

USO DE PROTETORES SOLARES PARA MITIGAÇÃO DO
ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA

LEONARDO RAASCH HELL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO/2025

USO DE PROTETORES SOLARES PARA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA

LEONARDO RAASCH HELL

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas
Coorientador: Evandro Chaves de Oliveira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO/2025

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

H476

Hell, Leonardo Raasch.

USO DE PROTETORES SOLARES PARA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA /
Leonardo Raasch Hell. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

97 f.

Bibliografia: 71 - 85.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

Coorientador: Evandro Chaves de Oliveira.

1. *Citrullus lanatus*. 2. Estresse térmico. 3. Proteção solar agrícola. 4. Qualidade pós-
colheita. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

USO DE PROTETORES SOLARES PARA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA

LEONARDO RAASCH HELL

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Aprovada em 29 de julho de 2025.

Comissão Examinadora

Prof. Almy Júnior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Fruticultura Tropical) - UENF

Prof. Waylson Zancanella Quarteza (D.Sc., Nutac – Núcleo de Tecnologias Agropecuárias Capixaba) - IFES

Prof. Evandro Chaves de Oliveira (D.Sc., Meteorologia Agrícola) - IFES
Coorientador

Profa. Marta Simone Mendonça Freitas (Dra., Nutrição Mineral de Plantas) - UENF
Orientadora

*Dedico aos meus pais, Max e
Florentina, aos meus irmãos
Leandro e Sueli, e à minha esposa
Carolina.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de viver neste mundo e ter me sustentado até aqui e, principalmente, pela família que colaborou diretamente para a realização deste sonho,

Agradeço profundamente aos meus pais, Max Hell e Florentina Brandt Raasch Hell, pelo apoio incondicional, pela presença constante e pelas palavras de encorajamento ao longo de toda minha trajetória. Sua confiança e incentivo foram essenciais para que eu seguisse em frente, mesmo diante dos desafios,

Estendo meus agradecimentos aos demais familiares, especialmente ao meu irmão Leandro Raasch Hell e à minha irmã Sueli Raasch Hell Tressmann, pelo apoio contínuo, pela motivação constante e por sempre me lembrarem da importância de persistir na realização dos meus sonhos,

À minha esposa, Carolina Ferreira Tressmann, deixo um agradecimento especial por estar ao meu lado em todos os momentos. Sua compreensão, amor, paciência e companheirismo foram indispensáveis ao longo deste percurso,

À minha orientadora de doutorado, Professora Marta Simone Mendonça Freitas, expresso minha profunda gratidão pela orientação dedicada, pelo rigor científico, pela disponibilidade constante e pelo apoio imprescindível em todas as etapas deste trabalho. Sua experiência e comprometimento foram fundamentais para meu desenvolvimento acadêmico e profissional,

Ao meu coorientador, Professor Evandro Chaves Oliveira, agradeço sinceramente por acreditar em meu potencial, por me incentivar nos momentos mais desafiadores e por compartilhar seu conhecimento com generosidade. Suas contribuições foram essenciais para a consolidação deste estudo e para minha formação,

À turma do DINTER 2021/2025, quero expressar minha sincera gratidão pela colaboração, pelas discussões acadêmicas enriquecedoras, pelo apoio mútuo nos momentos desafiadores e pela companhia nos intervalos que tornaram a carga mais leve,

Agradeço ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo suporte institucional, pelas oportunidades de formação e pelo ambiente acadêmico que contribuiu significativamente para meu crescimento pessoal e profissional. Estendo meus agradecimentos à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

(UENF), pelo acolhimento durante o doutorado, pela infraestrutura oferecida para o desenvolvimento deste trabalho e pelo corpo docente qualificado, que muito contribuiu para a consolidação da minha formação científica,

Agradeço ao professor Marcos Antônio Dell'Orto Morgado pelo apoio fundamental no plantio e acompanhamento do desenvolvimento da cultura, cuja contribuição foi essencial para a execução deste trabalho. Estendo também meus agradecimentos a toda a equipe envolvida, incluindo bolsistas, voluntários e colaboradores terceirizados, pelo empenho, dedicação e suporte técnico durante todas as etapas do experimento,

A todos que direta ou indiretamente me incentivaram e fizeram parte da minha história,

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A cultura da melancia: origem e distribuição.....	3
2.1.1 Aspectos botânicos e morfológicos	4
2.1.2 Importância socioeconômica da cultura da melancia	5
2.1.3 Requerimentos ambientais	7
2.2 Aspectos climatológicos e extremos de temperatura	8
2.3 Protetores solares	10
3 TRABALHO 1	13
SUNSCREENS ON WATERMELON PRODUCTIVITY AND QUALITY UNDER HEAT STRESS CONDITIONS IN NORTHWEST ESPÍRITO SANTO	13
Introduction	15
Material and methods	17
Results and discussion	21
Conclusions	38
Literature cited	39
TRABALHO 2.....	48
MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA POR MEIO DA APLICAÇÃO DE PROTETOR SOLAR EM DIFERENTES DOSAGENS	48
Introdução	50
Material e métodos	51
Resultados e discussão	54
Conclusão	65
Referências	65
4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

RESUMO

HELL, Leonardo Raasch, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, julho de 2025, USO DE PROTETORES SOLARES PARA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA, Orientador: Marta Simone Mendonça Freitas D.Sc., Coorientador: D.Sc. Evandro Chaves de Oliveira.

O cultivo da melancia é uma importante atividade do agronegócio brasileiro, com crescente relevância em estados emergentes como o Espírito Santo, onde a diversificação agrícola vem se expandindo. Na região Noroeste do estado, a alta radiação solar e as condições climáticas adversas representam desafios à qualidade dos frutos, tornando o uso de estratégias de manejo, como os protetores solares, uma possível solução. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes protetores solares e doses do protetor solar de nanoparticulado de carbonato de cálcio sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da melancia (*Citrullus lanatus*) cultivada nesta região. Para isso, a presente tese aborda a realização de dois experimentos, em campo, no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, utilizando melancias do tipo Crimson Sweet. O primeiro experimento foi realizado em blocos casualizados com cinco tratamentos: T1 – sem proteção, T2 – proteção com papel, T3 – carbonato de cálcio (18,5%) + óxido de zinco (0,5%) + adjuvantes, T4 – 95% de caulim, e T5 – 97% de hidróxido de cálcio com magnésio + 3% de aditivos e o segundo experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados com cinco doses de nanoparticulado de carbonato de cálcio (0, 150, 300, 450 e 600 mL e 20 L), aplicadas semanalmente a partir do início do desenvolvimento dos frutos. Os dois experimentos com 4 repetições e a unidade experimental cinco plantas por parcela. As variáveis avaliadas incluíram crescimento, firmeza, espessura da casca, sólidos solúveis totais (SST), índices de clorofila (A e B), NDVI, temperatura dos frutos e índice de escaldadura. Os resultados mostraram que os protetores reduziram significativamente a temperatura e os danos por escaldadura, com destaque para a proteção com papel. Os tratamentos também aumentaram os teores de SST e os índices de clorofila, indicando maior doçura e preservação da fotossíntese. A aplicação de nanoparticulado de carbonato de cálcio na dose de 414 mL mostrou-se mais eficiente, proporcionando incremento médio de 1 kg no peso dos frutos, sólidos

solúveis acima de 11,5 °Brix, redução de até 90% da escaldadura e queda de até 6 °C na temperatura superficial. Além disso, favoreceu a estabilidade dos pigmentos fotossintéticos, o acúmulo de antocianinas e a redução do estresse térmico e oxidativo, assegurando melhor desempenho metabólico das plantas e maior qualidade dos frutos. Conclui-se que os protetores solares são uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade da melancia em condições climáticas adversas.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, estresse térmico, proteção solar agrícola, Qualidade pós-colheita

ABSTRACT

HELL, Leonardo Raasch, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, July 2025, USE OF SUNSCREENS TO MITIGATE THERMAL STRESS IN WATERMELON, Advisor: Marta Simone Mendonca Freitas Ph.D., Co-advisor: Ph.D. Evandro Chaves de Oliveira.

Watermelon cultivation is an important activity in Brazilian agribusiness, with increasing relevance in emerging states such as Espírito Santo, where agricultural diversification has been expanding. In the Northwestern region of the state, high solar radiation and adverse climatic conditions pose challenges to fruit quality, making the use of management strategies, such as agricultural sunscreens, a potential solution. This study aimed to evaluate the effect of applying different sunscreens and doses of nanoparticulate calcium carbonate sunscreen on the productivity and physiological quality of watermelon (*Citrullus lanatus*) grown in this region. For this purpose, the present thesis reports two field experiments conducted at the Federal Institute of Espírito Santo, Campus Itapina, using Crimson Sweet-type watermelons. The first experiment was carried out in a randomized block design with five treatments: T1 – no protection, T2 – paper protection, T3 – calcium carbonate (18.5%) + zinc oxide (0.5%) + adjuvants, T4 – 95% kaolin, and T5 – 97% calcium hydroxide with magnesium + 3% additives. The second experiment was conducted in a randomized block design with five doses of nanoparticulate calcium carbonate (0, 150, 300, 450, and 600 mL per 20 L), applied weekly from the beginning of fruit development. Both experiments included four replications, with each experimental unit consisting of five plants per plot. The evaluated variables included growth, firmness, rind thickness, total soluble solids (TSS), chlorophyll indices (A and B), NDVI, fruit temperature, and sunburn index. Results showed that sunscreens significantly reduced fruit surface temperature and sunburn damage, with notable effects from paper protection. Treatments also increased TSS and chlorophyll indices, indicating greater sweetness and preservation of photosynthesis. The application of nanoparticulate calcium carbonate at a dose of 414 mL was the most efficient, resulting in an average fruit weight increase of 1 kg, TSS levels above 11.5 °Brix, up to 90% reduction in sunburn incidence, and up to 6 °C decrease in surface temperature. Furthermore, it enhanced the stability of photosynthetic pigments,

increased anthocyanin accumulation in the rind, and reduced thermal and oxidative stress, ensuring improved metabolic performance of plants and superior fruit quality. It is concluded that agricultural sunscreens are an effective strategy to improve watermelon quality under adverse climatic conditions.

