



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

ANA SANTANA DE MEDEIROS

**TERMOTERAPIA ASSOCIADA A PRODUTOS ALTERNATIVOS NO MANEJO DA
PODRIDÃO DO MELÃO CAUSADA POR *Fusarium falciforme***

MOSSORÓ/RN

2023

ANA SANTANA DE MEDEIROS

**TERMOTERAPIA ASSOCIADA A PRODUTOS ALTERNATIVOS NO MANEJO DA
PODRIDÃO DO MELÃO CAUSADA POR *Fusarium falciforme***

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Proteção de plantas - Fitopatologia

Orientadora: Prof.^a. Dra. Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio.

Coorientadora: Dra. Rita de Cássia Alves

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488t

Medeiros, Ana Santana de.

Termoterapia associada a produtos alternativos no manejo da podridão do melão causada por *Fusarium falciforme* / Ana Santana de Medeiros. 2023.

49 f.: il.

Orientadora: Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio.
Coorientadora: Rita de Cássia Alves.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2023.

1. Cucumis melo. 2. fungos. 3. pós-colheita. 4. enzimas. 5. óleos essenciais. I. Ambrósio, Márcia Michelle de Queiroz, orient. II. Alves, Rita de Cássia, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA SANTANA DE MEDEIROS

**TERMOTERAPIA ASSOCIADA A PRODUTOS ALTERNATIVOS NO MANEJO DA
PODRIDÃO DO MELÃO CAUSADA POR *Fusarium falciforme***

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Proteção de plantas - Fitopatologia

Defendida em: 30 / 05 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dra. Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio
Presidente

Prof.^a. Dra. Jailma Suerda Silva de Lima
Membro Examinador

Prof. Dr. Darlan Ferreira Borges
Membro Examinador

Dra. Maria Bruna de Medeiros Araújo
Membro Examinador

Meu pai, José Ovídio de Medeiros (In Memoriam), que sempre deu todo suporte, educação, incentivo, amor e esteve ao meu lado em todas os momentos, minha base e inspiração de vida.

Dedico.

A minha mãe, Maria Lúcia de Medeiros, por todo amor, apoio, incentivo, acreditando sempre no meu potencial e nunca mediu esforços para me ajudar, mesmo nos momentos mais difíceis segurou a barra para que eu não desistisse de alcançar meus sonhos.

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me permitiu chegar até aqui, mesmo diante de tantos obstáculos. À Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia pela oportunidade e por todo material e estrutura à realização do trabalho.

Ao meu namorado, Marcelo Richele da Silva Dantas, que tanto fez por mim durante esse tempo juntos, dedicando sua vida para cuidar e me proteger com amor, carinho, atenção, nunca desistiu do nosso amor e dando sua colaboração na finalização desse estudo.

A toda minha família por todo apoio, amor e incentivo.

A minha orientadora, Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio, por todos os ensinamentos, atenção, preocupação e por ter me ajudado de várias formas, através do conhecimento repassado, ficando até altas horas da noite nos ajudando, orientando, carregando melão. Por batalhar e conseguir todos os materiais dando condições para que o trabalho fosse desenvolvido. A minha coorientadora, Rita de Cassia Alves, a quem devo parte do mestrado, pela amizade, por toda ajuda e incentivo para que eu continuasse na vida acadêmica.

Ao pessoal integrante do Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da UFERSA, Fernando, Daniela, Atarises, Vitória, Silvan, Juliano, Diogo, Lais, Igor, Maria Helena, Elisandra, Camila e Matheus que me ajudaram durante as fases do meu trabalho, mesmo exaustos permaneceram firmes até o fim. A Janderson que me carregou quando eu caí da escada no dia da montagem do experimento, me dando todo apoio, sempre muito prestativo. A Jarlan Lucas, Tatiane e Ana Paula, que me ajudaram em todas as fases do mestrado de todas as formas possíveis, tomando à frente nos experimentos quando percebiam que eu estava passando por algum problema. Muito obrigada pela amizade e por me ajudarem tanto. A união de do grupo fez toda a diferença, sem vocês nada disso seria possível. Louise por todo ensinamento, ajuda, carisma, competência e organização impecável.

As minhas amigas, Dariane e Lucilândia, por sempre estarem dispostas a me ajudar, por me acolherem sempre com tanto carinho, cuidado e amizade.

À professora Jailma pela contribuição no meu trabalho, por sua simpatia e por ser sempre muito prestativa.

A todos da banca pelas contribuições e todos que direta ou indiretamente auxiliaram para que fosse possível conclusão deste trabalho e para a minha formação profissional.

Os rios não bebem sua própria água; as árvores não comem seus próprios frutos. O sol não brilha para si mesmo; e as flores não espalham sua fragrância para si. Viver para os outros é uma regra da natureza. A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa.

Papa Francisco

RESUMO

Um dos maiores percalços no cultivo do melão são as perdas pós-colheita, atribuídas principalmente à podridão causada por diversos fungos do gênero *Fusarium*. Este fato se agrava devido aos sintomas se manifestarem de forma tardia, detectados normalmente quando os frutos chegam ao mercado importador, gerando grandes prejuízos aos produtores de melão. Na busca por métodos eficientes e sustentáveis ao manejo da podridão do *Fusarium*, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da técnica de termoterapia isoladamente (imersão dos frutos em água quente a 58 °C por 90s), ou associada a produtos alternativos ao Magnate[®], em melões inoculados com dois isolados de *Fusarium falciforme*. A atuação dos tratamentos na qualidade dos frutos foi avaliada por parâmetros físico-químicos, severidade da doença e análises enzimáticas. O ensaio *in vitro* identificou que o óleo essencial (OE) de canela, em sua menor concentração (0,0625% v/v) inibiu 100% do crescimento micelial de ambos os isolados, não diferindo do Copper Crop[®] e Magnate[®]. Já os frutos tratados com OE de canela, Cooper Crop[®] e termoterapia de forma isolada apresentaram redução na podridão do melão, entretanto, ao associar os produtos com a termoterapia foi alcançado um controle mais eficiente. A termoterapia associada ao Cooper Crop[®] proporcionou a maior redução na podridão do melão, diminuindo os danos causados pelos dois isolados de *F. falciforme* e indicando uma eficiência superior ao Magnate[®]. Esse tratamento também proporcionou menor nível de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) nos frutos inoculados e mostrou atuação nas enzimas peroxidase (POX) e polifenoxidase (PPO). Portanto, a termoterapia associada ao Cooper Crop[®], além de conter compostos antifúngicos em sua composição, também induziu os mecanismos de defesa do fruto e pode ser utilizado como uma alternativa no controle da podridão do melão.

Palavras-chaves: *Cucumis melo*. fungos. pós-colheita. enzimas. óleos essenciais.

ABSTRACT

One of the biggest mishaps in melon cultivation are the post-harvest losses, mainly attributed to rot caused by several fungi of the genus *Fusarium*. This fact is aggravated because the symptoms manifest late, usually detected when the fruits arrive to the importing market, generating great losses to the melon producers. In the search for efficient and sustainable methods to manage *Fusarium* wilt, the present work aimed to evaluate the efficiency of the thermotherapy technique alone (immersing the fruits in hot water at 58 °C for 90s), or associated with alternative products to Magnate®, in melons inoculated with two isolates of *Fusarium falciforme*. The performance of the treatments on fruit quality was evaluated by physicochemical parameters, disease severity and enzymatic analyses. The in vitro assay identified that the essential oil (EO) of cinnamon, in its lowest concentration (0.0625% v/v) inhibited 100% of the mycelial growth of both isolates, not different from Copper Crop® and Mgnate®. The fruits treated with cinnamon OE, Cooper Crop® and thermotherapy alone showed a reduction in the melon rot, however, when associating the products with thermotherapy a more efficient control was achieved. The thermotherapy associated with Cooper Crop® provided the greatest reduction in melon rot, reducing the damage caused by the two isolates of *F. falciformes* and indicating a higher efficiency than Magnate®. This treatment also provided a lower level of hydrogen peroxide (H₂O₂) in the inoculated fruits and showed action on the enzymes peroxidase (POX) and Polyphenoxidase (PPO). Therefore, the thermotherapy associated with Cooper Crop®, besides containing antifungal compounds in its composition, also induced the defense mechanisms of the fruit and can be used as an alternative in the control of melon rot.

Keywords: *Cucumis melo*. fungi. postharvest. enzymes. essential oils.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Média do percentual de inibição do crescimento micelial (PIM) *in vitro* de isolados de *F. falciforme* Iso 1 (A) e Iso 2 (B) sob diferentes tratamentos. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-knott à 5% de probabilidade. 1 = Controle; 2 = Magnate; 3 = OE de canela (0,5 %); 4 = OE de canela (0,25 %); 5 = OE de canela (0,125 %); 6 = OE de canela (0,0625%); 7 = OE de capim limão (0,5 %); 8 = OE de capim limão (0,25 %); 9 = OE de capim limão (0,125%); 10 = OE de capim limão (0,0625 %); 11 = OE de manjerição (0,5%); 12 = OE de manjerição (0,25%); 13 = OE de manjerição (0,125%); 14 = OE de manjerição (0,0625%); 15 = Copper Crop®; 16 = Tween® 20.....33
- Figura 2 – Média da severidade da doença (A e B), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 1, em função da aplicação de produtos, associado ou não à termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.34
- Figura 3 – Média da firmeza da polpa (A e B), sólidos solúveis totais (C e D) e pH (E e F), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 1, em função da aplicação de produtos, associado ou não à termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.....35
- Figura 4 – Média da atividade enzimática POX (A), PPO (B), e H₂O₂ (C), após aplicação de produtos, inoculação do *F. falciforme*, Iso 1, associado ou não à termoterapia 58 °C por 90s, no melão Gália. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....37

- Figura 5 – Média da severidade da doença (A e B), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 2, em função da aplicação de produtos, associado ou não à termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade..... 38
- Figura 6 - Média da firmeza da polpa (A e B), sólidos solúveis totais (C e D), pH (E e F) em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 2, em função da aplicação de produtos, associado ou não à termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade.....39
- Figura 7 - Média da atividade enzimática POX (A e B), PPO (C e D), e H₂O₂ (E e F), após aplicação de produtos, inoculação do *F. falciforme*, Iso 2, associado ou não à termoterapia 58°C por 90s, no melão Gália. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.....40
- Figura S1 – Crescimento micelial *in vitro* de *F. falciforme* sob o efeito de diferentes produtos e concentrações. Controle (TEST); Tween® 20 (TW); Copper Crop® (COPP); Magnate® (MAGN); óleo essencial (OE), concentrações (0,5; 0,25; 0,125; 0,0625%). Isolados de *F. falciforme*: Iso 1 (Genbank MT476611/ MT461687) e Iso 2 (Genbank MT476600/ MT461683) (Experimentos I e II).48
- Figura S2 - Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 1) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia,

aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento III, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop[®] (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).....48

- Crescimento micelial *in vitro* de *F. falciforme* sob o efeito de diferentes produtos e Concentrações. controle (TEST); Tween[®] 20 (TW); Copper Crop[®] (COPP); Magnate[®] (MAGN); óleo essencial (OE), concentrações (0,5; 0,25; 0,125; 0,0625%). Isolados de *F.falciforme*: Iso 1 (Genbank MT476611/ MT461687) e Iso 2 (Genbank MT476600/ MT461683) (Experimentos I e II).....48

Figura S3 - Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 1) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento IV, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); Óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) Termoterapia + Copper Crop[®] (f); Termoterapia + Óleo essencial de canela (g).48

