

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO E DA RADIAÇÃO UV-C NO CONTROLE DA PODRIDÃO AZEDA EM LARANJA ‘LIMA’

DA SILVA, A. M.¹; TERAO, D.², FRACAROLLI, J. A.¹

¹Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Agrícola, Barão Geraldo, 13083-970, Campinas, SP. ²Embrapa Meio Ambiente, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CP 69, 13918-110, Jaguariúna, SP.

RESUMO

A podridão azeda, causada por *Geotrichum citri-aurantii*, é uma doença fúngica pós-colheita que afeta frutas cítricas. Devido à ausência de produtos químicos certificados para controlar essa doença, métodos alternativos, como o tratamento hidrotérmico e a radiação UV-C têm sido explorados. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento hidrotérmico e da radiação UV-C no controle da podridão azeda na pós-colheita de laranja ‘Lima’. No tratamento hidrotérmico, as frutas foram imersas em água a temperatura entre 60,3°C e 71,7°C e tempo de exposição entre 15 e 49s. Para avaliar o efeito da radiação UV-C, as frutas foram expostas a dose de 0,10; 0,50; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00 e 5,00 kJ. m⁻². O efeito do melhor tratamento na qualidade das frutas foi avaliado através de parâmetros físico-químicos: firmeza, pH, sólidos solúveis, acidez total e cor. De acordo com os resultados, o tratamento hidrotérmico a 62°C por 44s reduziu a severidade da podridão azeda em laranja ‘Lima’, no entanto, temperaturas acima de 66°C causaram escaldadura na epiderme das frutas e aumentaram a severidade da doença. Doses a partir de 4 kJ. m⁻² controlaram eficientemente a podridão azeda, preservando a qualidade das frutas, mantendo a firmeza e retardando o processo de senescência das laranjas. Portanto, a radiação UV-C é uma alternativa promissora ao uso de fungicidas e têm potencial para ser usado no tratamento pós-colheita de laranja ‘Lima’.

Palavras-chave: tratamento alternativo, podridão azeda, citrus, pós-colheita.

INTRODUÇÃO

A podridão azeda, causada pelo patógeno *Geotrichum citri-aurantii* é uma das doenças fúngicas que mais causam perdas na pós-colheita de laranja ‘Lima’ e nos últimos anos sua incidência tem aumentado, principalmente em estações quentes e úmidas (SOTO-MUÑOZ; TABERNER; PALOU, 2021).

O controle químico, através da aplicação de fungicidas é a prática mais comum para minimizar o aparecimento de doenças fúngicas em frutas, no entanto, os produtos existentes no mercado não vêm apresentando efeito significativo no controle da podridão azeda (SOTO-MUÑOZ; TABERNER; PALOU, 2021). Além disso, a aplicação extensiva desses produtos químicos pode causar a ocorrência de cepas de patógenos resistentes, ao mesmo tempo que deixa resíduos nas frutas (TAN; ALI; SIDDIQUI, 2022). Estudos demonstram o potencial do uso do tratamento hidrotérmico e da radiação UV-C como tratamento alternativo na pós-colheita de produtos agrícolas, pois são métodos que não deixam resíduos nas frutas e mantêm sua qualidade, além de controlar as doenças.

O tratamento hidrotérmico consiste em imergir as frutas em um tanque com água quente em determinado tempo e temperatura (FALLIK; ILIC, 2022). Esse tratamento além de proporcionar o controle dos esporos de fungos que ficam na superfície ou nas primeiras camadas da epiderme da fruta, também tem a capacidade de redistribuir a cera natural da superfície do produto, selando as micro lesões e impedindo a entrada de microrganismos (FALLIK; ILIC, 2022). Essa técnica também beneficia a qualidade do produto agrícola, mantendo a aparência, cor e sabor durante o período de armazenamento (NASEF, 2018).

Devido ao seu efeito germicida, a radiação UV-C também tem se destacado nos estudos de tratamentos pós-colheita de frutas (FALLIK; ILIC, 2022). Foi demonstrado por HOSSEINI et al. (2019), que pistaches irradiados com UV-C a $2,1 \text{ kJ. m}^{-2}$ apresentaram redução no sintoma de *Aspergillus flavus*, sem alterações nos atributos de qualidade e sensoriais da fruta. USBERTI; FERRAZ (2021) observaram diminuição de podridões em figos após exposição à radiação UV-C a dose entre 0,71 e 4,01 kJ. m^{-2} . O tratamento com UV-C também pode contribuir para que o alimento induza mecanismos de resistência à doença, devido ao aumento de enzimas relacionadas à defesa, como demonstrado por PHONYIAM et al. (2021).