Keywords: *Citrullus lanatus*, heat stress, agricultural sunscreen, postharvest quality

1. INTRODUÇÃO

A melancia (*Citrullus lanatus*), pertencente à família Cucurbitaceae, é uma planta anual de grande importância agrícola, caracterizada por folhas largas e frutos suculentos e doces, que podem atingir até 90 kg. Além de seu elevado valor nutricional, destaca-se como uma cultura estratégica para pequenos e médios produtores devido ao seu fácil manejo e aos menores custos de produção em comparação com outras hortaliças-fruto (Rodrigues et al., 2024). No Brasil, a melancia tem papel relevante não apenas no abastecimento do mercado interno e na exportação, mas também sob a perspectiva social, gerando emprego, renda e contribuindo para a permanência do agricultor no campo (Junqueira & Almeida, 2010).

Em 2022, o país se consolidou como um dos principais produtores mundiais da fruta, alcançando uma produção de, aproximadamente, 1.912.909 toneladas, com produtividade média de 22,13 t ha⁻¹. A região Nordeste se destacou na produção nacional, com destaque para os estados da Bahia e do Rio Grande do Norte (IBGE, 2023).

Apesar de sua importância, o cultivo da melancia enfrenta desafios significativos relacionados às condições climáticas adversas, como elevadas temperaturas e alta radiação solar, especialmente em regiões como o Noroeste capixaba. Essas condições, embora essenciais ao desenvolvimento vegetal, podem causar estresse térmico e luminoso, impactando negativamente o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos. O estresse térmico é particularmente prejudicial em plantas C3, como a melancia, podendo levar à fotoinibição, desnaturação de proteínas e redução da taxa fotossintética (Gururani et al., 2015, Molassiotis et al., 2016).

Com a finalidade de mitigar os efeitos dos estresses abióticos, como altas temperaturas e radiação solar excessiva, têm sido desenvolvidas e implementadas diversas estratégias de manejo. Entre as mais promissoras está o uso de protetores solares agrícolas, como os filmes à base de caulim e carbonato de cálcio, que atuam como barreiras físicas refletoras da radiação. Esses produtos promovem a redução da temperatura foliar, diminuem a transpiração e contribuem para a preservação da funcionalidade fotossintética das plantas. Estudos demonstram esses benefícios em diferentes culturas, como mangueiras (Araújo and Britto, 2021, Hamdy et al., 2022),

citros (Terán et al., 2024), videira (Xyrafis et al., 2024) e cafeeiro (Soela et al., 2023) evidenciando o potencial agrônomo dessas tecnologias para atenuar os impactos climáticos adversos sobre o metabolismo vegetal e a qualidade dos frutos.

Embora práticas como o uso de papel pardo sobre os frutos de melancia já tenham sido empregadas para proteger contra queimaduras solares e oscilações térmicas, essa técnica apresenta limitações quanto à durabilidade, ventilação e risco de doenças. Dessa forma, a aplicação de protetores solares à base de minerais surge como uma alternativa promissora para aumentar a resiliência das plantas ao estresse ambiental.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes composições e doses de protetores solares sobre a produtividade e a qualidade dos frutos de melancia, contribuindo para o desenvolvimento de práticas agrônomicas sustentáveis e eficientes frente às mudanças climáticas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A CULTURA DA MELANCIA: ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO

A melancia (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. & Nakai) é originária das regiões secas da África Tropical, sendo a África Central considerada um dos principais centros de domesticação da espécie, ocorrida há cerca de cinco mil anos. Além disso, há registros históricos que sugerem a existência de centros secundários de diversidade no sul da Ásia, e evidências de seu uso no Oriente Médio e Egito Antigo, onde o fruto era valorizado por sua alta concentração de água, sendo utilizado para saciar a sede em períodos de seca (Nascimento et al., 2011, Ferrari et al., 2013). No Brasil, a introdução da melancia ocorreu em dois momentos distintos: inicialmente, no século XVI, por meio dos escravos africanos, que trouxeram sementes em expedições para o cultivo nas lavouras, e, posteriormente, no século XX, com a chegada de cultivares melhoradas oriundas de programas de melhoramento dos Estados Unidos e do Japão (Puiatti & Silva, 2005, Nascimento & Alves, 2019).

Inicialmente cultivada nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, a melancia rapidamente se expandiu para diversas partes do território nacional, consolidando-se como uma importante cultura do agronegócio. Sua ampla adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e a preferência do mercado por cultivares de boa qualidade impulsionaram sua difusão. Atualmente, as cultivares mais plantadas no país pertencem, majoritariamente, a dois grandes grupos: o americano, com frutos alongados, como ‘Charleston Gray’ e ‘Crimson Sweet’, e o japonês, que produz frutos arredondados, como ‘Omaru Yamato’ (Medeiros & Alves, 2016, Viana, Moura & Guimarães, 2013). A variedade ‘Crimson Sweet’, em particular, destaca-se pela resistência ao transporte, boa aceitação comercial e adaptação às diferentes regiões produtoras (Nascimento & Alves, 2019).

Além de sua importância histórica e geográfica, a melancia se tornou uma das principais hortaliças-fruto cultivadas no Brasil, sendo produzida em quase todos os estados. A região Nordeste lidera a produção nacional, especialmente os estados do Rio Grande do Norte e Bahia, contribuindo significativamente para o abastecimento interno e para a exportação. Essa expansão se deve não apenas à adaptabilidade da cultura, mas também à adoção de tecnologias de cultivo, como o

uso de cultivares híbridas e o melhoramento das técnicas de plantio e irrigação, que possibilitam a produção em diferentes épocas do ano e em condições ambientais adversas (Alves, Ferreira & Nick, 2019).

2.1.1. Aspectos botânicos e morfológicos

A melancia (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. & Nakai) pertence à família Cucurbitaceae, e é classificada na divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Dilleniidae, e ordem Cucurbitales. Trata-se de uma planta herbácea rasteira de ciclo anual, com origem nas regiões tropicais da África, e que se destaca entre as cucurbitáceas cultivadas no Brasil e no mundo. De acordo com Nascimento et al. (2011), quatro espécies são descritas dentro do gênero *Citrullus*: *C. lanatus*, *C. colocynthis*, *C. valdinianus* e *C. ecirabosus*, sendo as duas primeiras as mais cultivadas. A nomenclatura botânica atual substituiu o antigo nome *Citrullus vulgaris* (Lineu) por *Citrullus lanatus*, adotado a partir de 1963.

O caule da melancia apresenta hábito rastejante, com ramos herbáceos, angulosos e estriados, geralmente medindo de 4 a 10 metros de comprimento, dependendo do tipo varietal. Cultivares comerciais, em geral, possuem ramas mais curtas que os tipos crioulos. A planta possui gavinhas que partem das axilas foliares e auxiliam na fixação em suportes próximos, característica típica das cucurbitáceas (Paris et al., 2013). As folhas são alternas, grandes, com limbo triangular profundamente lobado em três ou quatro segmentos, com nervuras bem visíveis. A face inferior apresenta tricomas (pelos), que desaparecem com o desenvolvimento da planta (Viana, Moura, Guimarães, 2013, Erhirhie & Ekene, 2013).

O sistema radicular da melancia é do tipo pivotante, com ramificações superficiais predominando nos primeiros 60 cm de profundidade do solo. No entanto, sob boas condições edafoclimáticas, as raízes podem ultrapassar essa profundidade. Esse sistema radicular extenso contribui para a absorção eficiente de água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento da planta, especialmente em climas semiáridos como o do Nordeste brasileiro (Marouelli et al., 2012, Alves, Ferreira, Nick, 2019).

A melancia apresenta flores unissexuais com predominância de plantas monoicas, ou seja, com flores masculinas e femininas em um mesmo indivíduo. Em alguns casos, há ocorrência de flores hermafroditas. As flores se localizam nas

axilas foliares, possuem coloração amarela, e abrem-se no início da manhã, mantendo-se viáveis até o meio da tarde. A sequência de florescimento favorece a polinização cruzada, principalmente por abelhas, que são os principais polinizadores naturais da cultura (Filgueira, 2008, Puiatti & Silva, 2005).

O fruto da melancia é uma baga conhecida como pepônio, com epicarpo (casca) liso, espesso e brilhante, variando do verde-claro ao verde-escuro, podendo conter listras. A forma do fruto pode ser esférica, oval ou cilíndrica, dependendo da cultivar. O mesocarpo é branco, enquanto o endocarpo (parte comestível) apresenta coloração variável: desde tons de vermelho arroxeado (devido ao licopeno) até tons amarelados (com maior presença de carotenos e xantofilas). Os frutos são polispérmicos, com sementes pretas ou acinzentadas, que estão embebidas no tecido placentário da polpa (Gomes, 2012, Viana, Moura, Guimarães, 2013).

Por fim, os programas de melhoramento genético têm direcionado seus esforços para a obtenção de frutos com maior teor de sólidos solúveis (°Brix), menor número de sementes, maior resistência ao transporte e maior uniformidade em forma, cor e tamanho. Cultivares como ‘Crimson Sweet’ (grupo americano) e ‘Omaru Yamato’ (grupo japonês) são amplamente cultivadas no Brasil e atendem às exigências comerciais e de transporte. A obtenção de melancias sem sementes é realizada por meio da produção de híbridos triploides estéreis, o que representa uma importante inovação para o mercado consumidor (Mascarenhas et al., 2007, Puiatti & Silva, 2005).