Figura S4 - Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 2) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento V, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop[®] (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).....49

Figura S5 - Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 2) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento VI, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop[®] (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).....49

TABELA

Tabela 1 – Principais composições dos produtos utilizados no controle do <i>F. falciforme</i>	28
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDA	Batata Dextrose e Ágar
OE	Óleo essencial
OE _s	Óleos essenciais
SS	Sólidos solúveis
BDA	Batata Dextrose e Ágar
µg	Microgramas
µL	Microlitro
CE	Ceará
CV	Coefficiente de Variação
cv.	Cultivar
g	Grama
há	Hectares
L	Litro
Min	Minuto
mL	Mililitro
pH	Potencial Hidrogeniônico
RN	Rio Grande do Norte
spp.	Espécies
Iso 1	Isolado 1
Iso 2	Isolado 2
s	segundos
TEST	controle
TW	Tween® 20
MAGN	Magnate®
COPP	Copper Crop®

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
®	Marca registrada
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	18
REFERÊNCIAS.....	22
2. TERMOTERAPIA ASSOCIADA A PRODUTOS ALTERNATIVOS NO MANEJO DA PODRIDÃO DO MELÃO CAUSADA POR <i>Fusarium falciforme</i>.....	25
RESUMO.....	25
3. INTRODUÇÃO.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.	27
4.1. ISOLADOS.....	27
4.2. EXPERIMENTO I E II (<i>IN VITRO</i>): SELEÇÃO DE PRODUTOS E CONCENTRAÇÃO COM POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO 1 E ISO 2.....	28
4.3. EXPERIMENTOS III E IV (<i>IN VIVO</i>): POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO 1.....	29
4.4. EXPERIMENTOS V E VI (<i>IN VIVO</i>): POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO2.....	30
4.5. ANÁLISES ENZIMÁTICAS E BIOQUÍMICAS.....	30
4.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	31
5. RESULTADOS.	32
5.1. EXPERIMENTO I E II (<i>IN VITRO</i>): SELEÇÃO DE PRODUTOS E CONCENTRAÇÃO COM POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO 1 E ISO 2.....	32
5.2. EXPERIMENTOS III E IV (<i>IN VIVO</i>): POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO 1.....	34
5.3. EXPERIMENTOS V E VI (<i>IN VIVO</i>): POTENCIAL INIBITÓRIO DE <i>F. FALCIFORME</i> ISO 2.....	37
6. DISCUSSÃO.	41
7. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXOS.....	48

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil está inserido no cenário mundial como o terceiro maior produtor de frutas, estando atrás da China e Índia. Diante desse cenário, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o melão (*Cucumis melo* L.) é uma cucurbitácea de grande importância econômica para o agronegócio brasileiro, ocupando a segunda posição no ranking das exportações de frutas brasileiras chegando a exportar 181 mil toneladas de melão na safra 2022/2023 (Mapa, 2022; Hfbrasil, 2023). Os principais Estados produtores de melão no Brasil estão na região Nordeste, com destaque para o Rio Grande do Norte, tendo uma área plantada de 18 mil hectares. Cerca de 2/3 do que é produzido é destinado ao mercado externo, sendo os principais importadores: Espanha, Holanda e Reino Unido. O setor é de extrema importância social à região, gerando mais de 20 mil empregos diretos e 50 mil indiretos (Abrafrutas, 2022; Mapa, 2022).

É uma atividade rentável, no entanto, um dos maiores percalços nas exportações de melão são as significativas perdas ao longo do seu trajeto. Fatores como doenças fúngicas, danos mecânicos, desordens fisiológicas ou a combinação deles lideram as causas das perdas pós-colheita (Chitarra e Chitarra, 1990). O melão é bastante susceptível às infecções por patógenos, principalmente a contaminação por *Fusarium* sp., sendo um dos fitopatógenos causadores da podridão, esse fenômeno se agrava devido aos sintomas que aparecem de forma tardia, durante o seu processo de amadurecimento, normalmente quando os frutos chegam aos países importadores, gerando grandes prejuízos aos produtores (Terao et al. 2014; Oster et al., 2018).

O melão Gália (*Cucumis melo* cv. *reticulatus*) é uma variedade nobre israelense que conquistou o mercado interno e externo, pois, apresenta sabor doce e aromático. Entretanto possui vida útil de prateleira relativamente curta, devido a rápida deterioração fisiológica e ataque de fungos (Fallik et al., 2000; Terao et al., 2021) e, entre os mais persistentes nas contaminações em melões, estão os fungos do gênero *Fusarium*.

O gênero *Fusarium* pertence ao filo Ascomycota, ordem Hypocreales e família Hypocreaceae (Leslie; Summerell, 2006). As espécies de *Fusarium* são bem conhecidas por sua abundância, diversidade e estilo de vida cosmopolita. Muitos membros do gênero *Fusarium* estão associados aos hospedeiros vegetais, seja como patógenos vegetais, saprófitos, invasores secundários e/ou endófitos. Várias espécies já foram relatadas causando podridão em melão, tanto nos frutos, quanto nas plantas (Araújo et al., 2021; Lima, et al., 2021; Silva et al., 2023). Recentemente foram relatadas cinco espécies de *Fusarium* spp. causando

podridão em frutos de meloeiro produzidos no Rio Grande do Norte e Ceará, dentre essas espécies, o *Fusarium falciforme* foi descrito como um dos mais frequentes e agressivos (Araújo et al., 2021; Nogueira et al., 2023).

O processo de infecção do *Fusarium* em melões ainda não foi bem explanado, no entanto, alguns estudos acreditam que pode ocorrer ainda em campo (pré-colheita), no momento da colheita, nos procedimentos pós-colheita, ou até mesmo colonizar como endófito, podendo tornar-se patogênico durante o seu processo de maturação. O patógeno continua a sua patogenia mesmo após a transferência às câmaras frias, podendo deteriorar completamente o fruto ou causar lesões que afetam a sua comercialização (Oster et al., 2018; Araújo, 2020).

O uso de fungicidas sintéticos também tem sido uma estratégia de controle de doenças causadas por fungos na pós-colheita do melão. No entanto, seu uso excessivo e impróprio na agricultura pode trazer problemas que levam à contaminação ambiental, podem deixar resíduos consideráveis em produtos agrícolas e resistência a fitopatógenos (Maia et al., 2015).

Diante deste cenário e da preocupação com a saúde da população, a União Europeia, principal importador de melão brasileiro, estabeleceu Limites Máximos de Resíduos (LMR) para pesticidas sobre produtos alimentícios, retirando do mercado europeu todo produto que ultrapasse os níveis permitidos, tornando imprescindível o desenvolvimento de técnicas alternativas e eficazes para o controle de doenças no melão (Albuquerque E Nascimento, 2020). O Imazalil (Magnate[®]) é o ingrediente ativo mais utilizado para o controle da podridão causada por *Fusarium* em melão, mas, existe uma preocupação quanto a continuação do uso deste produto na Europa devido à preocupação relativa aos danos que ele possa trazer à saúde da população. Com isso, várias exigências estão sendo impostas para adequar o LMR e, caso essas medidas não sejam eficientes, é cogitada a hipótese de banimento do seu uso na Europa (European Food Safety Authority et al., 2023). Como a Europa é o principal importador do melão brasileiro, é grande a necessidade de alternativas para substituir o Magnate[®], e minimizar os danos ocasionados por esses patógenos nessa cultura.

Algumas técnicas alternativas para o controle de doenças, tais como a utilização de tratamentos físicos (termoterapia e refrigeração), óleos essenciais, e compostos a base de cobre (Cu) obtidos na forma de complexo orgânico, ganharam grande interesse nos últimos anos para controlar muitas doenças pós-colheita em frutas e vegetais, devido à ausência de resíduos no produto tratado, e mínimo impacto ambiental (Araújo, 2020).

A termoterapia é um método físico bastante estudado e utilizado para o controle de diferentes frutíferas, tais como: mangueira, melão, maçã e mamão, para o controle da podridão pós-colheita, ocasionada por diversas espécies de fungos (Kabelitz et al., 2019; Terao et al.,

2021; Rodrigues et al., 2021). O Brasil faz uso da termoterapia em mangas destinadas à exportação, para o controle da mosca das frutas (*Anastrepha grandis*). Já em melão, essa técnica ainda não é utilizada de forma comercial, no entanto, Israel, Egito e Marrocos adotaram a termoterapia de forma comercial (Araújo, 2020). Esta técnica é aplicada na forma de imersão dos frutos em água quente, vapor ou lavagem e escovação com água quente). As temperaturas e duração de aplicação utilizadas dependem da técnica aplicada e do tipo de fruto (Fallik et al., 2000; Usall et al., 2016; Terao et al. 2018).

A termoterapia atua tanto de forma superficial, ajudando a remover e erradicar patógenos ou pragas presentes na superfície da fruta, quanto sistemicamente, aumentando a atividade das enzimas relacionadas à defesa, tais como as enzimas peroxidase (POX) e polifenoxidase (PPO) (Terao et al., 2018). Estas enzimas estão envolvidas no processo de detoxificação das espécies reativas de oxigênio (EROs), especialmente o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que, em excesso, causa estresse oxidativo, portanto a POX e PPO ajudam a manter os níveis não tóxicos, evitando danos oxidativos na espécie vegetal, (Moller et al., 2007; Maia et al., 2012).

A termoterapia adia também o amadurecimento dos frutos, retardando o apodrecimento e mantendo a qualidade dos frutos durante seu destino e comercialização (Sivakumar e Fallik, 2013). Segundo Terao et al., (2021) a aplicação da termoterapia mergulhando o melão Gália na água quente a 52 °C por 2 minutos foi satisfatória no controle da podridão, com eficiência equivalente ao Imazalil. Embora essa técnica tenha apresentado eficiência, o fungo não foi totalmente controlado, o que continua a ocasionar crescimento dos fungos nos frutos, resultando em prejuízos para os produtores. Por isso, a associação de técnicas com a termoterapia pode proporcionar controle total desses fungos nos melões que passam aproximadamente 30 dias para chegar ao mercado importador. Outro estudo foi realizado por Araújo (2020), utilizando a associação da termoterapia (58 °C por 30s) com óleos essenciais de citronela (2% v/v), e melaleuca (2,5% v/v) em melão. A autora da pesquisa verificou nesse estudo resultados eficientes no controle da podridão causada por *F. falciforme*.

Os óleos essenciais (OEs) de vegetais possuem notável eficácia antifúngica, permitindo sua aplicação no manejo ecologicamente correto, na pós-colheita, prolongando os períodos de transporte e armazenamento de frutos nos mercados (Nabigol et al., 2011; Park et al., 2017). Os OEs estendem a estabilidade dos alimentos durante o armazenamento, inibindo a deterioração, ou o crescimento de microrganismos patogênicos e protegendo contra a oxidação. Apesar de sua eficácia, a aplicação ainda não é vastamente utilizada pelas indústrias alimentícias devido aos obstáculos intrínsecos, como a baixa solubilidade em água,

biodisponibilidade, volatilidade e estabilidade no sistema alimentar (Prakash, Bhanu et al., 2018). A utilização de OEs de espécies aromáticas, isolados, ou em combinação com outros métodos tem um importante papel no controle de fitopatógenos, contribuindo para a redução do uso de fungicidas e, por conseguinte, menor impacto ao ambiente (Maia, et al. 2015). O ácido cinâmico (4.000 mg L^{-1}), principal constituinte do OE de canela foi aplicado em frutas cítricas contra a podridão azeda causada por *Geotrichum citri-aurantii*, onde reduziu a incidência da doença para 38,31% (Cheng et al., 2022).