No entanto, para ter uma boa eficiência dos tratamentos é importante definir a temperatura e tempo de exposição da fruta no tratamento hidrotérmico, assim como dose de radiação UV-C, visto que cada produto agrícola apresenta diferentes características e sensibilidade (MORALES-DE LA PEÑA; WELTI-CHANES; MARTÍN-BELLOSO, 2019).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento hidrotérmico e da radiação UV-C no controle da podridão azeda em laranja ‘Lima’.

MATERIAL E MÉTODOS

Inoculação de laranjas ‘Lima’

Isolado de *G. citri-aurantii* foi obtido da Coleção de Microrganismos de Importância Agrícola e Ambiental (CMAA) da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna/SP. O patógeno foi cultivado em meio de cultura batata dextrose ágar (BDA) e mantido em sala de incubação (sem controle de fotoperíodo) a $22 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 7 dias.

Laranjas da variedade ‘Lima’, foram adquiridas de um produtor na região, levadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (LMA), da Embrapa Meio Ambiente, lavadas com água e detergente neutro e então feridas com uma agulha de aço (1 mm de largura e 2 mm de profundidade). As frutas foram inoculadas com a suspensão de esporos de *G. citri-aurantii* na concentração de 1×10^6 conídios. mL^{-1} , colocadas em caixas plásticas e mantidas em câmara úmida durante 4 horas antes de receber os tratamentos.

Efeito do tratamento hidrotérmico

As frutas inoculadas foram imersas em água quente a temperatura e tempo de exposição de $60,3^\circ\text{C}/32\text{s}$, $62^\circ\text{C}/20\text{s}$, $62^\circ\text{C}/44\text{s}$, $66^\circ\text{C}/15\text{s}$, $66^\circ\text{C}/32\text{s}$ e $66^\circ\text{C}/49\text{s}$, $70^\circ\text{C}/20\text{s}$, $70^\circ\text{C}/44\text{s}$, $71,7^\circ\text{C}/32\text{s}$. A temperatura e o tempo de exposição foram definidos utilizando o delineamento composto central (DCC) (DA SILVA et al., 2023). Após os tratamentos, as frutas foram imediatamente imersas em um tanque com água fria ($12 \pm 2^\circ\text{C}$ por 1 min) para cessar o efeito do calor. Então, as frutas foram acondicionadas em caixas e armazenadas a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 2\%$ de umidade relativa, durante 12 dias. Os experimentos foram realizados em delineamento

inteiramente casualizado, com três repetições (frutas) para cada tratamento. A Testemunha consistiu em laranjas inoculadas, porém sem nenhum tratamento. A avaliação da severidade da doença foi realizada diariamente, medindo-se o diâmetro da lesão com um paquímetro digital, em duas direções ortogonais.

Efeito da radiação UV-C

As laranjas inoculadas foram irradiadas em um equipamento protótipo composto por uma lâmpada germicida de 36 w, com comprimento de onda UV-C de 253,7 nm, localizada a 46 cm da superfície irradiada. A fluência da luz na superfície irradiada foi de 0,035 W. m⁻² medida com um radiômetro. A dose foi determinada em função do tempo de exposição (Equação 1, TERAO et al. (2015), para o qual D (dose de radiação, kJ. m⁻²) é a quantidade de energia aplicada a uma superfície, T é o tempo de exposição (segundos) e I é a fluência da lâmpada UV-C (W. m⁻²).

$$T = \left(\frac{D}{I}\right) \quad (1)$$

As doses de radiação UV-C foram: 0 kJ. m⁻² (Testemunha), 0,10 kJ. m⁻² (28s); 0,50 kJ. m⁻² (140s); 1,00 kJ. m⁻² (280s); 2,00 kJ. m⁻² (560s); 3,00 kJ. m⁻² (840s); 4,00 kJ. m⁻² (1120s) e 5,00 kJ. m⁻² (1400s). Após o tratamento, as frutas foram levadas para a sala climatizada e o diâmetro da lesão foi medido diariamente, sendo duas medidas da lesão em cada fruta. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 20 repetições.