2.1.2. Importância socioeconômica da cultura da melancia

A melancia (*Citrullus lanatus*) destaca-se como uma das principais olerícolas cultivadas no Brasil, sendo amplamente produzida em todas as regiões do país. Sua importância econômica e social é notável, especialmente por sua versatilidade no consumo — *in natura*, em sucos, saladas e polpas — e por sua contribuição nutricional com compostos como o licopeno, antioxidantes, vitaminas A e C, além de minerais como potássio e ferro (Chogou et al., 2019). A cultura é particularmente relevante nas regiões de clima tropical e semiárido, como o Nordeste brasileiro, onde se adapta bem às condições de alta luminosidade e baixa umidade relativa do ar.

A produção de melancia é realizada tanto por grandes propriedades quanto por agricultores familiares, contribuindo significativamente para a geração de emprego e renda no campo. Segundo Vilela et al. (2006), a cadeia produtiva da melancia envolve diversos setores da economia, desde o fornecimento de insumos até a comercialização e transporte, mostrando-se como um elo importante para o desenvolvimento regional. Essa participação ampla do cultivo na economia reforça sua importância como uma atividade agrícola de destaque no Brasil.

No contexto da agricultura familiar, a melancia tem papel estratégico, pois possibilita o cultivo em áreas menores, com retorno econômico relativamente rápido, graças ao seu ciclo curto. Isso viabiliza a diversificação da produção e a sustentação econômica de pequenas propriedades. Segundo Gomes et al. (2011) e Silva et al. (2011), o cultivo de hortaliças, como a melancia, serve tanto como base alimentar quanto como fonte de renda para os agricultores, sendo frequentemente comercializadas em feiras livres e mercados locais.

Além de seu valor econômico, a cultura da melancia assume um papel essencial no fortalecimento do desenvolvimento rural no Brasil, oferecendo não apenas uma fonte de renda imediata, mas também contribuindo para o combate à pobreza e à fixação das comunidades no campo. A diversificação produtiva, especialmente por meio de fruticultura de alto valor agregado, tem se mostrado eficaz em fortalecer a segurança alimentar e promover estabilidade econômica nas pequenas propriedades familiares, aspecto já evidenciado por Santos (2023), ao demonstrar que a fruticultura familiar constitui um eixo estratégico para a geração de renda e a permanência das populações no meio rural.

O uso de tecnologias no cultivo da melancia é essencial para assegurar altos níveis de produtividade e qualidade, sobretudo em regiões sujeitas a estresses climáticos intensos, como temperaturas elevadas e radiação solar excessiva. Nesse contexto, pesquisas recentes têm investigado alternativas de manejo voltadas à proteção dos frutos contra danos térmicos, incluindo o uso experimental de películas refletoras e formulações minerais que atuam como barreiras físicas à radiação solar. Ainda em fase de avaliação científica, tais estratégias demonstram potencial para reduzir a temperatura superficial dos frutos, minimizar a ocorrência de escaldadura e preservar a integridade fisiológica das plantas, configurando-se como ferramentas promissoras para adaptação da fruticultura a ambientes de maior estresse climático (Dinis et al., 2016, Soela et al., 2023).

A utilização desses insumos tem se tornado uma alternativa promissora para regiões como o Noroeste do Espírito Santo, onde as condições climáticas extremas exigem estratégias de manejo eficientes para preservar o desempenho agrônômico da cultura da melancia.

Dessa forma, a melancia reafirma seu papel estratégico no agronegócio nacional, tanto pela sua importância econômica quanto pelo impacto social positivo nas comunidades rurais. O crescimento das exportações, aliado à adoção de tecnologias como os protetores solares agrícolas, tem fortalecido a competitividade da cultura. Investir em manejo sustentável e apoio ao produtor é essencial para ampliar sua relevância e promover o desenvolvimento regional.

2.1.3. Requerimentos ambientais

A melancia (*Citrullus lanatus*) é uma espécie originária de regiões tropicais e subtropicais da África, apresentando alta exigência térmica para germinação, crescimento vegetativo e frutificação. A germinação ocorre de forma ideal em temperaturas entre 25 °C e 35 °C, sendo severamente reduzida abaixo de 15 °C, e praticamente inexistente em temperaturas inferiores a 5 °C ou superiores a 40 °C. Para o desenvolvimento pleno da planta, são recomendadas temperaturas médias entre 23 °C e 28 °C, com ótimo florescimento e frutificação sob temperaturas diurnas em torno de 23–25 °C e noturnas próximas a 18 °C. Por outro lado, temperaturas superiores a 35 °C, especialmente se combinadas com alta radiação solar, podem comprometer a taxa de fertilização, afetar o pegamento dos frutos e provocar distúrbios fisiológicos como escaldadura e redução na qualidade comercial dos frutos (Brandão Filho et al., 2020).

A radiação solar é outro fator determinante para a cultura da melancia, sendo necessária uma alta disponibilidade de luz para que se obtenham frutos com boa qualidade e teor de sólidos solúveis. Contudo, a exposição excessiva à radiação, principalmente em estágios avançados de desenvolvimento, pode provocar lesões térmicas na epiderme dos frutos e comprometer sua aparência e comercialização. Estratégias como a condução vertical, uso de coberturas e a aplicação de protetores solares agrícolas, como caulim e carbonato de cálcio, têm sido utilizadas com sucesso para atenuar os efeitos da radiação e reduzir a

temperatura da superfície foliar e dos frutos (Hamdy et al., 2022, Xyrafis et al., 2024).

Além da temperatura e luz, a disponibilidade hídrica e o manejo da irrigação desempenham papel crucial no desenvolvimento da cultura. A melancia é sensível tanto ao déficit quanto ao excesso de água no solo, exigindo umidade constante e bem distribuída, especialmente durante as fases de floração, frutificação e enchimento dos frutos. O uso de fertirrigação controlada e manejo por gotejamento, como discutido por Nogueira (2008), favorece a absorção de nutrientes e melhora o controle hídrico, aumentando a produtividade e reduzindo perdas por rachaduras e deformações.

Por fim, o controle do estresse térmico e hídrico está diretamente associado à manutenção da estabilidade bioquímica dos tecidos da planta. Estudos demonstram que a aplicação de partículas minerais na superfície foliar melhora os índices de pigmentos fotossintéticos, como clorofila A e B, e reduz o acúmulo de calor nos tecidos, promovendo melhor desempenho metabólico e maior resistência às condições adversas (Oliveira et al., 2022, Hamdy et al., 2022). Assim, compreender os requerimentos ambientais da melancia e adotar tecnologias mitigadoras de estresses são estratégias essenciais para garantir produtividade, qualidade e sustentabilidade da cultura.

2.2. Aspectos climatológicos e extremos de temperatura

O Espírito Santo, devido à sua diversidade de relevo e à influência oceânica, apresenta climas tropicais predominantes (Aw e Am). Entretanto, nas regiões de baixada e vales interiores, como no noroeste do estado, o fator climático mais marcante não é apenas a média anual de temperatura, mas a ocorrência de extremos térmicos e alta radiação solar. O Atlas Climático do Espírito Santo demonstra que áreas como Colatina acumulam elevados índices de insolação ao longo do ano, frequentemente acima de 2.300 horas/ano, criando condições críticas para culturas frutíferas sensíveis à radiação, como a melancia (Pantoja et al., 2024).

A melancia (*Citrullus lanatus*) é uma frutífera de ciclo curto e elevada demanda por radiação solar, essencial para acúmulo de açúcares e qualidade do fruto. Contudo, sua fisiologia é altamente vulnerável às temperaturas extremas superiores a 40 °C, que promovem estresse térmico, redução da fotossíntese e

aborto floral. Estudos apontam que sob calor excessivo ocorre desequilíbrio hídrico e fechamento estomático, limitando a assimilação de carbono e, conseqüentemente, a produtividade (Medeiros & Alves, 2016, Marouelli et al., 2012). Essa vulnerabilidade é agravada em Colatina, município que historicamente registra as temperaturas mais altas do Espírito Santo, com máximas absolutas acima de 43 °C (INMET, 2023), configurando-se como um dos pontos mais críticos do Sudeste brasileiro.

Além da temperatura do ar, a radiação solar incidente exerce papel determinante na qualidade da melancia. Em ambientes de insolação intensa, como o Vale do Rio Doce, os frutos ficam mais expostos ao risco de queima solar (escaldadura), que reduz valor comercial e pode inviabilizar parte da produção. O problema é intensificado quando ondas de calor coincidem com períodos de déficit hídrico, situação comum nos meses de agosto a novembro. A literatura técnica recomenda práticas mitigadoras, como escalonamento do plantio para períodos de menor risco climático, irrigação suplementar e uso de coberturas vegetais, além do emprego experimental de protetores solares agrícolas à base de caulim, que têm demonstrado reduzir temperatura de superfície e mitigar danos fisiológicos (Melgarejo et al., 2004, Dinis et al., 2016).

Em Colatina, os efeitos combinados de altas temperaturas, déficit hídrico e radiação solar intensa impõem restrições significativas à fruticultura irrigada. No caso da melancia, essas condições resultam em frutos com calibre reduzido, maturação precoce e perda de qualidade interna, aspectos críticos para a competitividade do produto no mercado regional e nacional. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) já classifica o noroeste capixaba como área de risco elevado para a cultura em determinados meses, recomendando o plantio apenas em janelas específicas de menor probabilidade de extremos (Mapa, 2020).

Portanto, a análise dos extremos climáticos em Colatina evidencia a necessidade urgente de estratégias de adaptação climática direcionadas à fruticultura de clima quente. Para a melancia, isso inclui: uso de cultivares mais tolerantes ao calor, ajustes finos no calendário de plantio com base em séries históricas de temperatura e insolação, tecnologias de manejo da radiação, como filmes protetores e sombreamento parcial, e políticas de apoio à irrigação eficiente. Tais medidas são essenciais para garantir a sustentabilidade da cultura em uma das regiões mais desafiadoras do Espírito Santo sob o contexto das mudanças climáticas.