Outros produtos que podem ser alternativas à redução dos problemas ocasionados por espécies de *Fusarium* em melões, são aqueles à base de cobre. Estes apresentam diversos sítios de ação, assim tem menor risco de patógenos desenvolverem resistência a esses produtos. Os íons de cobre (Cu^{+2}) atuam nas células dos fungos, bloqueando enzimas envolvidas no processo de respiração, inibem a síntese de proteínas, reduzem a atividade da membrana celular e de organelas que afetam as trocas de elementos. Óxidos cuprosos e oxicloretos são compostos altamente insolúveis que atuam na parede celular e membranas de fungos e bactérias sem penetrar profundamente no interior da célula. Por exemplo, o Copper Crop[®], este apresenta na sua composição nitrogênio (N) 4,09 % (54,81 g/L); cobre (Cu) 10,0% (134 g/L), e carbono orgânico 3,53%. Todos os elementos solúveis em água e complexados por aminoácidos 5%. A aplicação de Copper Crop[®], 8 ml/L em frutos de meloeiro, pós-colheita, proporcionou resultados mais eficientes que o Magnate[®] no controle do *F. falciforme* em melão (Araújo, 2020).

É importante ressaltar que a refrigeração também é um método físico crucial no armazenamento de frutos, que retarda o desenvolvimento de patógenos pós-colheita e é utilizada para manter a qualidade dos frutos por mais tempo, complementando outras técnicas de armazenamento (Usall, 2016). No caso do melão, obrigatoriamente, os frutos são enviados do Brasil para Europa sob refrigeração. Entretanto, essa técnica utilizada isoladamente não é suficiente para manter a qualidade sanitária dos frutos, sendo frequente a visualização no mercado importador do melão brasileiro, a ocorrência de frutos contendo sintomas de podridão ocasionado por *Fusarium* spp., aumentando a necessidade de estudos com diferentes formas de manejo.

REFERÊNCIAS

- Abrafrutas, 2022. **Melão da caatinga para o mundo 2022**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/05/melao-da-caatinga-para-o-mundo/>. Acesso em: 01 abr.2023.
- Albuquerque Nascimento, Maria Tereza de. **Cobertura enriquecida com óleos essenciais no controle de *Colletotrichum truncatum* e *Alternaria alternata* em mamão**. 2020. 42 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2020. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2021/01/disserta%C3%A7%C3%A3o-maria-tereza.pdf>, Acesso em: 09 abr. 2023.
- Araújo, M. B. M. **Species of *Fusarium* causing peduncular rot in melon in Brazil and alternative management methods**. 2020. 91f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2020. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wpcontent/uploads/sites/45/2021/01/TESEMariaBrunaMedeiros-Ara%C3%BAjo-26-11-2020.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- Araújo, M. B. M. et al. *Fusarium* rot of melon is caused by several *Fusarium* species. **Plant Pathology**, v. 70, n. 3, p. 712–721, 2021.
- Chitarra, M.I.F.; Chitarra, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. Lavras: UFLA. Editorial. 1990.
- Cheng, Xiaomei et al. Inhibitory mechanisms of cinnamic acid on the growth of *Geotrichum citri-aurantii*. **Food Control**, v. 131, p. 108459, 2022.
- De Almeida Nogueira, Geovane et al. Aggressivity of different *Fusarium* species causing fruit rot in melons in Brazil. **Plant Disease**, v. 107, n. 3, p. 886-892, 2023.
- Fallik, E. et al. Redução das perdas pós-colheita de melão *Galia* por um breve enxágue com água quente. **Plant Pathology**, v. 49, n. 3, pág. 333-338, 2000.
- HF Brasil, 2023. Hortifruiti Brasil 2020. <https://www.hfbrasil.org.br/br/melao-cepea-exportacoes-recuam-em-fevereiro.aspx>. Acesso em: 15 de mai 2023.
- European Food Safety Authority (EFSA) et al. Modification of the existing maximum residue levels for imazalil in courgettes, cucumbers and gherkins. **EFSA Journal**, v. 21, n. 4, p. e07980, 2023.
- Kabelitz, Tina et al. Effects of hot water dipping on apple heat transfer and post-harvest fruit quality. **LWT**, v. 108, p. 416-420, 2019.
- Leslie, J. F.; Summerell, B. A. **The *Fusarium* Laboratory Manual**. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing, 2006.
- Lima, Eveline N. et al. A novel lineage in the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex is one of the causal agents of *Fusarium* rot on melon fruits in northeast Brazil. **Plant Pathology**, v. 70, n. 1, p. 133-143, 2021.

Maia, Tatiana Faria; Donato, Alexandre De; Fraga, Marcelo Elias. Atividade antifúngica de óleos essenciais de plantas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, n. 1, p. 105-116, 2015.

Maia, Josemir Moura et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 342-349, 2012.

Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. **Agrofit**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/rio-grande-do-norte-tem-20-municipios-reconhecidos-como-livre-da-mosca-das-frutas>. Acesso em: 17 abr. 2022. Acesso em: 15 mai. 2023.

Moller, Ian M.; Jensen, Poul Erik; Hansson, Andreas. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 58, p. 459-481, 2007.

Nabigol, Amrollah; Morshedi, Hosein. Evaluation of the antifungal activity of the Iranian thyme essential oils on the postharvest pathogens of strawberry fruits. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 48, p. 9864-9869, 2011.

Oster, A. H. Luz ultravioleta pulsada no controle de podridão pós-colheita e na qualidade de melão para exportação. **Embrapa Agroindústria Tropical – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**. (Boletim de pesquisa, 173), 2018.

PARK, Jin Young et al. Differential inhibitory activities of four plant essential oils on in vitro growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* causing Fusarium wilt in strawberry plants. **The plant pathology journal**, v. 33, n. 6, p. 582, 2017.

PRAKASH, Bhanu et al. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food control**, v. 89, p. 1-11, 2018.

RODRIGUES, Juliana Pereira et al. Tecnologias atuais para controle de doenças fúngicas em pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.). **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 36, p. 102128, 2021. See More.

Silva, Shamyra GA et al. *Fusarium falciforme* and *Fusarium suttonianum* cause root rot of melon in Brazil. **Plant Pathology**, V. 72, n.4, pág. 721 – 730, 2023.

Sivakumar, D.; Fallik, E. Influence of heat treatments on quality retention of fresh and fresh-cut produce. *Food Reviews International*, v. 29, n. 3, p. 294-320, 2013.

Terao D, Forner C, Maia AHN, Bettiol W. Potential use of bioagents in the control of postharvest rot in melon. **Acta Horticulturae** v.1053 p.65–74, 2014.

Terao D, Nechet kl, Frighetto RTS, Anjos VDA, Benato EA, Halfeld Vieira BA. Tratamentos físicos pós-colheita no controle da podridão caulinar da manga. **Journal of Phytopathology** v.166 p.581–589, 2018.

Terao, Daniel et al. Controle da podridão de Fusarium em melão Galia e preservação da qualidade dos frutos com radiação UV-C e tratamentos com água quente. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 3, p. 350-359, 2021.

Usall, J. et al. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 30–40, 2016.

2. TERMOTERAPIA ASSOCIADA A PRODUTOS ALTERNATIVOS NO MANEJO DA PODRIDÃO DO MELÃO CAUSADA POR *Fusarium falciforme*

RESUMO

Na busca por métodos eficientes e sustentáveis para o manejo da podridão de *Fusarium* em melão, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da termoterapia, isoladamente ou em combinação com produtos alternativos ao Magnate®, em melões inoculados com dois isolados de *Fusarium falciforme*. O efeito dos tratamentos na qualidade dos frutos foi avaliado por meio de parâmetros físico-químicos, severidade da doença e análises enzimáticas. Os experimentos in vitro mostraram que a concentração mais baixa (0,0625% v/v) de óleo essencial de canela foi a mais eficaz no controle do crescimento micelial de ambos os isolados, demonstrando efeitos comparáveis aos observados com Copper Crop® e Magnate®. Nos experimentos in vivo, o tratamento dos frutos com termoterapia combinada com Cooper Crop® reduziu bastante a podridão do melão, diminuiu os danos causados pelos dois isolados de *F. falciforme* e foi mais eficaz que Magnate®. Este tratamento produziu menor nível de peróxido de hidrogênio nos frutos inoculados, mantendo assim as membranas celulares. Contém compostos antifúngicos inerentes à sua composição e exerce influência nas enzimas peroxidase e polifenoxidase, induzindo assim o mecanismo de defesa do fruto. Portanto, a termoterapia combinada com Cooper Crop® pode ser utilizada no manejo da podridão do melão como alternativa ao Magnate®.

Palavras-chaves: *Cucumis melo*. fungos. pós-colheita. enzimas. óleos essenciais.

3. INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma das frutas mais consumidas e produzidas no mundo, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores do mundo, e o melão é a segunda fruta mais exportada no Brasil, com 181 mil toneladas de melão exportadas na safra 2022/2023 (Mapa, 2022; HF brasil, 2023). Os principais estados produtores e exportadores do Brasil são Rio Grande do Norte e Ceará, e os principais importadores do melão brasileiro são Reino Unido, Holanda e Espanha (Abrafrutas, 2022). O melão Galia (*Cucumis melo* cv. *reticulatus*) é uma variedade nobre israelense que tem dominado o mercado interno e externo devido ao seu excelente sabor. No entanto, esta variedade de melão tem uma vida útil relativamente curta devido à sua rápida deterioração fisiológica e vulnerabilidade ao ataque de fungos (Fallik et al., 2000; Terao et al., 2021). Predominantemente, os fungos pertencentes ao gênero *Fusarium* são os contaminantes predominantes no melão.

A Podridão do melão causada por *Fusarium* spp. é uma das doenças mais importantes, causando perdas mundiais e de exportação. Fungicidas sintéticos têm sido utilizados no manejo de doenças causadas por fungos na pós-colheita do melão; entretanto, o Imazalil (Magnate®), ingrediente ativo atualmente utilizado no Brasil para o manejo da podridão do melão, está sob ameaça de proibição na Europa, principal importador do melão brasileiro. A aplicação de uma proibição impediria o uso de Magnate® nas exportações brasileiras de frutas (European Food Safety Authority et al., 2023). Assim, há uma grande necessidade de alternativas para minimizar os danos causados por esses patógenos.

Algumas técnicas alternativas ao uso de produtos químicos para o manejo da podridão em melão, como tratamentos físicos (termoterapia e refrigeração), óleos essenciais (OE) e compostos à base de cobre (Cu) obtidos na forma de complexos orgânicos, têm ganhado grande interesse nos últimos anos em controlar muitas doenças pós-colheita em frutas e hortaliças devido à ausência de resíduos no produto tratado e ao mínimo impacto ambiental (Araújo, 2020).

Os OEs vegetais têm notável eficácia antifúngica. Podem ser utilizados no manejo pós-colheita ecologicamente correto e prolongar os períodos de transporte e armazenamento de frutas nos mercados (Nabigol et al., 2011; Park et al., 2017). Produtos à base de Cu oferecem uma alternativa para mitigar problemas causados por espécies de *Fusarium* em melões. Esses produtos têm múltiplos locais de ação e estão associados a um menor risco de patógenos desenvolverem resistência a eles.

A termoterapia atua superficialmente removendo e erradicando patógenos ou pragas presentes na superfície do fruto e sistemicamente aumentando a atividade de enzimas relacionadas à defesa, nomeadamente peroxidase (POX) e polifenol oxidase (PPO) (Terao, 2018). Essas enzimas estão envolvidas no processo de desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs), principalmente do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), que, em excesso, causa estresse oxidativo. Assim, POX e PPO mantêm níveis não tóxicos de EROs e previnem danos oxidativos em espécies vegetais (Moller et al., 2007; Maia et al., 2012).