Análise físico-química

Laranjas ‘Lima’ (sem inoculação) foram tratadas com o melhor tratamento (hidrotérmico ou UV-C). As avaliações ocorreram na chegada das frutas ao laboratório e após 1, 5 e 10 dias de armazenamento, com 20 frutas irradiadas e 20 não irradiadas (Testemunha). Os seguintes atributos de qualidade foram avaliados: firmeza (F), sólidos solúveis totais (SS), acidez total titulável (AT), pH e cor. Para avaliação da firmeza utilizou um texturômetro (sonda 35 mm, velocidade de 2 mm. s⁻¹, 10 mm de compressão). Os teores de SS, AT e pH foram determinados com suco de laranja. Os SS foram medidos com um refratômetro e o pH com um pHmetro de bancada. A AT foi determinada diluindo 10 mL de suco em 90 mL de água destilada com cinco gotas de Fenolftaleína a 1% e então titulado com NaOH 0,1 N até o ponto de inflexão. Para a análise de cor foi utilizado o modelo CIE L, c e h (DA SILVA et al., 2023), onde L é a luminosidade, c é o croma e h é o ângulo matiz, calculados através da [equação 2 e 3](#). Em cada dia de avaliação i (i = 0,1,5,10), a cor da casca de 20 laranjas ‘Lima’ de cada tratamento j (j = 1,2), fruto k (k = 1,2,...20) e as leituras l na região equatorial de cada fruto (l = 1,2,3,4,5) foram avaliadas utilizando um colorímetro Minolta.

$$c_{ijkl} = \sqrt{(a_{ijkl})^2 + (b_{ijkl})^2} \quad (2)$$

$$h_{ijkl} = \arctan \left(\frac{b_{ijkl}}{a_{ijkl}}\right) \quad (3)$$

Análise estatística

As combinações de níveis do planejamento DCC foram geradas utilizando o software Statistica (versão 7.0, Statsoft®). Os parâmetros do modelo (Equação 4) e respectivos erros padrão foram estimados por mínimos quadrados ordinários, utilizando os procedimentos REG e RSREG do software estatístico SAS/STAT® (SAS Institute Inc. 2021).

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 z_j + \beta_4 z_j^2 + \beta_5 x_i z_j + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

No modelo proposto (Equação 4), Y_{ij} é o diâmetro observado para cada tratamento, resultante de combinações de temperatura e tempo de exposição, j é o índice para replicações, β_0 é o intercepto, β_1 and β_2 , são os coeficientes lineares e quadráticos (respectivamente) do fator temperatura (x), β_3 e β_4 , são os coeficientes lineares e quadráticos (respectivamente) do efeito do fator tempo de exposição (z) β_5 , é o coeficiente de interação entre os fatores estudados e ϵ_{ij} é o erro associado a cada observação.

A média das medidas do diâmetro da lesão foram usadas para construir as curvas de progresso da doença ao longo do período de avaliação. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACCM, BROETTO et al. (2014) para cada tratamento foi calculada pela soma das áreas sob cada segmento de curva de crescimento, pelo respectivo intervalo de tempo entre as avaliações (Equação 5).

$$AACCM_{jk} = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(\frac{Y_{(i+1)jk} + Y_{ijk}}{2} \right) \times (t_{(i+1)jk} - t_{ijk}) \right] \quad (5)$$

Na Equação 5, $AACCM_{jk}$ é a área abaixo da curva de crescimento micelial para a replicação j (repetições) e tratamento k ; Y_{ijk} é o diâmetro médio medido em duas direções ortogonais na replicação j do tratamento k , na avaliação correspondente ao tempo i ; t_{ijk} é o intervalo de tempo entre as avaliações.