2.3. Protetores Solares

O uso de protetores solares agrícolas à base de partículas minerais tem se consolidado como uma estratégia eficaz para mitigar o estresse térmico e a escaldadura solar em culturas frutíferas e hortícolas. Esses protetores formam uma película refletiva sobre folhas e frutos, funcionando como barreira física contra a radiação solar direta e os danos térmicos associados, além de contribuir para a redução da temperatura superficial dos tecidos vegetais (Schrader et al., 2003, Glenn et al., 2010). Essa proteção é particularmente importante porque, em condições de elevada intensidade luminosa, o excesso de radiação absorvida pelas folhas pode levar à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que comprometem os componentes da maquinaria fotossintética, especialmente o fotossistema II. Essa disfunção, conhecida como fotoinibição, pode assumir caráter crônico quando a eficiência fotoquímica não é restabelecida, afetando negativamente o metabolismo e a produtividade das plantas (Mittler, 2002).

Embora as plantas possuam mecanismos naturais de defesa contra esse tipo de estresse, tais respostas nem sempre são suficientes para garantir a proteção dos frutos contra os efeitos deletérios da radiação solar. Por isso, nos últimos anos, práticas culturais como a aplicação de protetores solares têm sido amplamente adotadas, destacando-se o uso do caulim como uma das alternativas mais eficazes e frequentemente utilizadas (Louw, Korsten, 2014).

Estudos realizados em diversas culturas frutíferas demonstram essa eficácia. maçãs ‘Honey Crisp’ e ‘Braeburn’ (Schupp et al., 2004), maçãs ‘Granny Smith’ e ‘Anna’ (Wand et al., 2006, Aly et al., 2010), peras ‘Packham’s Triumph’ e ‘Beurre d’Anjou (Le grange et al., 2004, Colavita et al., 2011), romãs ‘Mollar de Elche’ e ‘Wonderful’ (Melgarejo et al., 2004 e Weerakkody et al. 2010), uvas ‘Cabernet Sauvignon’ (Smith, 2005), melões ‘Crenshaw’ (Lipton e Matoba., 1971), tomates ‘HLY 19 hp’ (Cantore et al., 2009), laranjeiras ‘Pera’ (Santos et al., 2024), uvas ‘Cabernet Sauvignon’ (Li et al., 2023), videiras ‘Assyrtiko’ (Xyrafis et al., 2024) e mangueiras (Hamdy et al., 2022).

Sharma et al. (2015) reforçam os benefícios desses produtos ao relatarem que filmes de partículas como Surround®, Screen® e Cocoon™ foram eficazes na redução de danos solares em frutos de maçã, romã e tomate, com impactos positivos também na qualidade pós-colheita. Os autores destacam que o

uso desses produtos resultou em menor temperatura da epiderme, maior firmeza dos frutos e menor incidência de rachaduras e desidratação.

Além da proteção física, esses produtos atuam fisiologicamente sobre as plantas. Estudos recentes indicam que a aplicação de caulim ou carbonato de cálcio aumenta a área foliar, eleva os teores de clorofila, melhora a taxa fotossintética e favorece a acumulação de açúcares nos frutos, elevando produtividade e qualidade comercial. Santos et al. (2024) observaram tais efeitos em laranjeiras 'Pera', enquanto Li et al. (2023) documentaram melhoria significativa no índice de clorofila e nos parâmetros bioquímicos em citros sob uso de caulim.

Além dos efeitos térmicos, os protetores minerais desempenham papel relevante no controle de pragas e doenças. Sharma et al. (2015) relatam que o caulim pode interferir no comportamento de insetos-praga ao atuar como barreira visual e tátil, dificultando oviposição e alimentação. Gindaba e Wand (2005) também verificaram redução na infestação de insetos e na taxa de transpiração em plantas tratadas em ambientes de alta radiação.

Outro aspecto importante refere-se à composição dos produtos. O Surround® WP contém 95% de caulim refinado, enquanto outras formulações, como Agrowhite® e Sunstop® LG, utilizam óxidos ou carbonato de cálcio como base ativa. Esses materiais, de alta refletância à radiação UV e infravermelha, podem variar em eficácia conforme a cultura e o ambiente. Em romãzeiras, por exemplo, o Surround® WP reduziu a escaldadura em 47% e rachaduras em 46% (Sharma et al., 2018).

A eficiência desses produtos depende da uniformidade da cobertura e da persistência da película sobre as folhas e frutos. Chuvas ou irrigação por aspersão podem reduzir sua eficácia, exigindo reaplicações periódicas e um manejo técnico adequado (Sharma et al., 2015). Assim, a capacitação dos produtores torna-se essencial, especialmente na calibração de pulverizadores e na definição do momento ideal de aplicação.

A compatibilidade com outras práticas de manejo também deve ser considerada. Algumas formulações podem interferir na absorção de nutrientes foliares ou na eficácia de defensivos, exigindo ajustes nos programas fitossanitários. Por outro lado, há produtos compatíveis com bioestimulantes ou indutores de resistência, ampliando os benefícios fisiológicos do tratamento (Hamdy et al., 2022, Xyrafis et al., 2024).

Finalmente, os protetores solares agrícolas contribuem para a qualidade pós-colheita, ao reduzirem a perda de massa fresca e a incidência de doenças fisiológicas e fúngicas, prolongando a vida útil e o valor comercial dos frutos (Hamdy et al., 2022). Sua aplicação está em consonância com práticas sustentáveis, especialmente em um cenário de mudanças climáticas, no qual tecnologias de baixo impacto ambiental e alto retorno agrônômico são cada vez mais necessárias para a resiliência da agricultura moderna (Glenn et al., 2005, Sharma et al., 2015).

TRABALHO 1

SUNSCREENS ON WATERMELON PRODUCTIVITY AND QUALITY UNDER
HEAT STRESS CONDITIONS IN NORTHWEST ESPÍRITO SANTO¹

ISSN 1807-1929
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering

v.xx, n.xx, exxxxx, 20xx

Campina Grande, PB – <http://www.agriambi.com.br> – <http://www.scielo.br/rbeaa>

Original Article

ID 298659

1ª NORMATIZAÇÃO

ALL INCORPORATED CORRECTIONS MUST BE FLASHED IN RED FONT. WE CLARIFY THAT THE ARTICLE WILL BE REJECTED IF THERE IS ANY CORRECTION REQUESTED THAT HAS NOT BEEN INCORPORATED AND NO JUSTIFICATION HAS BEEN PRESENTED IN THIS REGARD

HIGHLIGHTS:

Sunscreens reduced fruit temperature and sunburn in watermelon under high solar radiation.

Sunscreen use increased fruit sweetness and improved commercial quality of watermelon.

Sunscreens preserved photosynthetic capacity and supported sustainable production in hot climates.

¹ Artigo submetido para publicação na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi):

Hell, L. R. et al. Sunscreens on watermelon productivity and quality under heat stress conditions in Northwest Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB

ABSTRACT: Watermelon cultivation is an important component of Brazilian agribusiness, with growing relevance in emerging states such as Espírito Santo, where agricultural diversification is expanding. In the Northwest region of this state, high solar radiation and adverse climatic conditions pose challenges to fruit quality, making the use of management strategies, such as sunscreens, a potential solution. This study aimed to evaluate the effect of different sunscreens on the productivity and physiological quality of watermelon (*Citrullus lanatus*) grown in this region. The experiment was conducted at the Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, using Crimson Sweet watermelons in a randomized block design with five treatments: T1 – no protection, T2 – paper protection, T3 – calcium carbonate (18.5%) + zinc oxide (0.5%) + adjuvants, T5 – 95% kaolin, and T6 – 97% calcium hydroxide with magnesium and 3% additives. Fruits were sprayed weekly. Variables evaluated included growth, firmness, peel thickness, total soluble solids (TSS), chlorophyll indices (A and B), NDVI, fruit temperature, and scald index. Results showed that sunscreens significantly reduced fruit temperature and scald damage, especially with paper protection, which had the lowest scald index. Sunscreen treatments also led to higher TSS content and chlorophyll indices, indicating enhanced sweetness and preserved photosynthetic capacity. These improvements suggest that the application of sunscreens is an effective strategy to mitigate heat stress and enhance fruit quality in watermelons grown under intense sunlight. Therefore, sunscreen use may contribute to more sustainable and diversified watermelon production in regions with harsh climate conditions.

Key words: *Citrullus lanatus*, heat stress, agricultural sun protection, post-harvest quality

Protetores solares na produtividade e qualidade da melancia em condições de estresse térmico no noroeste do Espírito Santo

RESUMO: O cultivo da melancia é uma importante atividade do agronegócio brasileiro, com crescente relevância em estados emergentes como o Espírito Santo, onde a diversificação agrícola vem se expandindo. Na região Noroeste do estado, a alta radiação solar e as condições climáticas adversas representam desafios à qualidade dos frutos, tornando o uso de estratégias de manejo, como os protetores solares, uma possível solução. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes protetores solares sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da melancia (*Citrullus lanatus*) cultivada nessa região. O experimento foi realizado no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, utilizando melancias do tipo Crimson Sweet, em delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos: T1 – sem proteção, T2 – proteção com papel, T3 – carbonato de cálcio (18,5%) + óxido de zinco (0,5%) + adjuvantes, T4 – 95% de caulim, e T5 – 97% de hidróxido de cálcio com magnésio + 3% de aditivos. Os frutos foram pulverizados semanalmente. As variáveis avaliadas incluíram crescimento, firmeza, espessura da casca, sólidos solúveis totais (SST), índices de clorofila (A e B), NDVI, temperatura dos frutos e índice de escaldadura. Os resultados mostraram que os protetores reduziram significativamente a temperatura e os danos por escaldadura, com destaque para a proteção com papel. Os tratamentos também aumentaram os teores de SST e os índices de clorofila, indicando maior doçura e preservação da fotossíntese. Conclui-se que os protetores solares são uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade da melancia em condições climáticas adversas.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, estresse térmico, proteção solar agrícola, Qualidade pós-colheita

INTRODUCTION

Watermelon (*Citrullus lanatus*) is a vegetable that belongs to the Cucurbitaceae family. It was domesticated in the Central African region, where this crop has been cultivated and harvested for more than five millennia (Nascimento et al., 2011). This crop plays a significant role in the socioeconomic aspects of Brazilian agribusiness. In addition to contributing to increased economic revenues, this activity generates high employment in the rural sector, boosting regional development.