Segundo Terao et al. (2021), a aplicação de termoterapia mergulhando o melão Galia em água quente a 52°C por 2 min controlou com sucesso a podridão, com eficácia equivalente ao Imazalil. Porém, o fungo não foi totalmente controlado, o que torna necessário aprimorar a técnica ou utilizar uma combinação de práticas mais eficaz, preferencialmente com custo semelhante ao produto utilizado pelos produtores de melão no Brasil. Essa abordagem facilitaria a exportação de melão brasileiro, garantiria uma produção de qualidade e apoiaria o emprego na principal região produtora de melão do Brasil. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da termoterapia isoladamente e combinada com alternativas ao Magnate® em melões inoculados com dois isolados de *F. falciforme*.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ISOLADOS

Dois isolados de *F. falciforme* foram selecionados da coleção micológica do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia da UFERSA devido à sua agressividade, ocorrência frequente nas áreas produtoras de melão do Brasil e comportamento diferenciado quanto à velocidade de crescimento e grau de agressividade, apesar de pertencentes à mesma espécie (Araújo et al., 2021).

Esses isolados também estão depositados na coleção micológica de Lavras (CML) (Universidade Federal de Lavras - UFLA, Brasil), e as sequências estão armazenadas no GenBank: Iso1 (MT476611/ MT461687) e Iso2 (MT476600/ MT461683). Os isolados foram cultivados em ágar batata dextrose (BDA) e incubados em incubadora tipo *Biochemical Oxygen Demand* (DBO) a 28°C ± 2°C, com fotoperíodo de 12 horas.

Para os experimentos *in vivo*, foram preparadas culturas do fungo por 10 dias nas condições descritas acima, e uma solução de esporos foi preparada na concentração de 1 × 10⁶

conídios/mL utilizando um hemocitômetro. Antes da instalação do experimento foi verificada a patogenicidade dos isolados, confirmando sua natureza patogênica.

4.2. EXPERIMENTO I E II (*IN VITRO*): SELEÇÃO DE PRODUTOS E CONCENTRAÇÃO COM POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 1 E ISO 2

Os experimentos *in vitro* foram conduzidos em laboratório para avaliar o efeito dos OEs (canela, *Cinnamomum cassia* L. J. Presl; capim-limão, *Cymbopogon flexuosus* D.C.; e manjeriço, *Ocimum basilicum* L.) produzidos pela Bioessência® (São Paulo), bem como o efeito de Copper Crop® e Magnate® 500 EC no crescimento micelial de dois isolados de *F. falciforme*, Iso1 e Iso2. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 16 tratamentos e cinco repetições: Magnate® (2 ml/L) (concentração utilizada nas fazendas); Copper Crop® (10 ml/L) (dose recomendada pelo fabricante); e os OEs de canela, capim-limão e manjeriço (concentrações de 0,5%, 0,25%, 0,125% e 0,0625% v/v, juntamente com um controle [PDA]). Cada tratamento incorporou 0,05 g/L de antibiótico tetraciclina no PDA fundido (a aproximadamente 50°C). Posteriormente, as misturas foram vertidas em placas de Petri e colocadas em incubadora BOD a 28°C ± 2°C, com fotoperíodo de 12 horas. A composição dos OEs e produtos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Principais composições dos produtos utilizados no controle do *Fusarium falciforme*.

Produtos	Composição*
Óleo essencial de canela	Neral (8,37%), Geranial (21,3%) e Oxido de linalol trans (10,4)
Óleo essencial de capim limão	Trans – anetol (54,1%) e L – Linálcool (28,81%)
Óleo essencial de manjeriço	Trans – anethole (54,1%) e L – Linalcool (28,81%)
Copper Crop®	Metabólitos secundários da multiplicação microbiana controlada + Cobre + Enzimas (xilanase, hemicelulase, lignase) Cobre + Nitrogênio + Aminoácidos
Magnate® 500 EC	Imazalil

*Composição com os principais produtos.

Tween® 20 (1% v/v) foi adicionado como emulsificante a todos os tratamentos com OE. Um disco de 5 mm de diâmetro contendo estruturas fúngicas (micélios e conídios) foi transferido da borda de uma colônia com 12 dias de idade para o centro de cada placa. As placas foram armazenadas em incubadora BOD a 25°C ± 2°C (fotoperíodo de 12 horas). A

porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIM) foi avaliada no 8º dia de incubação quando o crescimento do controle atingiu 100% em toda a placa. A porcentagem foi calculada pela fórmula $PIM(\%) = [(CA - CT) / CA] * 100$, onde CA é o diâmetro do controle (mm) e CT é o crescimento radial do tratamento (mm). O Tween® 20 foi testado apenas para verificar se apresentava atividade inibitória.

4.3. EXPERIMENTOS III E IV (*IN VIVO*): POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 1

Frutos do melão Galia cultivar NUN 67007 foram coletados no ano de 2022 em campo comercial localizado na zona rural do município de Mossoró/RN, Brasil (04° 56' 10" S, 37° 28' 12" W). Eles foram selecionados pela uniformidade de maturação, ausência de sintomas e danos físicos. Os experimentos foram conduzidos em um DIC, com sete tratamentos (controle, Magnate®, Copper Crop®, OE de canela, termoterapia, termoterapia + Copper Crop® e termoterapia + OE de canela) e cinco repetições. Cada repetição foi representada por 1 fruto, totalizando 35 frutos por isolado. O experimento foi repetido.

A desinfestação da superfície dos frutos foi realizada lavando-os em água corrente, mergulhando-os em hipoclorito de sódio 0,1% por 2 min, enxaguando-os em água corrente e borrifando-os com álcool 70%. Após a secagem natural dos frutos, foram feitas quatro feridas equidistantes (aproximadamente 3 mm de profundidade) na base do pedúnculo, utilizando um conjunto de três agulhas previamente desinfetadas com chama (Terao et al., 2017).

Utilizando uma pipeta, uma alíquota de 5 µL de suspensão de conídios (*F. falciforme* Iso1) na concentração de 1×10^6 conídios/mL foi depositada em cada área da ferida da agulha, totalizando 20 µL de suspensão de conídios por fruto. Os tratamentos (Magnate® [2 ml/L]; Copper Crop® [10 ml/L] e OE de canela [0,0625% v/v]) foram aplicados 12 horas após a inoculação para garantir a penetração dos isolados nos frutos (Terao et al., 2021).

No tratamento controle, uma alíquota com o mesmo volume de água destilada estéril foi depositada sobre as feridas dos frutos. Nos tratamentos de termoterapia, os frutos foram imersos em água quente por 90 segundos dentro de uma cesta de aço inoxidável e uma bacia com água a 58°C. Após secagem natural, os produtos (Magnate®, Copper Crop® e OE de canela) foram aplicados com auxílio de pipeta e algodão estéril, sendo que o pedúnculo de cada fruto recebeu 500 µL de cada produto. Em seguida, os frutos tratados foram armazenados em câmara fria a $8^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por 30 dias para simular o momento de exportação para a Europa. Nesse período foram avaliados severidade da doença, firmeza da polpa, sólidos solúveis totais

e pH. Para determinar a severidade da doença, o tamanho das lesões foi medido nas direções transversal e longitudinal com paquímetro digital (em mm).

A análise da firmeza da polpa foi realizada cortando-se os frutos longitudinalmente e fazendo duas perfurações na região da polpa de cada metade dos frutos utilizando um penetrômetro digital de frutos (Homis, 3020), e os resultados foram expressos em N.

O pH foi medido com um medidor de pH de bancada (AK151). Os sólidos solúveis totais do suco concentrado da polpa foram determinados em refratômetro digital portátil (MA871) e expressos em °Brix.

4.4. EXPERIMENTOS V E VI (*IN VIVO*): POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 2

Estes experimentos foram conduzidos e avaliados nas mesmas condições metodológicas, local e época já descritas no experimento III e IV. O único diferencial foi o isolado utilizado (Iso 2). O experimento VI foi a repetição do V.

4.5. ANÁLISES ENZIMÁTICAS E BIOQUÍMICAS

Estas análises foram realizadas para todos os tratamentos *in vivo* com os dois isolados de *Fusarium*. As análises foram repetidas. Amostras de exocarpo foram coletadas de três frutos por tratamento ao final do experimento, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer (-80 C) para determinação da atividade de POX e PPO e concentração de H₂O₂. Para obtenção do extrato enzimático bruto, foram pesados 0,5 g das amostras do exocarpo e triturados em almofariz com 25 mg de polivinilpirrolidona (PVP) e nitrogênio líquido. Posteriormente, foram adicionados 2,5 mL de tampão acetato de sódio (100 mM, pH 5,0) e 0,5 mL de EDTA (1 mM) e as amostras foram homogeneizadas. As amostras foram transferidas para tubos Eppendorf e centrifugadas por 10 min a 4°C e 10.000 × g. O sobrenadante (extrato enzimático bruto) foi utilizado nas análises (Bezerra e Barreto, 2011).

Para análise de POX, 25 µL de guaiacol (0,2 M) foram adicionados e misturados com 250 µL de H₂O₂ (0,38 M) e 1 mL de tampão fosfato de sódio (0,2 M, pH 6,0). A mistura foi agitada suavemente e a reação foi iniciada após a adição de 25 µL do extrato enzimático bruto. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de 470 nm (Tecnal UV-5100) a cada 10 s durante 60 s. A atividade enzimática foi calculada com base na diferença de absorbância e no peso da amostra fresca. O extrato enzimático foi substituído por água destilada para as leituras

do branco (Bezerra e Barreto, 2011). Para a determinação da atividade da PPO, 1,8 mL de tampão fosfato de potássio (0,05 M, pH 6,0) foram adicionados a 50 µL de extrato enzimático e 50 µL de catecol (0,1 M). A mistura foi agitada em vórtice por 15 segundos e incubada por 30 minutos a 30°C. Em seguida, os tubos foram transferidos para um banho de água gelada e foram adicionados 100 µL de ácido perclórico (1,4%). Posteriormente, os tubos foram agitados em vórtice e deixados em repouso por 10 min. O extrato enzimático foi substituído por água destilada para leituras em branco. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de 470 nm (Tecnal UV-5100) a 396 nm (Campos et al., 2004).

O H₂O₂ foi quantificado misturando 75 µL de extrato enzimático, 75 µL de tampão fosfato de potássio (10 mM, pH 7,0) e 150 µL de iodeto de potássio (1 M) em tubos Eppendorf que foram incubados por 30 min em temperatura ambiente (25°C). C) no escuro. Após a incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm (Quadros et al., 2019).

4.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A normalidade dos dados foi testada e os valores foram submetidos à análise de variância por meio do software estatístico SAS (SAS, 2015). O teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) e o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) foram utilizados para comparar as médias dos experimentos *in vitro* e *in vivo*, respectivamente. Os gráficos foram construídos no software SigmaPlot (versão 15). O Experimento IV é a repetição do experimento III, e o experimento VI é a repetição do experimento V, conduzido nas mesmas condições, local e época para confirmar os resultados para Iso1 e Iso2, respectivamente.

5. RESULTADOS

5.1. EXPERIMENTO I E II (*IN VITRO*): SELEÇÃO DE PRODUTOS E CONCENTRAÇÃO COM POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 1 E ISO 2

Efeitos significativos do tratamento foram observados para a variável PIM ($p > 0,001$) em ambos os isolados.

