5s); T3 (50cm e 30s); T4 (50cm e 180s); T5 (100cm e 5s); T6 (100cm e 30s); e T7 (100cm e 180s) (B).

Foram identificados cinco gêneros de fungos nos grãos de soja: *Aspergillus* sp., *Epicoccum* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., e *Cladosporium* sp. (Tabela 1). A presença destes patógenos de armazenamento podem resultar em baixo desempenho germinativo das sementes. Espécies de *Aspergillus* mais comuns em soja são *Aspergillus flavus* e *Penicillium spp.*. Estes fungos são responsáveis pela completa deterioração das sementes, quando as condições de armazenagem são inadequadas como em exposição a elevada umidade e temperatura. *Fusarium graminearum* e *Fusarium pallidoroseum* (*F. semitectum*) são as duas espécies de *Fusarium* mais frequentes em sementes de soja, que podem prejudicar a germinação, mas não são patogênicos às plantas.

Na Tabela 1 foi possível observar o número de colônias de fungos em grãos de soja desenvolvidos na amostra controle (T1, sem tratamento) e nas amostras tratadas com

radiação UVC após 7 dias de incubação. A amostra que não foi exposta à radiação UVC (T1) apresentou 41, 19, 18, 13 e 7 colônias de *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Epicoccum* sp., e *Aspergillus* sp, respectivamente, totalizando 98 colônias fúngicas em 50 grãos de soja analisados.

Foi possível observar uma redução na contagem dos fungos em todos os tratamentos com UVC aplicados à soja. Os tratamentos que apresentaram os menores valores de número de colônias foram T4 e T7, representando um total de 21 e 32 colônias fúngicas/50 grãos de soja, respectivamente. As aplicações da tecnologia UVC nos tratamentos T5 (50cm e 180s) e T4 (100cm e 180s), demonstram que tempos mais prolongados de exposição são mais eficazes na descontaminação, assim como menores distâncias.

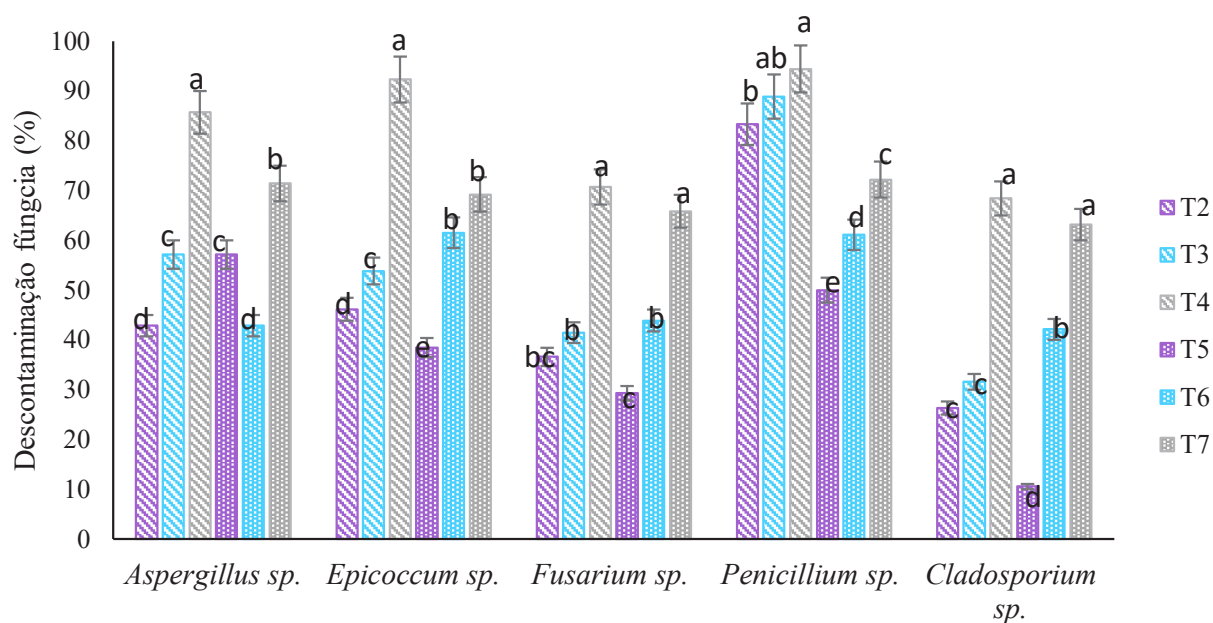
**Tabela 1.** Contaminação fúngica em grãos de soja expostas a radiação UVC

Tratamento	Condição		<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Epicoccum</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp.	Total
	d (cm)	t (s)						
T1	0	0	7	13	41	18	19	98
T2	50	5	4	7	26	3	14	54
T3	50	30	3	6	24	2	13	48
T4	50	180	1	1	12	1	6	21
T5	100	5	3	8	29	9	17	66
T6	100	30	4	5	23	7	11	50
T7	100	180	2	4	14	5	7	32

\*d, distância entre a fonte de radiação e amostra; t, tempo de exposição; T, tratamento.