In 2022, Brazil stood out as one of the largest producers of watermelon, reaching a production of almost 2,000 tons. In the same year, Espírito Santo produced 8.5 tons of this fruit (IBGE, 2022).

The Northwestern region of Espírito Santo state is characterized by high temperatures and intense solar radiation, with well-defined seasonal patterns. Although these environmental factors are essential for plant development, when excessive, they can induce thermal and light stress, particularly in C3 plants such as watermelon. To mitigate the damage caused by these adverse climatic conditions, it is essential to adopt management strategies that alleviate the effects of extreme heat and direct solar radiation. One such strategy is the application of agricultural sunscreens, which have proven effective in reducing leaf temperature, preventing sunburn, and maintaining photosynthetic efficiency in crops sensitive to thermal and oxidative stress, as demonstrated by Domingues Neto et al. (2024).

In watermelon fruits, the use of brown paper as a cover has been adopted as a physical strategy for protection against direct incidence of solar radiation, burns and excessive thermal fluctuations. This practice aims to preserve the integrity of the rind and maintain the external quality of the fruit until harvest. However, despite its initial effectiveness, the paper can present drawbacks, such as reduced durability in conditions of heavy rain, the need for periodic replacement in long production cycles, accumulation of moisture under the covering, favoring the emergence of diseases, in addition to compromising ventilation and altering the

microclimate around the fruit, which can negatively impact coloration and physiological development. Given these limitations, several products are being developed and used to minimize the negative effects caused by high temperatures, high light intensity and water deficit on plant productivity. Among them, certain chemical products stand out that can be used to reduce the transpiration rate and minimize plant stress, increasing the resistance of the leaves to the diffusion of water vapor (Ahmed, 2014).

Studies carried out by Dinis et al. (2016a), Dinis et al. (2016b), Conde et al. (2018), Da Silva et al. (2019), Hamdy et al. (2022), Cao et al. (2023), Soela et al. (2023) and Nazeri et al. (2023), demonstrated that the application of particle films based on kaolin and calcium carbonate compounds can reduce the damage caused by excess solar radiation, decrease leaf temperature and, thus, prevent photoinhibition of the photosynthetic process.

However, there are few reports on watermelon and no defined strategies to improve crop performance with the application of these products. Thus, the present study aimed at evaluating the effect of applying sunscreens based on different compositions on the productivity and quality of watermelon.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was developed in the Experimental Area of the Instituto Federal do Espírito Santo, Itapina Campus, located in the district of Itapina in Colatina - ES, with geographic coordinates of 19° 32' 22" South latitude, 40° 37' 50" West longitude and altitude of 71 m. According to the Koeppen and "AW" climate classification, the climate of the region is characterized by an average annual temperature between 25 °C, a well-defined rainy season between October and January, and average climatological precipitation of 1029.9 mm (Sales et al., 2018).

The experiment was conducted in randomized blocks, with five treatments and four replications: T1 - Without protection, T2 - Protected with brown paper, T3 - Protected with calcium carbonate compound (18.5%), zinc oxide (0.5%) and adjuvants not described by the manufacturer (300 mL/20L), T4 - Protected with 95% w/w Kaolin in concentration 5%, T5 - protected with compound of 97% Calcium hydroxide and magnesium micro + 3% additives in concentration 5%.

The experimental unit consisted of four rows of 30 m in length and 3.0 m in width between them. The plants were conducted with a spacing of 3.0×1.0 m, totaling 30 plants per replication, 20 plants per treatment and 120 plants in the entire experiment. The plants evaluated were those that make up the central row, leaving the lateral ones as a border.

In order to study the effect of applying the different products, the fruits were sprayed weekly using a 20 L manual backpack sprayer with a 40-degree atomized droplet ceramic spray nozzle (MGA-40), according to the dosage and application method determined by the manufacturer when they reached a weight of three to five kilos. The other treatments were: without protection, without the application of products and covered with colorless paper, the traditional method.

Before the experiment was installed, soil samples were collected at depths of 0.0 - 0.20 m, which were later sent to the Soil Laboratory of IFES Itapina Campus, for chemical characterization as per Table 1. Based on the results of the analysis, soil correction was carried out in accordance with the guidelines established in the manual of liming and fertilization recommendations for the State of Espírito Santo, 5th approximation.

Table 1. Results of soil analysis of watermelon crops, under application of different sunscreens, Itapina, Colatina, ES

pH	M.O	P	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B	T	t	m	V
H ₂ O	dag kg ⁻¹	---mg dm ⁻³ ---			---- cmol _c dm ⁻³ ----			----- cmol _c dm ⁻³ -----			--- % ---		
6.4	0.9	87	9.0	120	4.2	1.1	0.0	1.6	5.6	7.2	5.6	0.0	77.9

M.O - Organic matter, P – Phosphorus, Na - *Sodium*, K - Potassium, Ca – Calcium, Mg - Magnesium, Al - Aluminum, SB - Sum of Bases, T - Cation exchange capacity, t - Effective cation exchange capacity, m - aluminum saturation, V - Base saturation

Soil preparation was carried out through plowing, harrowing, and opening of holes 20 days before planting in the Muching system. The seeds for seedling production were purchased locally, Crimson Sweet, a Manchester hybrid, and sown directly into the hole, leaving only 1 plant per hole. Crimson Sweet watermelon fruits were used, a Manchester hybrid developed by the company Syngenta®, with a round shape, firm, intense red colored and crunchy flesh.

Throughout the watermelon crop cycle, the necessary cultural treatments were carried out for its full development, such as combing the branches, manual weeding and phytosanitary control in accordance with the recommendations for the crop.

The irrigation system used was drip irrigation, with irrigation water management through an irrigometer. Each planting row received a 16 mm lateral irrigation line. The Electronic Soil Moisture Meter (HidroFarm) was used to determine soil moisture – which measures soil moisture using High Frequency Soil Impedance (HFSI).

The temperature, relative humidity, wind, rain and solar radiation during the crop cycle were recorded by an automatic weather station installed near the experimental area. The temperature of the fruits was measured weekly one day after the application of the different products, positioning the portable Digital Infrared Thermometer Mira Laser -50° to 380 °C at the top, on clear and cloudless days. The fruits were harvested at horticultural maturity, when

the spot that remained in contact with the soil changed from white to pale yellow. And the tendrils closest to the fruit turned brown and dried out (Correa, 2019).

After harvesting the fruits, the sunburn index (scald) was evaluated, using as reference the scale shown in Figure 1, which is defined in five levels of scald: (0) no scald, (1) mild, (2) moderate, (3) severe and (4) very severe. The fruit weight (FW) in kg, longitudinal (DL) and transversal (DT) diameters of normal fruits in cm, longitudinal (LC) and transversal (TC) circumference in cm, peel thickness (PT) in mm, total soluble solids content (TSS, °Brix) using a portable digital refractometer, fruit firmness (FF) (kg cm^{-2}) using a portable digital fruit penetrometer. For the chlorophyll a and b variables, the ClorofiLOG equipment, model CFL 1030, in the median center between the lightest and darkest veins of the fruit.



Source: Own work (2024)

Figure 1. Scald scale on watermelon fruits. Scald levels were evaluated according to the intensity of lesions on the fruits, ranging from no scald (0) to very severe damage (4)

The reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range (VNIR), between 380 and 2500 nm, is a fast, non-destructive and widely used technique to evaluate optical properties of plant surfaces, especially fruits, and it is effective in determining physical, physiological and quality attributes during ripening (Wang et al., 2015). Technological advances have enabled the use of portable devices for collecting spectral data in the field (Makky & Soni, 2014). In this study, the GreenSeeker portable analyzer was used to measure the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), with measurements taken on the upper

central part of the watermelon fruits, keeping the sensor approximately 50 cm from the surface and positioning the fruits on a black surface to avoid interference in the spectral reading.

Physiological parameters, such as anthocyanins and flavonoids, were measured using a Multiplex fluorometer (Force-A), which has multiple light excitation sources (ultraviolet, blue, green and red). Measurements were made on both the outside (peel) and inside (pulp) of the fruit, with the equipment positioned at an angle of approximately 45 degrees, pointing from top to bottom. The data obtained were adjusted and parameterized, according to the manufacturer's instructions, before analysis.

The collected data was subjected to analysis of variance and the means were compared using the Tukey test at 5% significance. Statistical analyses were performed using the open-source software R.

RESULTS AND DISCUSSION

During the evaluation period, between February 9 and May 11, 2024 (Figures 2 and 3), hot and dry weather conditions were predominantly recorded, with maximum temperatures reaching 38.6 °C (on 03/18) and daily averages frequently above 28 °C, especially in March, which stood out as the hottest month of the period. Minimum temperatures ranged between 20.5 and 24.5 °C, with a slight downward trend throughout April. Cucurbits, including watermelon, adapt well to regions with hot and semiarid climates, high luminosity, and temperatures between 18 and 30 °C.

However, the literature indicates that optimal watermelon development occurs in more restricted thermal ranges, with germination favored between 21 °C and 35 °C, and ideal vegetative growth situated between 23 °C and 28 °C (Oliveira, 2013). Thus, the high temperatures recorded, especially above 35 °C, may have imposed thermal stress on the plants, affecting physiological processes and, consequently, reflecting on the productivity and

quality of the fruits. Rainfall totaled 180.8 mm, concentrated mainly in February, with the highest volumes recorded on the 22nd (43.2 mm) and 16th (40.6 mm). Most days were dry, evidencing a transition between the end of the rainy season and the beginning of a drier period, typical of autumn in tropical regions.