Houve 100% de inibição do crescimento micelial de ambos os isolados de *Fusarium* quando foi utilizado OE de canela nas concentrações testadas (0,5%, 0,25%, 0,125% e 0,0625%). Este resultado não diferiu dos resultados do Copper Crop® e Magnate®, que também inibiram completamente o crescimento micelial (Figura 1).

O OE de capim-limão inibiu o crescimento micelial de *Fusarium* em 100% nas concentrações de 0,25% e 0,125%, e na concentração de 0,0625%, inibiu o crescimento de Iso1 em 54,2% (Figura 1A) e o crescimento de Iso2 em 50,34% (Figura 1B) em relação ao controle (Fig. 1).

O OE de manjerição não inibiu completamente o crescimento micelial de ambos os isolados de *Fusarium*, no entanto, a 0,5%, inibiu o crescimento de Iso1 em 72% (Figura 1A) e o crescimento de Iso2 em 64,2% (Figura 1B) em relação ao controle. O Tween® 20 apresentou baixa atividade inibitória, igual à do OE de manjerição na concentração de 0,0625%, ambas relativas ao controle, segundo teste de Scott-Knott com nível de confiança de 5% (Figura 1).

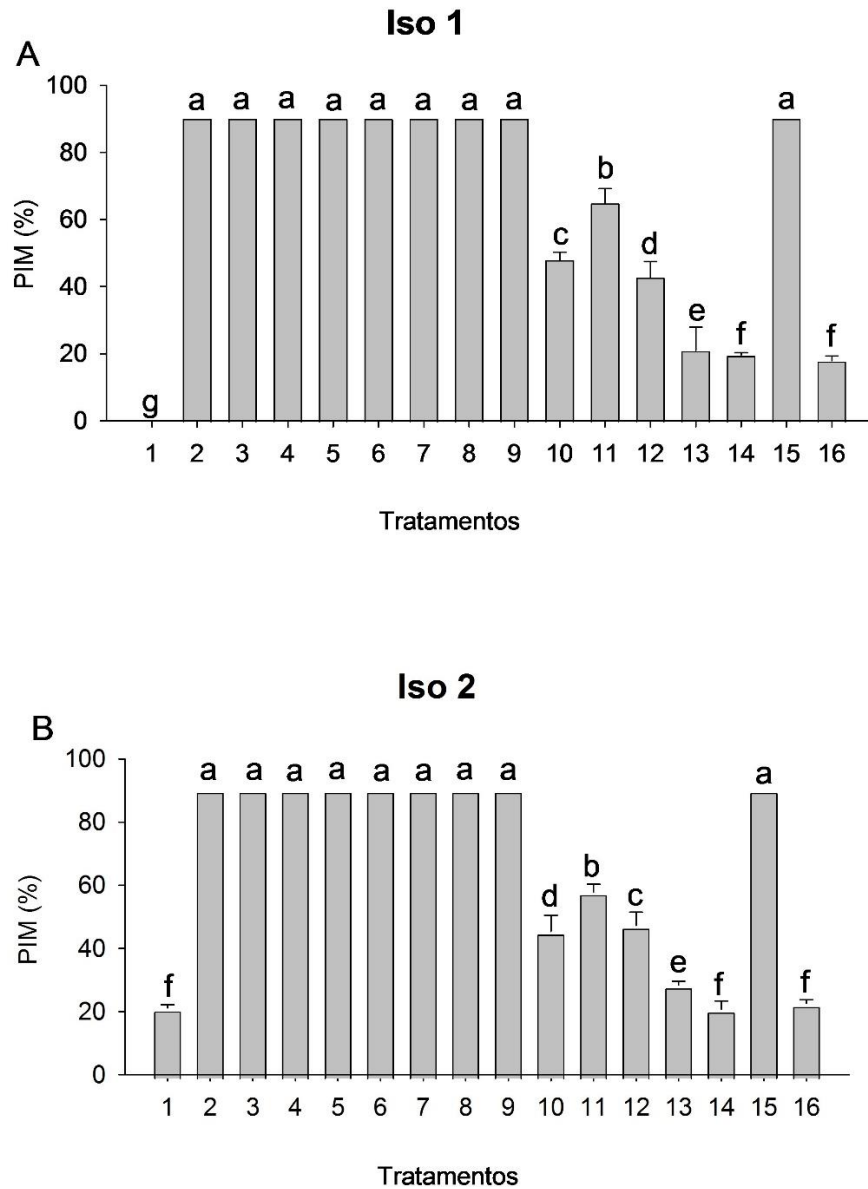


Figura 1. Média do percentual de inibição do crescimento micelial (PIM) *in vitro* de isolados de *F. falciforme* Iso 1 (A) e Iso 2 (B) sob diferentes tratamentos. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-knott à 5% de probabilidade. 1 = Controle; 2 = Magnate; 3 = OE de canela (0,5 %); 4 = OE de canela (0,25 %); 5 = OE de canela (0,125 %); 6 = OE de canela (0,0625%); 7 = OE de capim limão (0,5 %); 8 = OE de capim limão (0,25 %); 9 = OE de capim limão (0,125%); 10 = OE de capim limão (0,0625 %); 11 = OE de manjeriçã (0,5%); 12 = OE de manjeriçã (0,25%); 13 = OE de manjeriçã (0,125%); 14 = OE de manjeriçã (0,0625%); 15 = Copper Crop®; 16 = Tween® 20.

5.2. EXPERIMENTOS III E IV (IN VIVO): POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 1

Verificou-se efeito significativo para os tratamentos avaliados nas variáveis severidade, firmeza, pH, POX, PPO e H₂O₂ ($p \leq 0,05$).

O tratamento que causou a menor severidade da doença nos experimentos III e IV foi a termoterapia + Copper Crop[®], reduzindo 29,06 e 28 % respectivamente em relação ao controle, já quando comparado ao Magnate[®], essa redução foi de 17,2 % e 19,8 % respectivamente. No experimento III, a termoterapia + Copper Crop[®], foi estatisticamente diferente dos tratamentos controle, OE de canela e termoterapia (Fig. 2A). Já no experimento IV a termoterapia + Copper Crop[®] foi diferente dos demais tratamentos (Fig. 2B).

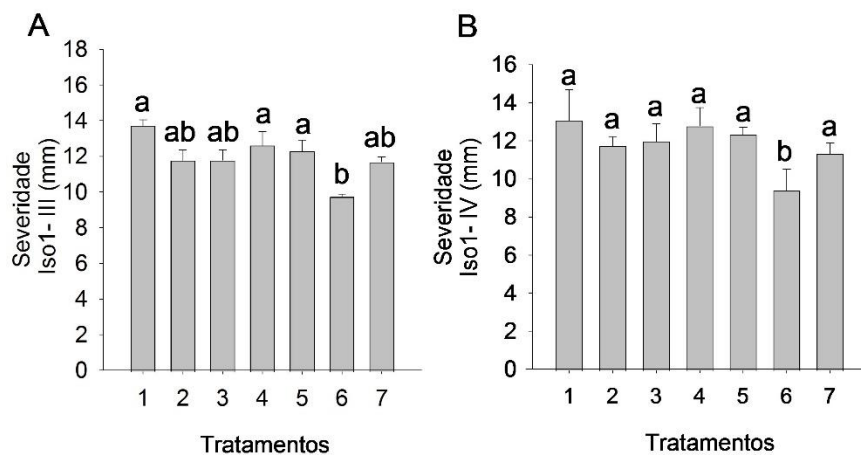


Figura 2. Média da severidade da doença (A e B), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 1, em função da aplicação de produtos, associado ou não a termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate[®]; 3 = Copper Crop[®]; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop[®]; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Na firmeza da polpa, o tratamento OE de canela foi o que proporcionou a maior firmeza em ambos os experimentos. Ele foi estatisticamente diferente do controle, Magnate[®] e termoterapia + OE de canela, proporcionando 45,9; 39,6 e 25,9% a mais de firmeza, em relação aos mesmos tratamentos, respectivamente, no experimento III (Figura 3A), e 50; 32 e 24% a mais de firmeza, em relação aos mesmos tratamentos, respectivamente no experimento IV (Figura 3B).

Na variável sólidos solúveis totais (°brix) não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em ambos os experimentos, de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 3C e 3D).

Para o pH no experimento III, os frutos tratados com OE de canela apresentaram o menor valor (5,83), sendo estatisticamente igual ao tratamento termoterapia + Copper Crop® (5,88) (Figura 3E). Já no experimento IV, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 3F).

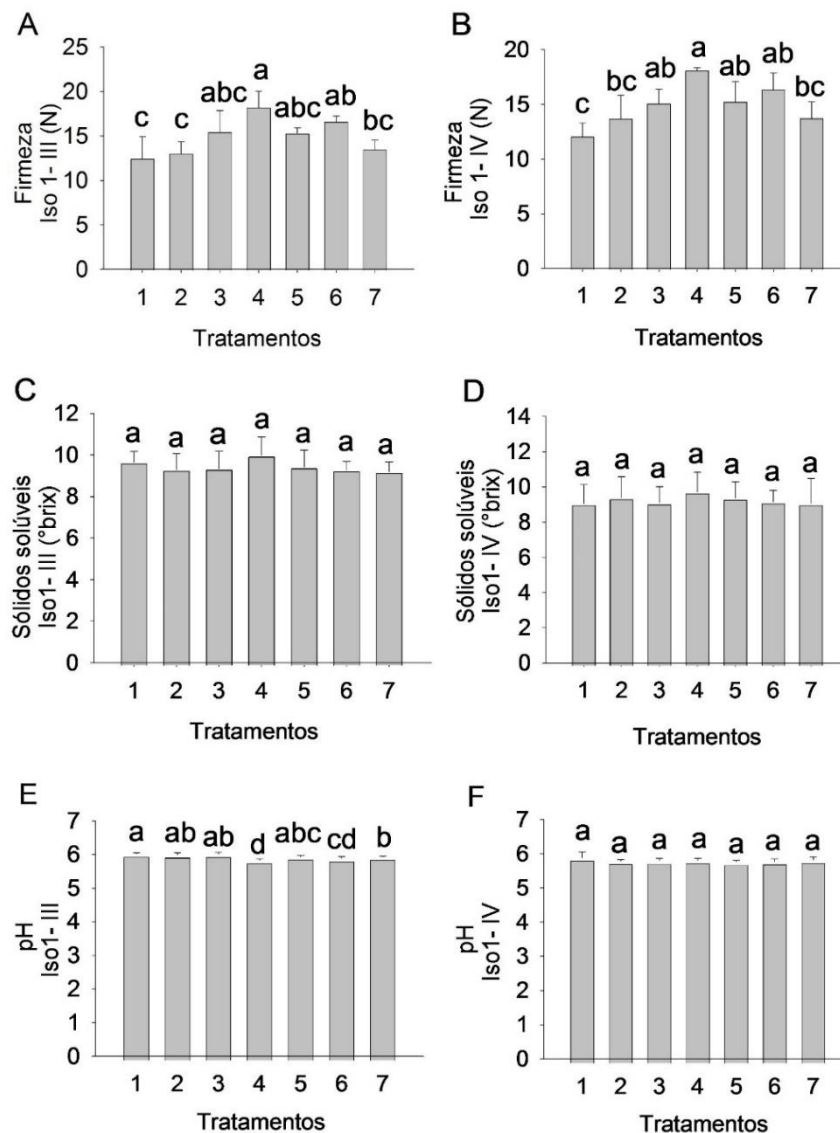


Figura 3. Média da firmeza da polpa (A e B), sólidos solúveis totais (C e D) e pH (E e F), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 1, em função da aplicação de produtos, associado ou não a termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate®; 3 = Copper Crop®; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop®; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Na atividade das enzimas nos experimentos III e IV, o Magnate[®] foi o tratamento que apresentou maior atividade da POX nos frutos em ambos os experimentos, sendo que no III, o Magnate[®] foi diferente dos demais tratamentos, seguido da termoterapia + OE de canela que foi estatisticamente igual ao OE de canela (Figura 4A). No experimento IV o Magnate[®] foi igual a controle, OE de canela e termoterapia + OE de canela (Figura 4B).