A radiação UVC foi capaz de reduzir a contaminação fúngica em soja como pode ser observado na Figura 2. Foi possível observar que o aumento de tempo, de 5 para 180s, de exposição ao UVC reduziu significativamente a contaminação fúngica, sendo responsável por um aumento de até 50% na eficiência da descontaminação. Além disso, observou-se que as distâncias entre a fonte UVC e amostra afetou de forma mais intensa o fungo *Penicillium* sp., o qual teve uma redução de até 83 e 50% quando teve a soja tratada a 50 e 100 cm de distância da fonte, respectivamente. Contudo, os demais fungos identificados em soja pouco foram afetados pela distância, alcançando uma redução média de 30%, independente da distância aplicada.

Desta forma, o tratamento T4 (50cm e 180s) apresentou maior eficácia na descontaminação de fungos, atingindo uma redução de 94% de *Penicillium* sp., 92% de



*Epicoccum sp.*, 86% de *Aspergillus sp.*, 71% de *Fusarium sp.*, e 68% de *Cladosporium sp.*, totalizando uma redução de 76% no total de fungos quando comparado a amostra controle. Contudo, vale ressaltar que ainda são necessários estudos futuros para a validação desta tecnologia, principalmente em escala industrial, como a verificação em outros tipos de grãos, e ainda, quanto a sua eficiência na descontaminação de micotoxinas.

**Figura 3.** Efeito da tecnologia de UVC na descontaminação fúngica de grãos de soja após 7 dias de incubação. T, tratamento; T2 (50cm e 5s); T3 (50cm e 30s); T4 (50cm e 180s); T5 (100cm e 5s); T6 (100cm e 30s); T7 (100cm e 180s). Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão de duas repetições de 25 grãos de soja cada. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) para cada fungo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira, Cristiano & Ziegler, Valmor & Schwanz Goebel, Jorge Tiago & Hoffmann, Jessica & Carvalho, Ivan & Chaves, Fábio & Oliveira, Maurício. (2019). Changes in Phenolic Acid and Isoflavone Contents during Soybean Drying and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 67. 10.1021/acs.jafc.8b06808.

Ha, Jae-Won & Kang, Dong-Hyun. (2018). Effect of intermittent 222 nm krypton-chlorine excilamp irradiation on microbial inactivation in water. *Food Control*. 90. 10.1016/j.foodcont.2018.02.025.

Janisiewicz, Wojciech & Takeda, Fumiomi & Evans, Breyne & Camp, Mary. (2021). Potential of far ultraviolet (UV) 222 nm light for management of strawberry fungal pathogens. *Crop Protection*. 150. 105791. 10.1016/j.cropro.2021.105791.

Kim, Sang-Soon & Shin, Minjung & Kang, Jun-Won & Kim, Do-Kyun & Kang, Dong-Hyun. (2019). Application of the 222 nm krypton-chlorine excilamp and 280 nm UVC light-emitting diode for the inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium* in water with various turbidities. *LWT*. 117. 108458. 10.1016/j.lwt.2019.108458.

Kitagawa, Hiroki & Nomura, Toshihito & Nazmul, Tanuza & Keitaro, Omori & Shigemoto, Norifumi & Sakaguchi, Takemasa & Ohge, Hiroki. (2020). Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination. *American journal of infection control*. 49. 10.1016/j.ajic.2020.08.022.

Narita, Kouji & Asano, Krisana & Naito, Keisuke & Ohashi, Hiroyuki & Sasaki, Masahiro & Morimoto, Yukihiro & Igarashi, Tatsushi & Nakane, Akio. (2020). 222-nm UVC inactivates a wide spectrum of microbial pathogens. *Journal of Hospital Infection*. 105. 10.1016/j.jhin.2020.03.030.

Sellera, Fábio & Sabino, Caetano & Cabral, Fernanda & Ribeiro, Martha. (2021). A systematic scoping review of ultraviolet C (UVC) light systems for SARS-CoV-2 inactivation. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 8. 100068. 10.1016/j.jpap.2021.100068.

Singh, Harpreet & Bhardwaj, Sanjeev & Khatri, Madhu & Kim, Ki-Hyun & Bhardwaj, Neha. (2020). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*. 417. 10.1016/j.cej.2020.128084.

Tsenter, Irina & Garkusheva, Natalia & Matafonova, Galina & Batoev, Valeriy. (2022). A novel water disinfection method based on dual-wavelength UV radiation of KrCl (222 nm) and XeBr (282 nm) excilamps. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10. 107537. 10.1016/j.jece.2022.107537.