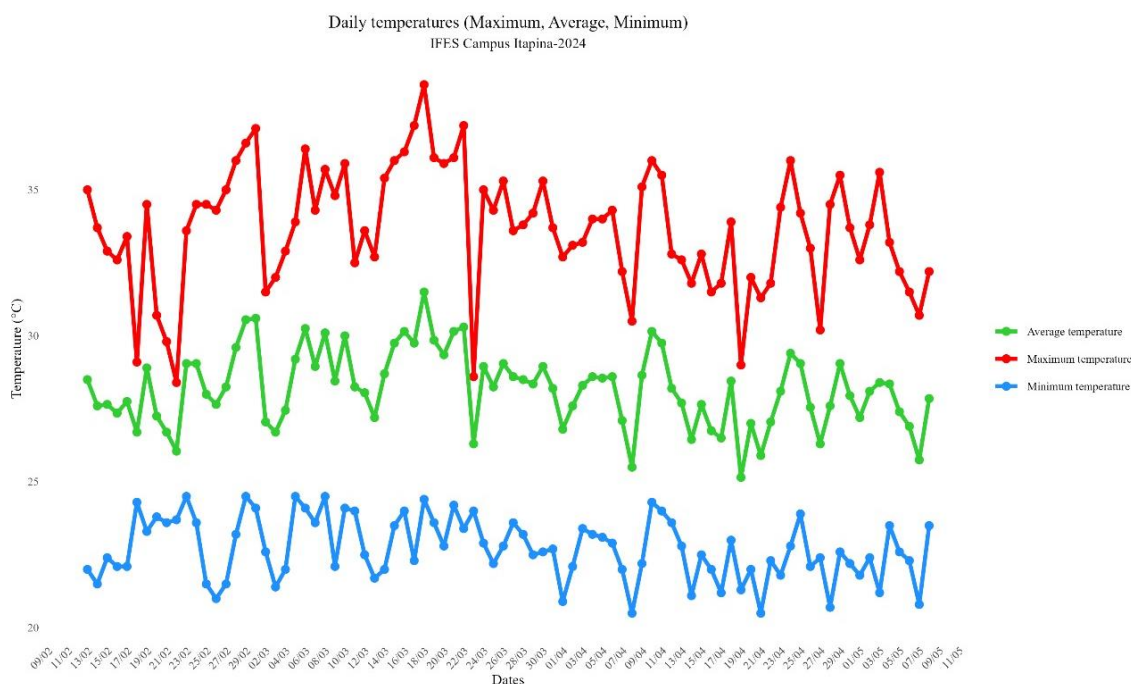


Figure 2. Minimum, average and maximum monthly temperature during the study period, from February 9, 2024, to May 11, 2024, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina

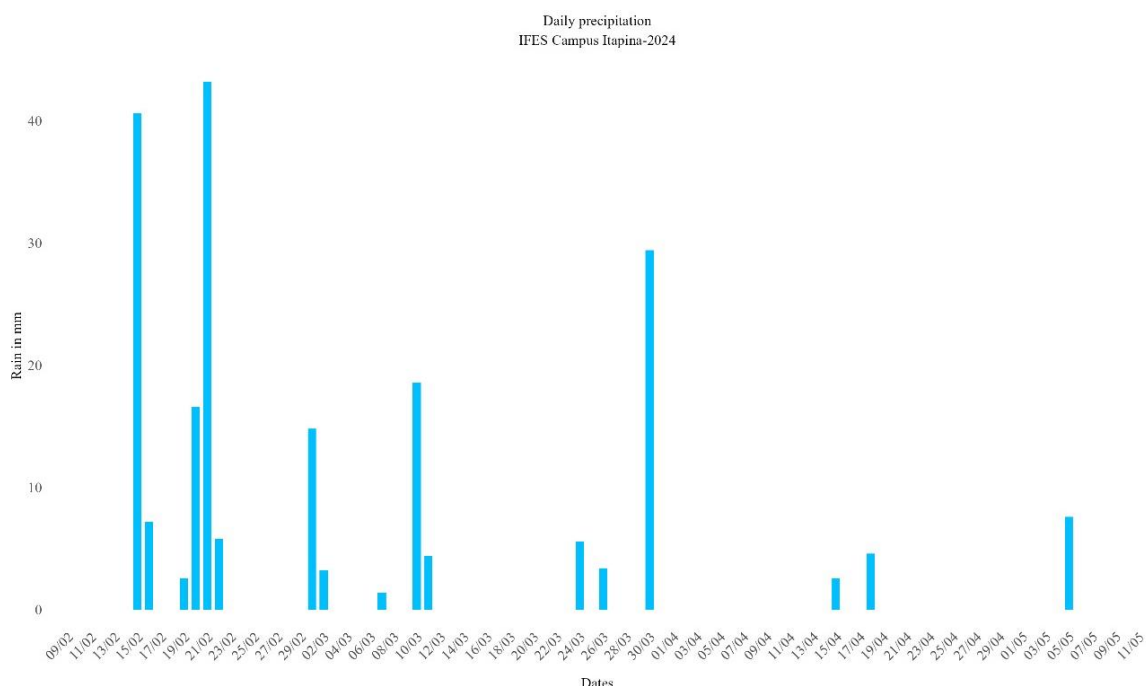


Figure 3. Monthly precipitation during the study period, from February 9, 2024, to May 11, 2024, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina

Based on the results, we can observe in Table 2 that the parameter fruit weight (FW) did not present a significant difference at the 5% probability level by the F test. The results indicate that the fruits exhibited satisfactory growth across all treatments, falling within the classification proposed by Magalhães & Souza (2020), which categorizes watermelons based on weight as large (over 12 kg), medium (between 10 and 12 kg), and small (between 7 and 10 kg). These results are consistent with the findings of Tegen et al. (2021), who highlighted the influence of fruit size on the quality of Crimson Sweet watermelons, noting that higher-quality fruits were observed in medium to larger size categories.

Regarding fruit firmness (FF), there was no significant difference between treatments observed, which demonstrates a similar ability to resist mechanical damage during transportation, which may contribute to a potential extension of post-harvest shelf life. Contrary results were found by Zheng et al. (2023), who showed a significant difference in the different concentrations of CaO particles in pumpkin plants cv. Mini Jack and sweet

potato cv. Calcium plays a crucial role in maintaining the structure and mechanical strength of cell walls. It acts in the accumulation of Ca^{2+} cations, which facilitate the interaction between pectin polymers, especially in the middle lamella, resulting in increased cell wall strength (Poovaiah, 1986), preserving fruit firmness (Madani et al., 2016).

Table 2. Evaluation of different sunscreens on the variables: Fruit weight (FW), fruit firmness (FF), peel thickness (PT) and total soluble solids (TSS) applied according to the doses recommended by the manufacturers in watermelon. Colatina/ES, 2024

TREATMENT	FW	FF	RT	TSS
	(kg)	(N)	(cm)	(°Brix)
T1	9.13 ns	103.88 ns	10.27 ns	8.57 b
T2	10.92 ns	122.05 ns	11.41 ns	10.90 a
T3	10.53 ns	125.58 ns	11.95 ns	11.07 a
T4	11.11 ns	129.32 ns	11.55 ns	11.47 a
T5	9.08 ns	112.01 ns	10.44 ns	11.02 a
CV (%)	13.57	26.67	17.22	9.71

Treatment - T1: no protection, T2 - Paper, T3 - Composed of calcium carbonate (18.5%), zinc oxide (0.5%) and adjuvants not described by the manufacturer, T4 - 95% w/w Kaolin, T5 - Composed of 97% Calcium and magnesium hydroxide micro + 3% additives CV - Coefficient of variation. ns: not significant at 5% probability by F-test

Peel thickness (EC) was not influenced by the treatments (Table 2). According to Wan Azman et al. (2024), peel thickness (EC) plays a crucial role in fruit resistance, especially in bulk production systems, where it is essential that the peel has adequate thickness to withstand fruit handling.

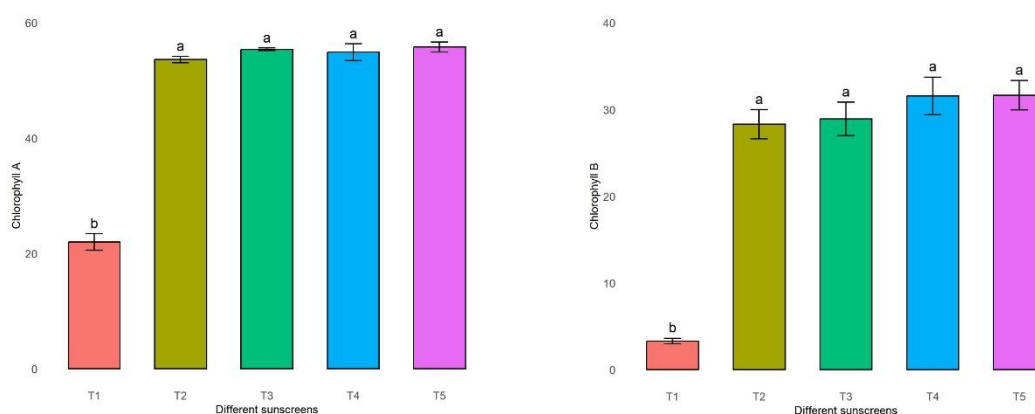
All treatments with sunscreens (T2, T3, T4 and T5) provided increases in TSS that ranged from 10.90 to 11.47 °Brix (Table 2). The significant difference in the total soluble solids content indicates that the sunscreens, applied to the watermelon fruits, provided sweeter fruits, improving their quality. Such an increase can be explained by the reduced direct exposure to solar radiation, which helped preserve fruit integrity and enhanced sugar accumulation, as observed by Abdallah et al. (2019) in wheat plants. However, Song et al.