Para a atividade da PPO, no experimento III a controle foi inferior ao OE de canela, que foi estatisticamente igual aos demais tratamentos (Figura 4C). Já no experimento IV, o controle foi inferior ao Magnate[®], OE de canela, e a termoterapia + Copper Crop[®], sendo estatisticamente iguais aos demais tratamentos (Figura 4D).

Com relação à concentração de H₂O₂, o controle promoveu maior acúmulo, em ambos os experimentos (III e IV). Sendo que no III a controle foi estatisticamente diferente apenas da termoterapia + OE de canela. Já no experimento IV, o controle foi estatisticamente igual a termoterapia e ao Magnate[®]. Nesses experimentos a termoterapia + OE de canela proporcionou menor concentração de H₂O₂ em relação ao controle, sendo estatisticamente igual aos demais tratamentos (Figuras 4E e 4F).

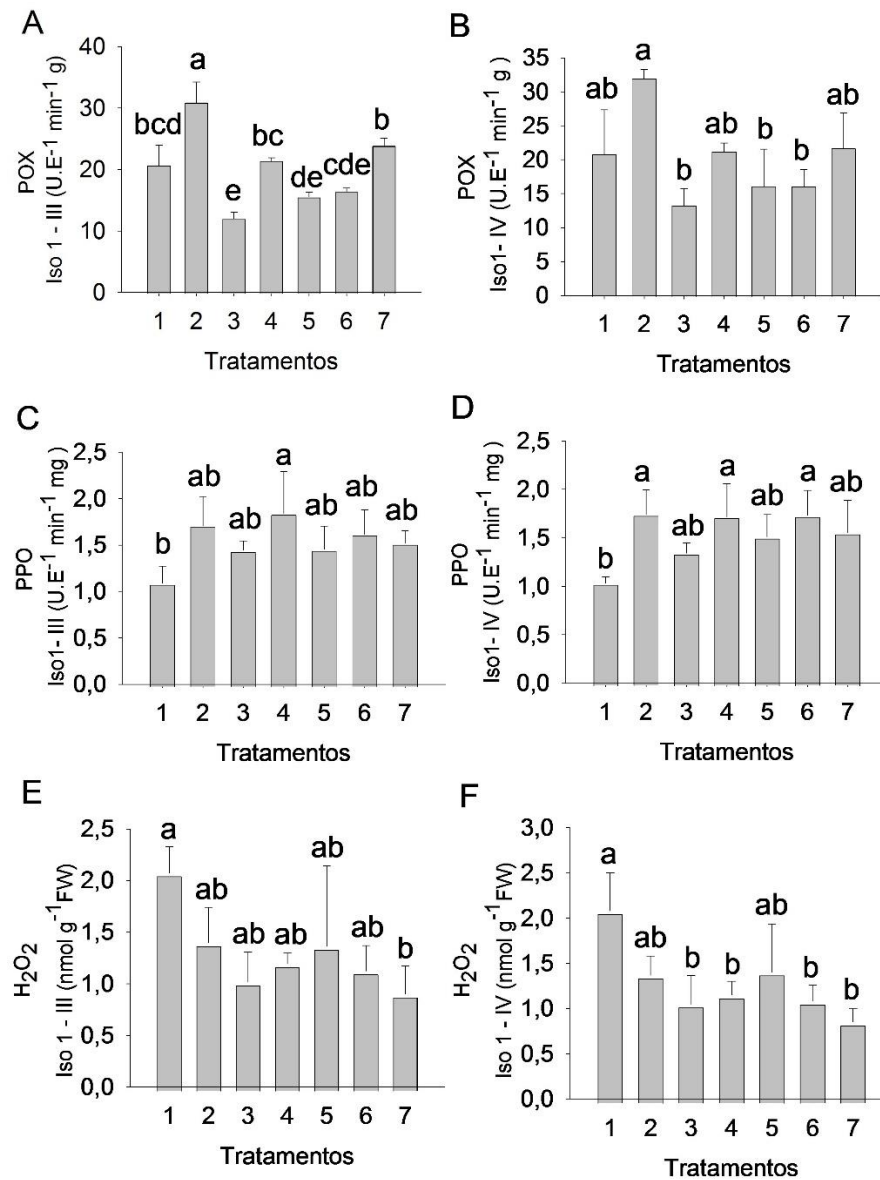


Figura 4. Média da atividade enzimática POX (A), PPO (B), e H₂O₂ (C), após aplicação de produtos, inoculação do *F. falciforme*, Iso 1, associado ou não a termoterapia 58 °C por 90s, no melão Gália. 1 = Controle; 2 = Magnate[®]; 3 = Copper Crop[®]; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop[®]; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3. EXPERIMENTOS V E VI (IN VIVO): POTENCIAL INIBITÓRIO DE *F. FALCIFORME* ISO 2

Houve efeito significativo dos tratamentos avaliados nas seguintes variáveis: severidade, firmeza, atividades de POX e PPO e concentração de H₂O₂ ($p \leq 0,05$).

O tratamento que causou a menor severidade da doença nos experimentos V e VI foi a termoterapia + Copper Crop[®], sendo estatisticamente diferente dos tratamentos controle, Copper Crop[®] e OE de canela. No experimento V, verificou-se que a termoterapia + Copper Crop[®] reduziu 29 % a severidade em relação ao controle e 14,5 % em relação ao Magnate[®], mesmo não apresentando diferença estatística deste (Figura 5A). Já no experimento VI o tratamento termoterapia + Copper Crop[®] proporcionou a menor severidade, sendo diferente apenas do controle. Assim, observou-se que a termoterapia + Copper Crop[®] reduziu 25,9 % em relação ao controle e 9,7% em relação ao Magnate[®], mesmo não apresentando diferença estatística deste (Figura 5B).

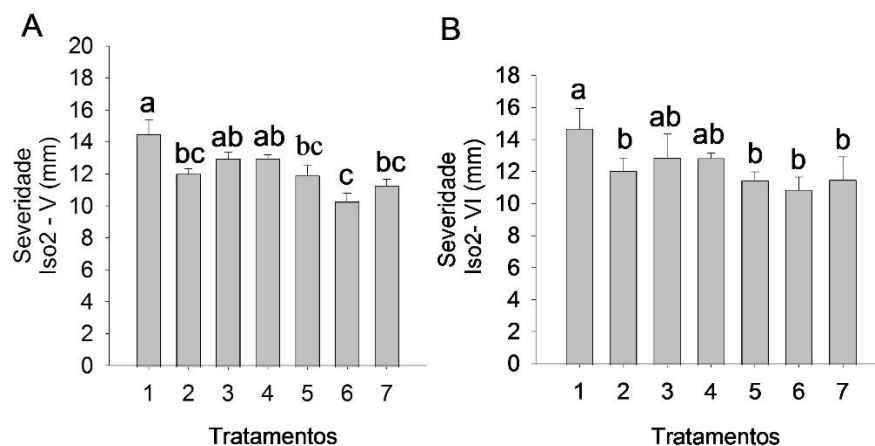


Figura 5. Média da severidade da doença (A e B), em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 2, em função da aplicação de produtos, associado ou não a termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate[®]; 3 = Copper Crop[®]; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop[®]; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Os frutos apresentaram maior firmeza de polpa nos tratamentos termoterapia + Copper Crop[®], e termoterapia + OE de canela (experimentos V e VI), sendo estatisticamente diferentes do controle. (Figuras 6A e 6B).

Nas variáveis pH e sólidos solúveis totais (°brix), não foram observadas diferenças entre os tratamentos em ambos os experimentos (Figuras 6C e 6D).

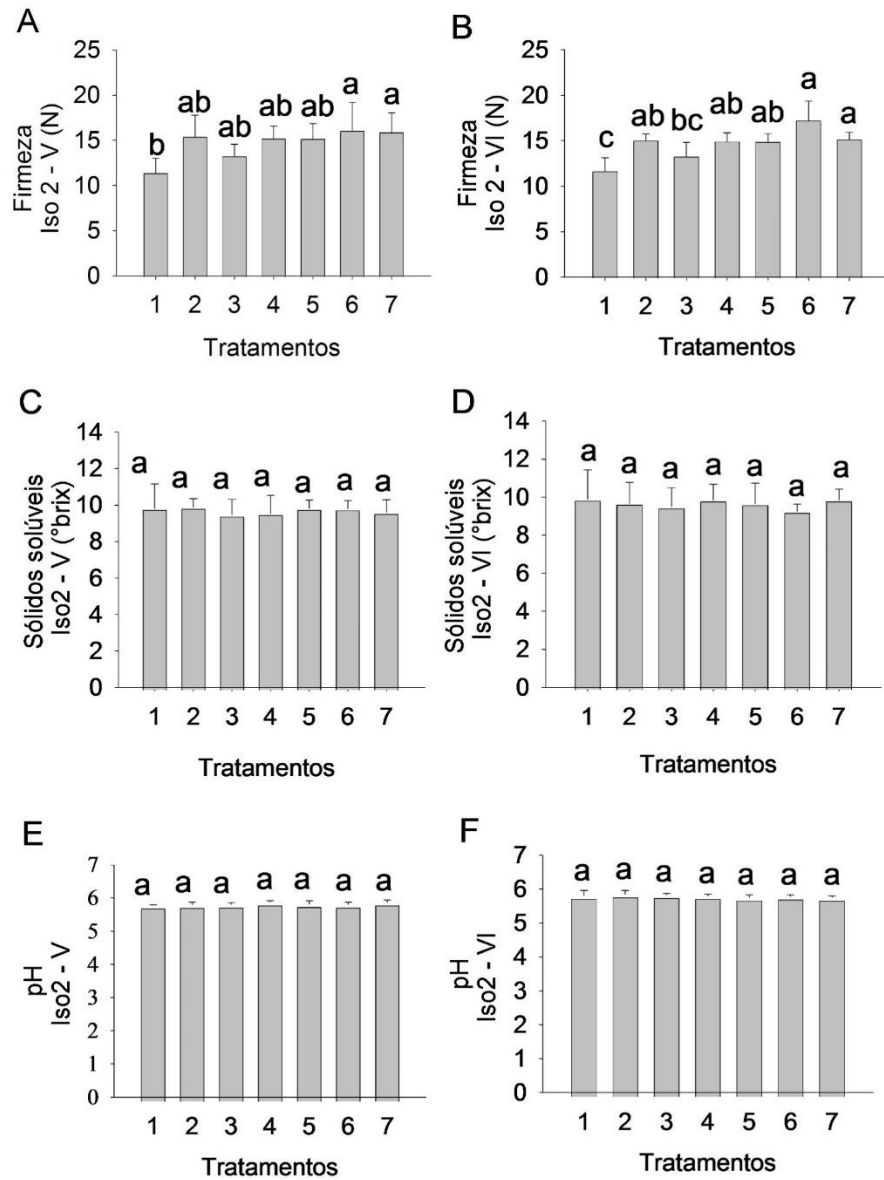


Figura 6. Média da firmeza da polpa (A e B), sólidos solúveis totais (C e D), pH (E e F) em melão Gália inoculados com *F. falciforme*, Iso 2, em função da aplicação de produtos, associado ou não a termoterapia a 58 °C por 90s. 1 = Controle; 2 = Magnate[®]; 3 = Copper Crop[®]; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop[®]; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade.