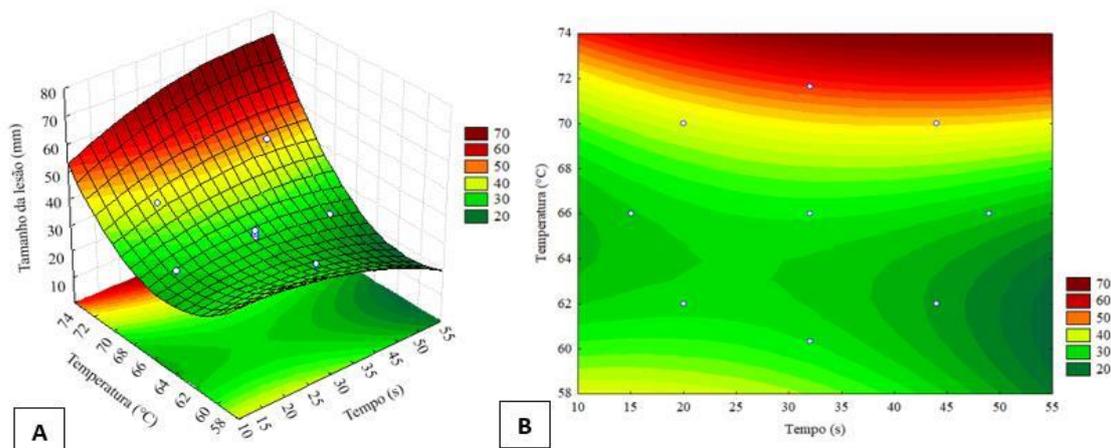
Na análise do efeito da radiação UV-C, a regressão não linear foi realizada e complementada pelo teste F para contrastes, utilizando o Modelo GLM do software SAS/STAT® (SAS Institute Inc. 2021). Os dados da análise físico-química foram analisados por ANOVA, seguida do teste F. O nível de significância adotado para todos os testes estatísticos foi de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do tratamento hidrotérmico

O tratamento hidrotérmico não controlou eficientemente a doença, mas reduziu o diâmetro da lesão causada pela podridão azeda em temperaturas entre 58°C e 60 °C e tempo de exposição ao redor de 55s (Figura 1). Das combinações estudadas, observou-se que temperaturas superiores a 66 °C durante 49s causaram leve escaldamento na epiderme das frutas e aumentaram a severidade da doença. No entanto, laranjas imersas em água a 62 °C por 44s apresentaram o menor diâmetro da lesão. KARABULUT et al. (2010) avaliaram a imersão de pêssegos em água a temperaturas entre 24°C e 70°C no controle da podridão parda, causada por

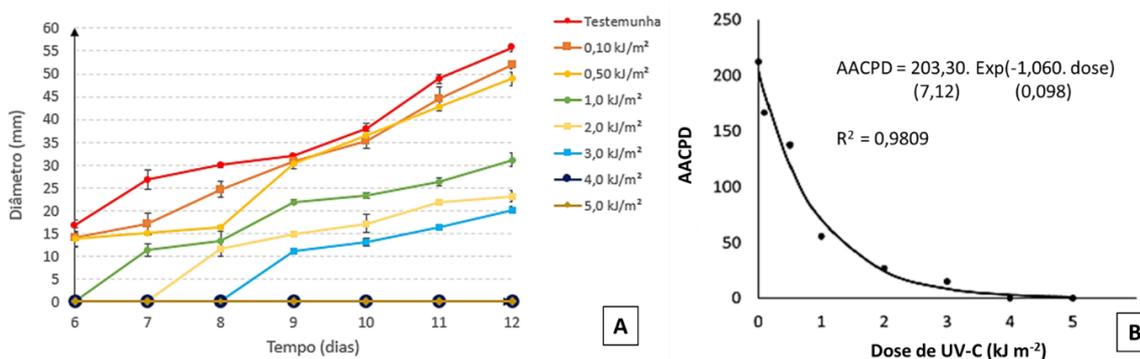
Monilinia fructicola e observaram que a imersão em água a 60°C por 30s reduziu a severidade da doença, porém a 65°C causou lesões na epiderme da fruta aumentando a severidade.



(Figura 1) - Gráfico de superfície de resposta (A) e de contorno (B) obtidos a partir do planejamento composto central (DCC) para avaliar o efeito do tratamento hidrotérmico no controle da podridão azeda em laranja 'Lima' (causada por *Geotrichum citri-aurantii*). A temperatura e tempo avaliados foram: 60,3°C/32s, 62°C/20s, 62°C/44s, 66°C/15s, 66°C/32s e 66°C/49s, 70°C/20s, 70°C/44s, 71,7°C/32s (DA SILVA et al., 2023).