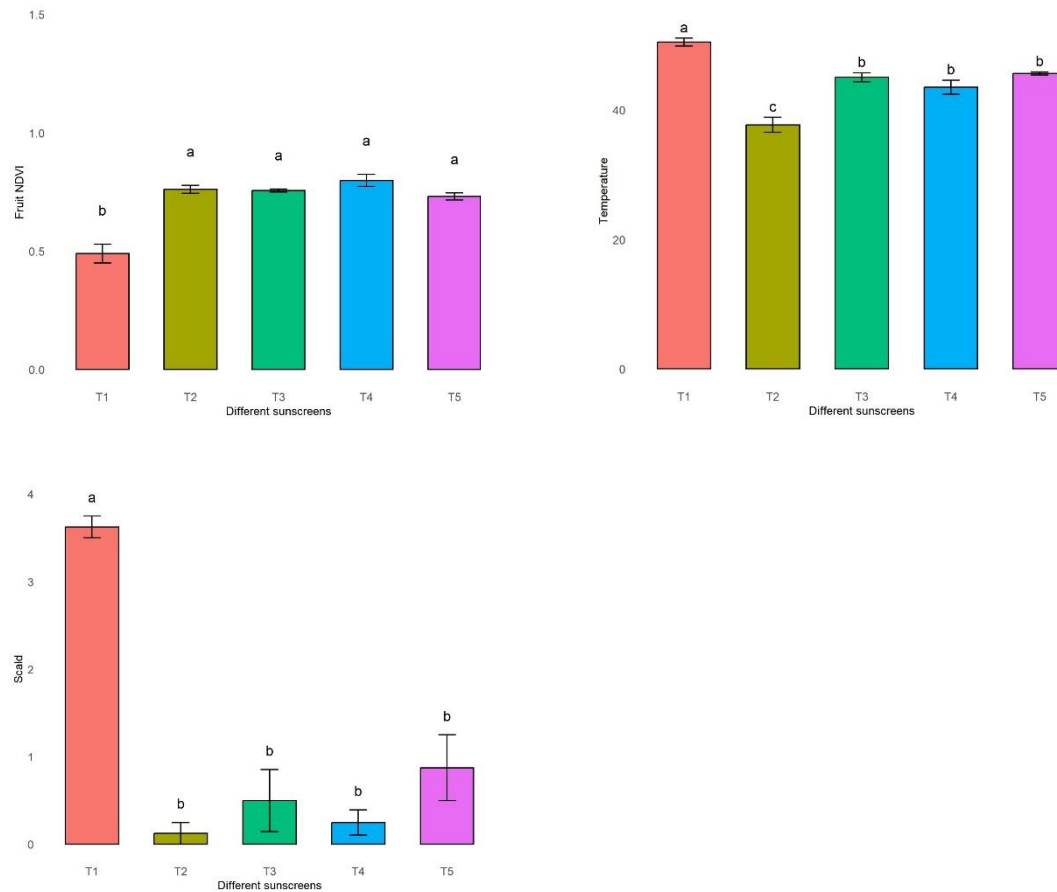
(2012), in studies with grapevines, did not observe any influence of kaolin particle film application on total soluble solids (TSS) content.

Under severe stress conditions, the plant experiences difficulties in transporting water and nutrients to the fruits, which may impair sugar synthesis and accumulation. This process directly affects the final fruit quality, as the total soluble solids (TSS) content is closely related to flavor and is considered a key parameter for watermelon quality, as highlighted by Silva et al. (2024).

It was observed that the TSS values found in this study were satisfactory, as they were above the market requirement average of 9% (Rodrigues et al., 2016), except for the untreated control, which showed values below this threshold.

Treatments with sunscreens showed significantly higher values of chlorophyll a (CLO A) compared to those without protection, ranging from 53.62 to 55.77 g of chlorophyll/fruit area (Figure 4). The treatment without protection showed the lowest value of CLO A (22.00 g of chlorophyll/fruit area), indicating a lower photosynthetic capacity.





T1 - Treatment without protection, T2 - Paper, T3: Composed of calcium carbonate (18.5%), zinc oxide (0.5%) and adjuvants not described by the manufacturer, T4 - 95% w/w Kaolin, T5 - Composed of 97% Calcium and magnesium hydroxide micro + 3% additives. CV - Coefficient of variation. ns: not significant at 5% probability by F-test

Figure 4. Evaluation of different sunscreens in the variables: Chlorophyll a (CLOA), Chlorophyll b (CLOB), NDVI Fruits, temperature (°C) fruits and Scalding of watermelon fruits

The higher concentration of chlorophyll a in fruits treated with sunscreens indicates preservation of the photosynthetic apparatus, which can be attributed to protection against intense solar radiation and the reduction of oxidative stress caused by excess light. The application of certain chemical compounds as well as the use of paper can protect the photosynthetic system of plants against damage caused by thermal and light stresses, improving plant performance in the field (Soela et al., 2023).

Calcium carbonate compounds have been used as an effective technology to improve plant adaptation to adverse climatic conditions, acting to control photooxidative stress (Silva et al., 2019). These compounds help minimize damage caused by excessive exposure to light and heat, promoting plant resistance to these unfavorable environmental factors and protecting the photosynthetic apparatus (Soela et al., 2023). Furthermore, calcium compounds provide mechanical support to plants, by maintaining cell wall rigidity and strengthening their structure and resistance (Hawkesford et al., 2012, Li et al., 2012).

The application of calcium carbonate compounds has demonstrated photoprotective effects in grapevines (Bernardo et al., 2017), also contributing to the reduction of leaf temperature in apple trees (Glenn, 2016). In addition, the photoprotection provided by these compounds results in a significant increase in the net rate of photosynthesis in coffee plants (Silva et al., 2019). These benefits suggest that the use of calcium carbonate can improve plant adaptation to adverse climatic conditions, promoting increased photosynthetic efficiency and protection against stress caused by intense light.

Chlorophyll b followed a similar pattern to chlorophyll a, with greater increases in sunscreen treatments, with values ranging from 28.30 to 31.65 g of chlorophyll/fruit area. Chlorophyll b is important for capturing light at wavelengths complementary to chlorophyll a, and these results indicate that the use of sunscreens helps maintain photosynthetic efficiency in fruits. The presence of chlorophylls in the young and green stages of fruits is crucial, as they play a vital role in absorbing sunlight and transferring energy for photosynthesis, the process by which plants convert light into chemical energy to produce nutrients, such as sugars and starches (Taiz et al., 2017).

The highest Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values in the fruits were observed in the treatments with sunscreens (Figure 4). The treatments with sunscreens presented fruit NDVI values that ranged from 0.73 to 0.79, while the one without protection presented a value of 0.49. This indicates good physiological condition and high pigmentation

in the fruits protected by sunscreens. Martins et al. (2021) evaluated the NDVI for monitoring coffee ripening, with aerial images, and also found a significant difference.

The treatment without protector showed lower NDVI values, as heat stress significantly affects chlorophyll in fruits, reducing NDVI values. NDVI is a useful tool to detect and monitor the impact of extreme heat on fruit physiological quality. Fruits with consistently low NDVI values reflect chlorophyll degradation and reduced metabolic health, indicating the need for management strategies to minimize the effects of heat stress. According to Tsoulas et al., (2023), chlorophyll content in fruits is crucial to assess crop maturation, quality, and overall health, and NDVI values can be used as an accurate indicator of this degradation, allowing the implementation of timely corrective actions to improve the quality of agricultural production.

Fruit temperature varied significantly between treatments. Unprotected watermelon fruits (T1) had a higher temperature, 50.49 °C, which may be an indication of greater exposure to direct solar radiation, resulting in greater heating of the fruits. Treatments with sunscreens significantly reduced fruit temperature, with emphasis on treatment T2, which had the lowest temperature, 37.70 °C, followed by treatments T3, T4 and T5.

This reduction in temperature with the use of sunscreens is a crucial factor, as excessive temperatures can cause thermal damage to the fruits, such as dehydration and loss of firmness. The reduction in temperature in fruits treated with sunscreens contributes to maintaining the physical and physiological quality of watermelons, avoiding thermal stress (Brito et al., 2019).

Similar thermal effects were observed in plants treated with kaolin particle films, such as grapevines, tomatoes and Persian walnuts (Dinis et al., 2016, Silva et al., 2019c, Boari et al., 2014). The decrease in leaf temperature is associated with the protective layer formed by the film and the reflective and photoprotective mechanisms, which increase the amount of

reflected solar radiation (Boari et al., 2014, Silva et al., 2019a, Silva et al., 2019b, Soela et al., 2023).

Plants and fruits that receive shade or are subjected to the application of products similar to sunscreens have shown a reduction in the temperature of leaves and fruits, which allows for greater stomatal opening and, consequently, an improvement in the assimilation of CO₂ (Jifon & syvertsen, 2003).

Evaluating the application of calcium in Arabica coffee seedlings, Cobra et al. (2020) observed significant differences between treatments with the application of calcium carbonate and the treatment without protection. The authors obtained consistent results regarding scalding, demonstrating the effectiveness of the application of calcium carbonate compared to the treatment without protection. Karaat & Denizhan (2022), comparing the effects of different applications of particle films in almond trees, observed that the highest leaf temperature (37.4 °C) was recorded in the treatment without protection compared to the treatments with protection.

The scald results indicated that the absence of sun protection resulted in severe damage to the fruits, with the treatment without protection (T1) presenting the highest scald index (3.62). In contrast, the use of sunscreens significantly reduced this damage. The high variability in the results, expressed by the coefficient of variation of 49.33%, suggests that the effectiveness of sunscreens may depend on factors such as uniformity and application conditions, highlighting the importance of adjustments in management practices to ensure more uniform protection of the fruits.

In situations of environmental stress due to high irradiance and temperature, photo-oxidative stress and an increase in the production of reactive oxygen species (ROS) occur, causing damage to DNA, proteins and membranes (Gururani et al., 2015). Protection against oxidative stress may occur due to the increase in the dissipation of energy excitation through

carotenoids or by the metabolism of reactive oxygen species, through greater activity of the antioxidant system.