Na atividade das enzimas, a termoterapia + OE de canela exibiu maior atividade da POX nos frutos em ambos os experimentos, sendo que no experimento V, a termoterapia + OE de canela foi igual ao Magnate[®], Copper Crop[®], OE de canela e termoterapia + Copper Crop[®]. Já a termoterapia foi estatisticamente igual a controle (Figuras 7A). No experimento VI, a termoterapia + OE de canela foi igual ao Magnate[®], Copper Crop[®] e o OE de canela. (Figuras 7B).

Para a atividade da PPO (experimentos V e VI), o controle foi inferior à termoterapia + OE de canela e a termoterapia + Copper Crop[®], sendo estatisticamente iguais aos demais tratamentos (Figuras 7C e 7D).

Na concentração de H₂O₂, o controle apresentou a maior concentração em ambos os experimentos, sendo que no experimento V, o controle foi estatisticamente igual ao OE de canela. No entanto, a termoterapia + Copper Crop[®] proporcionou concentração de H₂O₂ menor que o controle, sendo estatisticamente igual aos demais tratamentos, em ambos os experimentos (Figuras 7E e 7F).

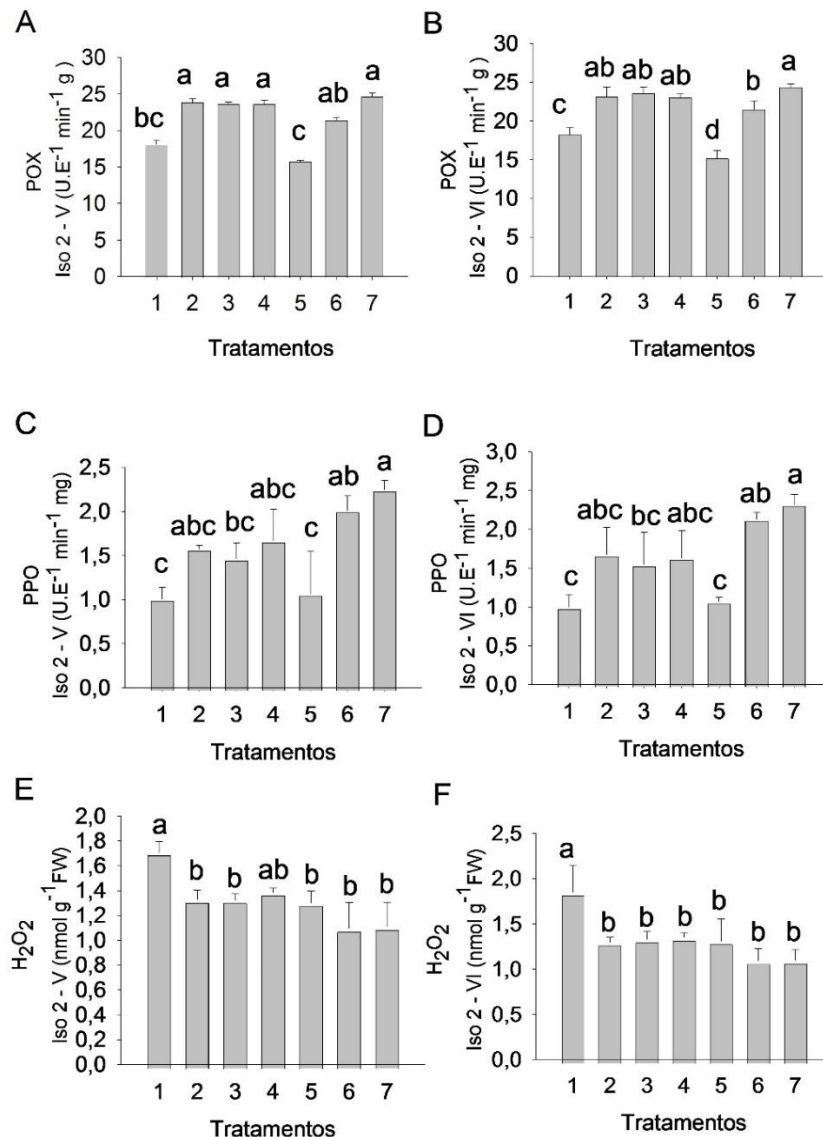


Figura 7. Média da atividade enzimática POX (A e B), PPO (C e D), e H₂O₂ (E e F), após aplicação de produtos, inoculação do *F. falciforme*, Iso 2, associado ou não a termoterapia 58°C por 90s, no melão Gália. 1 = Controle; 2 = Magnate[®]; 3 = Copper Crop[®]; 4 = OE de canela; 5 = termoterapia; 6 = termoterapia + Copper Crop[®]; 7 = termoterapia + OE de canela. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

6. DISCUSSÃO

O presente estudo enfatiza a eficácia da associação entre a técnica de termoterapia e alternativas ao Magnate® no manejo da podridão do melão.

O OE de canela apresentou grande potencial para inibir o crescimento micelial de *F. falciforme* (Iso1 e Iso2), provavelmente devido à presença de compostos fungitóxicos em sua composição. Tais efeitos fungitóxicos foram relatados em diversos estudos *in vitro*, com reduções notáveis no crescimento micelial de fungos como *Penicillium digitatum* e *Aspergillus niger* (Noshirvani et al., 2017; Benato et al., 2018). Ao estudar a atividade inibitória de quatro OEs voláteis de plantas (óleo de canela, óleo de erva-doce, óleo de origanum e óleo de tomilho) no controle *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* que causa a murcha de *Fusarium* em morangueiros, Park (2017) observou que o óleo de canela foi o mais eficaz na supressão da germinação de conídios de *F. oxysporum* f. sp. *fragariae* entre os quatro OEs.

Entretanto, alguns estudos *in vitro* com OEs demonstraram perda de eficácia na atividade antifúngica quando aplicados *in vivo* devido à interferência da temperatura, umidade, mecanismos fúngicos e características dos frutos (estágio de maturação, pH e atividade antioxidante). Certas concentrações de OEs também podem induzir a fitotoxicidade dos frutos, causando danos físicos que criam aberturas para entrada e desenvolvimento de fungos fitopatogênicos (Palou et al., 2016; Benato et al., 2018).

No presente estudo, o Copper Crop® também foi altamente eficaz na inibição *in vitro* de *F. falciforme*, com efeito igual ao do Magnate®. Segundo o fabricante, o Copper Crop® é derivado de um processo de fermentação que combina macronutrientes, micronutrientes e aminoácidos e fornece Cu na forma de um complexo orgânico. Torre et al. (2018) relataram que os íons cúpricos rompem a membrana celular do fungo, causando desnaturação de proteínas estruturais e induzindo reações enzimáticas que bloqueiam a atividade respiratória e inibem a germinação de esporos. O Copper Crop® é utilizado por produtores no Brasil e pode ser uma alternativa para substituir fungicidas à base de Cu, pois possui aminoácidos complexos que auxiliam sua absorção pela planta, aumentando assim a atividade de enzimas de defesa e melhorando a resistência ao ataque de fitopatógenos (Freires et al., 2022).

A termoterapia é uma técnica consagrada no Brasil e tem demonstrado eficácia em diversas culturas, incluindo manga e laranja. A termoterapia atua na superfície da fruta (removendo sujeiras e esporos de fungos e micélios e promovendo o selamento da cutícula) e também induz o sistema de defesa; vem ganhando importância no manejo da podridão do melão (Yuan, et al., 2013; Terao et al., 2018).

Segundo Terão et al. (2021), o uso de termoterapia a 52°C por 2 min em melão Galia é eficaz e equivalente ao uso de Magnate®; porém, outros autores defendem que a combinação de tecnologias tende a ser mais eficaz no controle de fitopatógenos do que a utilização de uma técnica isoladamente, pois favorece a manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos (Murakami et al., 2020; Rodrigues et al., 2021).

No presente estudo com melão Galia, a comparação entre termoterapia combinada com produtos alternativos e Magnate® mostrou que a associação da termoterapia com Copper Crop® foi mais eficaz por um período de 30 dias de armazenamento em câmara fria (7°C), superando Magnate®. Resultados semelhantes foram relatados por Araújo (2020) após utilização de Copper Crop® (8 ml/L) combinado com termoterapia (58°C por 30 s) em frutos de melão; os frutos permaneceram livres de lesões aparentes por até 40 dias.

Além disso, o presente estudo mostrou resultados satisfatórios da termoterapia combinada com OE de canela, que reduziu a podridão do melão causada por dois isolados de *F. Falciforme* quando armazenados em câmara fria (7°C), apresentando eficácia comparável à do Magnate®; entretanto, Benato et al. (2018) relataram que a combinação de termoterapia (60°C por 20 s) com OE de canela (0,12 g L⁻¹) reduziu em 40% o desenvolvimento de mofo verde na laranja. Esses autores também defendem o uso de OEs com propriedades antifúngicas como componentes cruciais para a formulação de produtos alternativos, que podem ser combinados com outros métodos para aplicação tanto na agricultura convencional quanto na orgânica.

Os efeitos positivos da associação da termoterapia com OE de canela podem ser explicados pela ação sinérgica que existe entre a atividade antimicrobiana do ácido cinâmico (composto cuja concentração é maior no OE de canela) e sua atividade desinfetante sistêmica que induz a atividade de defesa- enzimas relacionadas.

O estresse causado pelo ataque fúngico pode causar acúmulo excessivo de EROs (especialmente H₂O₂) nas células vegetais. Esse acúmulo excessivo leva ao estresse oxidativo, ativando mecanismos antioxidantes enzimáticos para manter níveis não tóxicos de ERO. POX e PPO estão entre as enzimas relacionadas a esse mecanismo, contribuindo para a remoção de H₂O₂ (Ben et al., 2005; Maia et al., 2012). Nossos resultados estão alinhados com esses estudos, ilustrando uma correlação inversa entre as enzimas POX e PPO e H₂O₂, na medida em que os frutos inoculados que não receberam nenhum tipo de tratamento (controle) apresentaram maiores níveis de H₂O₂ e menores níveis de POX e PPO.

A firmeza do fruto está relacionada com a integridade da parede celular. No presente estudo, a maioria dos produtos e sua combinação com a termoterapia afetaram positivamente a

firmeza dos frutos quando comparados aos frutos não tratados. Este fenômeno pode ser atribuído aos menores níveis de H_2O_2 nas frutas tratadas. Lin et al. (2020) relataram que um aumento acelerado de H_2O_2 influencia negativamente a firmeza da polpa, aumentando assim a atividade de enzimas que degradam os polissacarídeos da parede celular e aceleram sua decomposição. Consequentemente, isso leva a um amolecimento acelerado da polpa.

Embora o estudo tenha dado bons resultados, os fungos ainda permaneceram patogênicos, causando a deterioração dos frutos. Isto mostra a necessidade de pesquisas adicionais envolvendo outras dosagens e produtos para desenvolver um método mais eficaz para o controle da podridão do melão.