Efeito da radiação UV-C

Enquanto os sintomas da podridão azeda tornaram-se evidentes no tratamento controle a partir do sexto dia após a inoculação, a radiação UV-C atrasou o início dos sintomas em até 3 dias dependendo da dose aplicada (Figura 2-A). A AACPD diminui à medida que as doses de UV-C aumentaram e não foi observado sintoma da doença a partir da dose de 4 kJ. m⁻² em 12 dias de armazenamento (Figura 2-B). Os resultados foram consistentes com os adquiridos por CIA et al. (2009) e HUANG et al. (2015), no tratamento de *Colletotrichum gloeosporioides* em uvas e *Fusarium oxysporum* em melão.



(Figura 2) - Curvas de progresso (A) e respectivo modelo não linear da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD, B) da podridão azeda em laranja 'Lima', causada por *Geotrichum citri-aurantii*. As frutas foram irradiadas com sete diferentes doses (tratamentos) de UV-C: 0 kJ. m⁻² (Testemunha), 0,10 kJ. m⁻² (28s); 0,50 kJ. m⁻² (140s); 1,00 kJ. m⁻² (280s); 2,00 kJ. m⁻² (560s); 3,00 kJ. m⁻² (840s); 4,00 kJ. m⁻² (1120s) e 5,00 kJ. m⁻² (1400s). As barras verticais

nas curvas de crescimento correspondem ao erro padrão da estimativa das médias do diâmetro de lesão e os valores entre colchetes em (B) corresponde ao erro dos parâmetros do modelo (DA SILVA et al., 2023).

Análise físico-química

As frutas que receberam a radiação UV-C a 4 kJ. m⁻² mantiveram maior firmeza (32,80N) em relação a testemunha (26,38N) durante 10 dias de armazenamento. O pH, SS e AT apresentaram diferença somente no primeiro e quinto dia de armazenamento e não houve diferença significativa nos parâmetros de cor (Tabela 1). Ou seja, o tratamento com radiação UV-C manteve a firmeza da fruta, indicando um retardo no processo de senescência e demonstrou manutenção da cor da epiderme das laranjas. Esses resultados sugerem que a irradiação UV-C pode ser uma alternativa ao uso de fungicidas, devido a elevada eficiência no controle da podridão azeda na pós-colheita de laranja ‘Lima’ e na manutenção da sua qualidade.

(Tabela 1) - Parâmetros de qualidade de laranjas ‘Lima’ submetidas a radiação UV-C a 4 kJ. m⁻² e armazenadas a temperatura ambiente (23 ± 2°C) (DA SILVA et al., 2023).

Parâmetros	Tratamentos	Antes do tratamento	1 dia após o tratamento	2 dias após o tratamento	5 dias após o tratamento
AT (%)	Testemunha	0,09 ± 0,00 a	0,08 ± 0,00 a	0,08 ± 0,00 a	0,08 ± 0,00 a
	UV-C	0,09 ± 0,00 a	0,08 ± 0,00 a	0,07 ± 0,00 b	0,08 ± 0,00 a
pH	Testemunha	5,70 ± 0,03 a	5,88 ± 0,02 a	5,90 ± 0,01 a	5,84 ± 0,02 a
	UV-C	5,65 ± 0,03 a	5,74 ± 0,02 b	5,98 ± 0,01 b	5,82 ± 0,02 a
SS (%)	Testemunha	11,10 ± 0,37 a	11,58 ± 0,31 b	10,97 ± 0,41 a	11,25 ± 0,35 a
	UV-C	11,24 ± 0,37 a	10,38 ± 0,31 b	9,56 ± 0,41 b	10,40 ± 0,35 a
F (N)	Testemunha	46,53 ± 1,78 a	39,42 ± 1,66 a	29,98 ± 2,12 a	26,38 ± 1,72 a
	UV-C	46,76 ± 1,78 a	40,27 ± 1,66 a	34,64 ± 2,12 a	32,80 ± 1,72 b
Parâmetros de cor					
L	Testemunha	61,26 ± 0,46 a	57,15 ± 1,25 a	61,70 ± 0,68 a	61,36 ± 0,67 a
	UV-C	61,15 ± 0,46 a	62,30 ± 1,25 a	61,64 ± 0,68 a	59,95 ± 0,67 a
c	Testemunha	59,12 ± 1,00 a	57,49 ± 1,42 a	60,61 ± 1,01 a	60,11 ± 1,18 a
	UV-C	58,45 ± 1,00 a	60,01 ± 1,42 a	60,46 ± 1,01 a	57,70 ± 1,18 a
h	Testemunha	73,66 ± 1,93 a	74,81 ± 1,70 a	74,87 ± 1,64 a	74,91 ± 1,69 a
	UV-C	72,80 ± 1,93 a	74,61 ± 1,70 a	73,67 ± 1,64 a	73,50 ± 1,69 a