7. CONCLUSÕES

A termoterapia combinada com Cooper Crop® proporcionou a maior redução da podridão do melão, diminuindo os danos causados pelos dois isolados de *F. falciforme* e sendo mais eficaz que Magnate®. Este tratamento também resultou na redução dos níveis de H₂O₂ nos frutos inoculados e afetou a atividade das enzimas POX e PPO. Portanto, a termoterapia combinada com Cooper Crop® não só incorporou compostos antifúngicos como também acionou os mecanismos de defesa da fruta. Esta abordagem pode ser utilizada como alternativa para o controle da podridão do melão.

REFERÊNCIAS

- Abrafrutas, 2022. **Melão da caatinga para o mundo 2022**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/05/melao-da-caatinga-para-o-mundo/>. Acesso em: 01 abr.2023.
- Araújo, M. B. M. **Species of Fusarium causing peduncular rot in melon in Brazil and alternative management methods**. 2020. 91f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2020. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wpcontent/uploads/sites/45/2021/01/TESEMariaBrunaMedeiros-Ara%C3%BAjo-26-11-2020.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- Araújo, M. B. M. et al. Fusarium rot of melon is caused by several Fusarium species. **Plant Pathology**, v. 70, n. 3, p. 712–721, 2021.
- Ben Amor, N.; Ben Hamed, K.; Debeza, A.; Grignonb, C. E Abdelly, C. 2005. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science* 168: 889-899.
- Benato, E.A.; Belletti, T.C.; Terao, D.; Franco, D.A.S. Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. **Summa Phytopathologica**, v.44, n.1, p.65-71, 2018.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. **CEP**, v. 52171, p. 900, 2011.
- Campos, A. D.; Ferreira, A. G.; Hampe, M. M. V.; Antunes, I. F.; Brancão, N.; Silveira, E. P.; Osório, V. A.; Augustin, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 637-643, 2004.
- European Food Safety Authority (EFSA) et al. Modification of the existing maximum residue levels for imazalil in courgettes, cucumbers and gherkins. **EFSA Journal**, v. 21, n. 4, p. e07980, 2023.
- Fallik, E. et al. Redução das perdas pós-colheita de melão *Galia* por um breve enxágue com água quente. **Plant Pathology**, v. 49, n. 3, p. 333-338, 2000.
- Freires, Afonso Luiz Almeida et al. Alternative products in the management of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) in melon. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 5, p. 608-617, 2022.
- HF Brasil, 2023. Hortifruiti Brasil 2020. <https://www.hfbrasil.org.br/br/melao-cepea-exportacoes-recuam-em-fevereiro.aspx>. Acessado em 15 de mai 2023.
- La Torre, Anna; Iovino, Valeria; Caradonia, Federica. Copper in plant protection: Current situation and prospects. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 57, n. 2, p. 201-236, 2018.
- Lin, Yixiong et al. Effects of hydrogen peroxide treatment on pulp breakdown, softening, and cell wall polysaccharide metabolism in fresh longan fruit. **Carbohydrate polymers**, v. 242, p. 116427, 2020.

Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. **Agrofit**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/rio-grande-do-norte-tem-20-municipios-reconhecidos-como-livre-da-mosca-das-frutas>. Acesso em: 17 abr. 2022. Acesso em: 15 mai. 2023.

Maia, Josemir Moura et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 342-349, 2012.

Moller, Ian M.; Jensen, Poul Erik; Hansson, Andreas. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 58, p. 459-481, 2007.

Murakami, Kiyotaka et al. Effect of the environment and use of alternative products in the post-harvest of papaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, 2020.

Nabigol, Amrollah; Morshedi, Hosein. Evaluation of the antifungal activity of the Iranian thyme essential oils on the postharvest pathogens of strawberry fruits. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 48, p. 9864-9869, 2011.

Noshirvani, Nooshin et al. Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 36-45, 2017.

Palou, Lluís et al. GRAS, plant-and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 41-52, 2016.

Park, Jin Young et al. Differential inhibitory activities of four plant essential oils on in vitro growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* causing Fusarium wilt in strawberry plants. **The plant pathology journal**, v. 33, n. 6, p. 582, 2017.

Quadros, F. M.; Garcés-Fiallos, F. R.; Borba, M. C.; Freitas, M. B.; Stadnik, M. J. *Fusarium oxysporum* affects differently the hydrogen peroxide levels and oxidative metabolism in susceptible and resistant bean roots. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 106, p. 1-6, 2019.

Rodrigues, Juliana Pereira et al. Tecnologias atuais para controle de doenças fúngicas em pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.). **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 36, p. 102128, 2021.

SAS. SAS Institute Inc. SAS/IML® 14.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2015.

Terao D, Nechet KL, Ponte MS, Maia AHN, Anjos VDA, Halfeld-Vieira BA. Physical postharvest treatments combined with yeast on the control of Orange green mold. **Scientia Horticulturae** v.224 p.317– 323, 2017.

Terao D, Nechet KL, Frighetto RTS, Anjos VDA, Benato EA, Halfeld Vieira BA. Tratamentos físicos pós-colheita no controle da podridão caulinar da manga. **Journal of Phytopathology** v.166 p.581–589. 2018

Terao, Daniel et al. Controle da podridão de Fusarium em melão Galia e preservação da qualidade dos frutos com radiação UV-C e tratamentos com água quente. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 3, p. 350-359, 2021.

Yuan, Li et al. Postharvest hot water dipping reduces decay by inducing disease resistance and maintaining firmness in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 161, p. 101-110, 2013.

ANEXOS

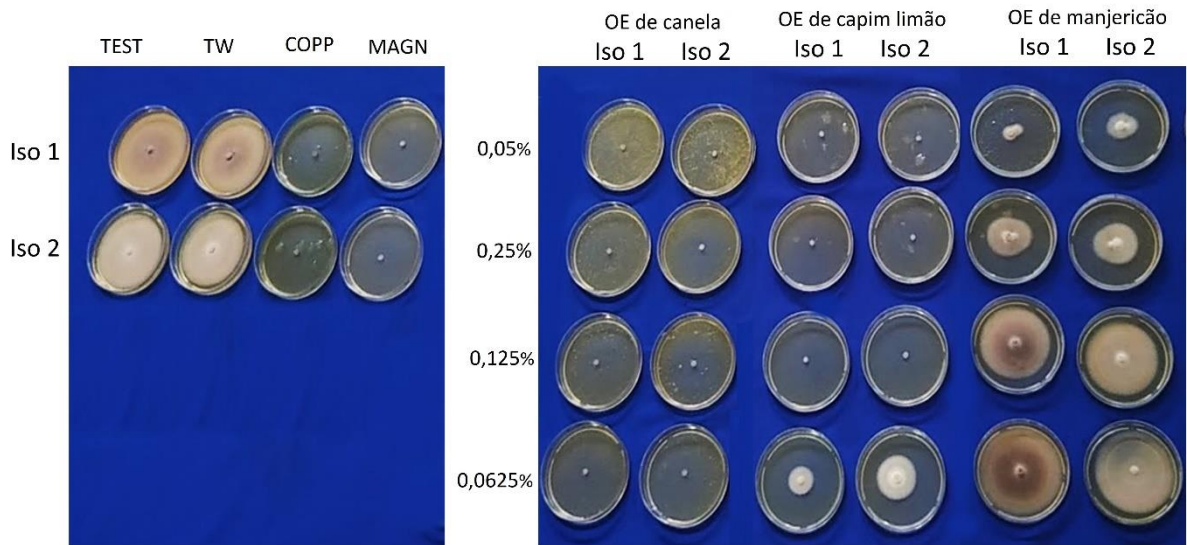


Figura S1. Crescimento micelial *in vitro* de *F. falciforme* sob o efeito de diferentes produtos e concentrações. Controle (TEST); Tween® 20 (TW); Copper Crop® (COPP); Magnate® (MAGN); óleo essencial (OE), concentrações (0,5; 0,25; 0,125; 0,0625%). Isolados de *F. falciforme*: Iso 1 (Genbank MT476611/ MT461687) e Iso 2 (Genbank MT476600/ MT461683) (Experimentos I e II).

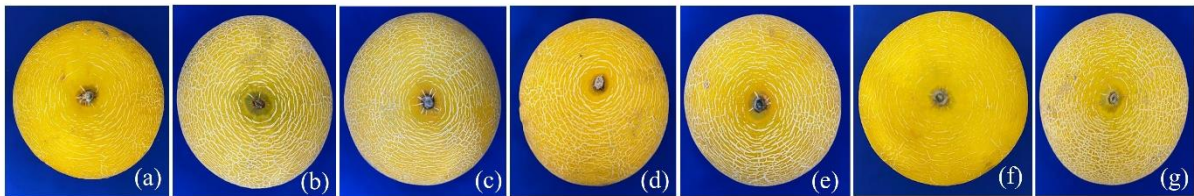


Figura S2. Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 1) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento III, *in vivo*). Controle (a); Magnate® (b); Copper Crop® (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop® (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).

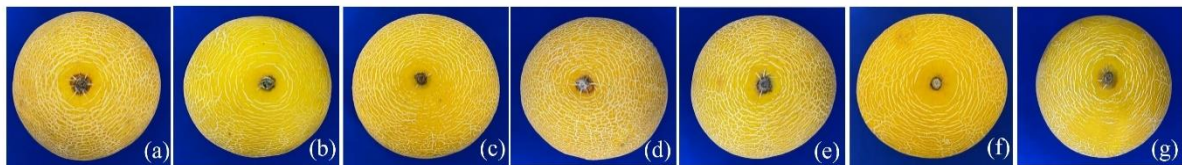


Figura S3. Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 1) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não a termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento IV, *in vivo*). Controle (a); Magnate® (b); Copper Crop® (c); Óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) Termoterapia + Copper Crop® (f); Termoterapia + Óleo essencial de canela (g).

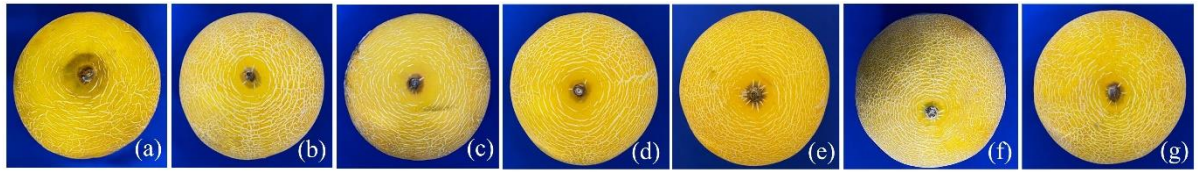


Figura S4. Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 2) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não à termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento V, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop[®] (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).

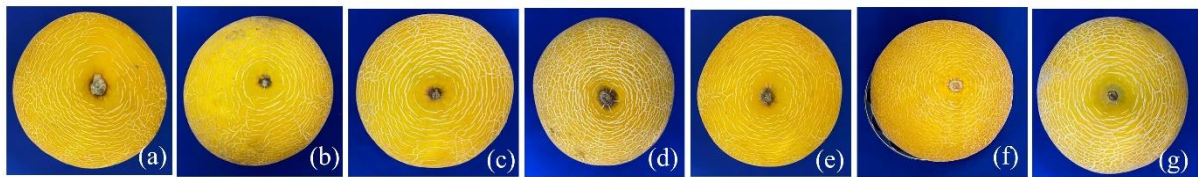


Figura S5. Podridão peduncular em melões 'Gália' inoculados com *F. falciforme* (Iso 2) tratados com diferentes produtos alternativos, associados ou não a termoterapia, aos 30 dias de armazenamento em câmara fria (Experimento VI, *in vivo*). Controle (a); Magnate[®] (b); Copper Crop[®] (c); óleo essencial de canela (d); termoterapia (e) termoterapia + Copper Crop[®] (f); termoterapia + óleo essencial de canela (g).