Médias ± erro padrão. AT = acidez titulável; SS = sólido solúvel total; F = firmeza (em Newton); parâmetros de cor: L = brilho; c = croma; h = ângulo de matiz. As médias seguidas das mesmas letras não foram significativas pelo teste F da ANOVA (p ≤ 0,05).

CONCLUSÕES

O tratamento hidrotérmico pela imersão das laranjas ‘Lima’ em água quente não controlou a severidade da podridão azeda causada por *G. citri-aurantii*. Temperaturas acima de 66°C aumentaram a severidade da doença além de causar escaldadura na epiderme da fruta. No entanto, o tratamento a 62°C por 44s apesar de não controlar a doença, diminuiu significativamente a severidade. Enquanto que a radiação UV-C na dose de 4 kJ. m⁻² inibiu totalmente a infecção do patógeno, não proporcionando alterações significativas nos parâmetros físico-químicos da fruta, durante os 10 dias de armazenamento. Portanto, a radiação UV-C demonstrou ser uma alternativa promissora no controle da podridão azeda na pós-colheita de laranja ‘Lima’.

REFERÊNCIAS

- BROETTO, L. et al. Crescimento Micelial e Produção de Microescleródios de *Macrophomina phaseolina* Confrontado com Diferentes Isolados de *Trichoderma* sp. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 4, p. 310–317, 30 dez. 2014.
- CIA, P. et al. Radiação ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em uva “niagara rosada”. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1010–1015, 2009.
- DA SILVA, A. M. et al. Control of sour rot in ‘Lima’ orange using hot water treatment and UV-C radiation. **Tropical Plant Pathology**, v. 48, n. 5, p. 547–555, 2023.
- FALLIK, E.; ILIC, Z. Mitigating contamination of fresh and fresh-cut produce. Em: **Postharvest Handling**. [s.l.] Elsevier, 2022. p. 621–649.
- HOSSEINI, F. et al. Effects of a rotational UV-C irradiation system and packaging on the shelf life of fresh pistachio. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 11, p. 5229–5238, 30 ago. 2019.
- HUANG, K. et al. Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melon. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 18, p. 14307–14313, set. 2015.
- KARABULUT, O. A. et al. Control of brown rot of stone fruits by brief heated water immersion treatments. **Crop Protection**, v. 29, n. 8, p. 903–906, ago. 2010.
- MORALES-DE LA PEÑA, M.; WELTI-CHANES, J.; MARTÍN-BELLOSO, O. Novel technologies to improve food safety and quality. **Current Opinion in Food Science**, v. 30, p. 1–7, dez. 2019.
- NASEF, I. N. Short hot water as safe treatment induces chilling tolerance and antioxidant enzymes, prevents decay and maintains quality of cold-stored cucumbers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 138, p. 1–10, abr. 2018.

PHONYIAM, O. et al. Postharvest UV-C Irradiation Influenced Cellular Structure, Jasmonic Acid Accumulation, and Resistance Against Green Mold Decay in Satsuma Mandarin Fruit (*Citrus unshiu*). **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 684434, 24 jun. 2021.

SOTO-MUÑOZ, L.; TABERNER, V.; PALOU, L. Tratamientos poscosecha con aditivos alimentarios para controlar la podredumbre amarga de los cítricos. **horticultura**, 2021.

TAN, G. H.; ALI, A.; SIDDIQUI, Y. Current strategies, perspectives and challenges in management and control of postharvest diseases of papaya. **Scientia Horticulturae**, v. 301, p. 111139, jul. 2022.

TERAO, D. et al. Alternative Strategy on Control of Postharvest Diseases of Mango (*Mangifera indica* L.) by Use of Low Dose of Ultraviolet-C Irradiation. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 2, p. 171–175, jun. 2015.

USBERTI, F. C. S.; FERRAZ, A. C. D. O. UV-C radiation on fresh fig quality. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, p. e20190155, 2021.