The use of sunscreens on plants reflects solar radiation, reduces heat accumulation and oxidative stress, reduces water loss through transpiration and alleviates abiotic stress, resulting in improvements in the physiological, morphological and biochemical mechanisms of the plant (Brito et al., 2019).

Table 3 shows the averages of the chlorophyll, flavonoid, anthocyanin and nitrogen balance in the watermelon rind determined using the Multiplex[®] device:

Table 3. Parameters evaluated in the Multiplex[®] device: chlorophyll absorbed in green light (SFR_G), chlorophyll absorbed in red light (SFR_R), flavonoids (FLAV), anthocyanin in the red-green wavelength (ANTH_RG), anthocyanin in the red-blue wavelength (ANTH_RB), nitrogen balance in green light (NBI_G), nitrogen balance in red light (NBI_R), as a function of different sunscreens applied in the doses recommended by the manufacturers on the peel of watermelon fruits. Colatina/ES, 2024

TREATMENT	SFR_G	SFR_R	FLAV	ANTH_RG	ANTH_RB	NBI_G	NBI_R
T1	1.70 c	1.60 c	1.19 a	0.193 a	-0.14 a	0.21 c	0.11 d
T2	3.48 a	3.11 a	0.50 c	0.022 b	-0.42 b	1.13 a	0.94 a
T3	3.10 a	2.80 b	0.62 c	0.029 b	-0.43 b	0.77 b	0.67 b
T4	3.27 a	2.97 a	0.56 c	0.028 b	-0.44 b	1.26 a	0.90 a
T5	2.64 b	2.59 b	0.81 b	0.043 b	-0.40 b	0.57 b	0.49 c
CV (%)	7.62%	8.27%	13.37%	37.02%	12.4%	17.5%	15.29%

Treatment -T1: No protection, T2 - Paper, T3 - Composed of calcium carbonate (18.5%), zinc oxide (0.5%) and adjuvants not described by the manufacturer, T4 - 95% w/w Kaolin, T5 - Composed of 97% Calcium and magnesium hydroxide micro + 3% additives CV - Coefficient of variation. ns: not significant at 5% probability by F-test

The values of absorbed chlorophyll in green light (SFR_G) and absorbed chlorophyll in red light (SFR_R) indicate that more chlorophyll was absorbed in the rinds of watermelons

treated with different sunscreens. The treatments with sunscreens T2, T3 and T4 presented the highest values for SFR_G and T2 and T4 for SFR_R, which shows a greater intensity of green compared to the other treatments, indicating greater photosynthetic efficiency. These results demonstrate that sunscreens in general increased the intensity of green that is correlated with an increase in chlorophyll in the rinds, which may be related to protection from excessive solar radiation, preserving the photosynthetic capacity of the plant.

Regarding flavonoids, which are important antioxidant compounds, treatment T1, fruits without sunscreen, presented the highest FLAV value (1.19), which indicates a higher concentration of flavonoids in the watermelon rind without application of sunscreens. Treatments with sunscreens, on the other hand, presented lower FLAV values, with emphasis on treatment T2 (0.50), which had the lowest flavonoid index, followed by T3 (0.62) and T4 (0.56). This may indicate that sunscreens decreased oxidative stress in plants by reducing direct exposure to sunlight, which results in lower production of flavonoids, which are known for their protective function against damage caused by UV radiation.

Plants develop some defense/adaptation mechanisms to avoid the harmful processes of excess solar radiation. Adaptation to stress is characterized by genetic changes in the entire population, which have been fixed by natural selection over many generations (Taiz et al., 2017). These adaptive mechanisms include an increase in the concentration of flavonoids (which absorb UV-B), the creation of an enzymatic antioxidant system composed of catalase, superoxide dismutase, glutathione reductase and ascorbate peroxidase, which acts in order to eliminate reactive oxygen species.

The anthocyanin indices at the red-green (ANTH_RG) and red-blue (ANTH_RB) wavelengths reveal that T1, without sunscreen, obtained the highest value of ANTH_RG (0.193) and the best performance in ANTH_RB (-0.14), which indicates a greater presence of anthocyanins without sunscreen. The treatments with sunscreens presented significantly lower

values for ANTH_RG and ANTH_RB, with emphasis on T2, T3 and T4, whose values were close to each other.

Anthocyanins are photosynthetic pigments that vary in color between red, purple and blue and act to protect the photosynthetic system of plants by intercepting solar radiation, preventing excessive incidence of light (Merzlyak et al., 2002). Due to this protection, the concentration of these compounds can be significantly altered when there is sunburn (Felicetti & Schrader, 2008). This reduction in the production of anthocyanins in plants treated with sunscreens is also related to the reduction of solar stress, since the synthesis of these pigments is often induced by conditions of high light and UV radiation.

Nitrogen balance (NBI) reflects the relationship between the amount of chlorophyll and nitrogen-rich compounds in the plant. The treatments with sunscreens, T2 and T4, presented the highest values of NBI_G (1.13 and 1.26, respectively) and NBI_R (0.94 and 0.90), indicating a good balance between the amount of nitrogen and chlorophyll production, suggesting more vigorous plants with good nutritional development, while the treatment T5 presented the lowest NBI values among the treatments with sunscreens.

In general, the results indicate that the use of sunscreens, at the doses recommended by the manufacturers, and the use of paper provide a higher chlorophyll index, better nitrogen balance and lower production of flavonoids and anthocyanins. Treatment T2, using paper, presented the best overall results, proving to be an effective strategy to protect plants from intense solar radiation, preserving photosynthetic and nutritional performance. Treatment T1, without the application of sunscreen, presented greater synthesis of antioxidant compounds such as flavonoids and anthocyanins, suggesting greater oxidative stress.

Table 4 presents the results of physiological parameters measured in watermelon pulp using the Multiplex® device, that evaluated the efficacy of different sunscreens applied to the surface of the fruits. The parameters include the absorbed chlorophyll index in the green (SFR_G) and red (SFR_R) light bands, the flavonoid index (FLAV), anthocyanins at

different wavelengths (ANTH_RG and ANTH_RB), and the nitrogen balance measured in green (NBI_G) and red (NBI_R) light.

Table 4. Parameters evaluated in watermelon pulp in the Multiplex[®] device: chlorophyll index absorbed in green light (SFR_G), chlorophyll index absorbed in red light (SFR_R), flavonoids (FLAV), anthocyanin in the red-green wavelength (ANTH_RG), anthocyanin in the red-blue wavelength (ANTH_RB), nitrogen balance in green light (NBI_G), nitrogen balance in red light (NBI_R), in watermelon pulp as a function of different sunscreens applied in the doses recommended by the manufacturers

TREATMENT	SFR_G	SFR_R	FLAV	ANTH_RG	ANTH_RB	NBI_G	NBI_R
T	3.28 ns	0.60 c	-0.34 b	-0.12 a	-0.65 ns	4.91 a	1.24 d
P	4.27 ns	0.68 b	-0.27 a	-0.17 a	-0.67 ns	5.41 a	1.52 c
SO	4.04 ns	0.95 a	-0.32 b	-0.25 b	-0.71 ns	5.50 a	2.01 a
SR	4.11 ns	0.78 b	-0.36 b	-0.23 b	-0.73 ns	5.81 a	1.82 ab
SG	3.46 ns	0.71 b	-0.35 b	-0.16 a	-0.68 ns	5.89 a	1.71 bc
CV (%)	14.3	7.96	9.66	15.28	6.86	7.78	5.48

Treatment - T1: No protection, T2 - Paper, T3 - Composed of calcium carbonate (18.5%), zinc oxide (0.5%) and adjuvants not described by the manufacturer, T4 - 95% w/w Kaolin, T5 - Composed of 97% Calcium and magnesium hydroxide micro + 3% additives CV - Coefficient of variation. ns: not significant at 5% probability by F-test

For the chlorophyll index absorbed in red light SFR_R, there were significant differences between treatments, with treatment T3 presenting the highest value (0.95), followed by T4 (0.78) and T2 (0.68), while T1 presented the lowest value (0.60).

These results indicate that the use of sunscreens, especially T3, increased chlorophyll retention in the red range, which may be related to less degradation of pigments in the pulp due to protection against solar radiation.

Treatment T2 showed the highest value of flavonoids FLAV (-0.27), while treatments T3, T4 and T5 showed lower values, like those without protection. Flavonoids are

antioxidant compounds that protect plants against environmental stress (Singh et al., 2013). The results indicate that treatment with paper resulted in less degradation of flavonoids in the pulp, suggesting that this sunscreen offered greater antioxidant protection.

The treatments with sunscreens T3 and T4 showed significantly lower ANTH_RG values compared to the unprotected treatment, indicating a lower concentration of anthocyanins. Anthocyanin is produced in response to stresses, such as intense radiation, which suggests that sunscreens reduced the need for production of this protective pigment.

There was no significant difference between treatments for ANTH_RB, and this suggests that anthocyanin production in the pulp, measured in this light range, was not significantly impacted by the different sunscreens.

In the nitrogen balance in green light (NBI_G), all treatments showed high and similar values of NBI_G, indicating that the nitrogen balance in green light was not significantly affected by sunscreens. The nutritional balance in the pulp tissue was preserved regardless of the treatment applied.

On the other hand, the nitrogen balance in red light (NBI_R) showed significant differences, with the T3 treatment presenting the highest value (2.01), followed by T4 (1.82) and T5 (1.71), while the unprotected treatment had the lowest value (1.24). This increase in NBI_R with the application of sunscreens indicates a better retention of nitrogen compounds, which may be associated with a lower degradation of chlorophyll and a more efficient metabolism in the pulp of the protected fruits.

The results demonstrate that the application of sunscreens had a significant impact on some physiological parameters of watermelon pulp, especially on chlorophyll retention in the red-light range (SFR_R) and nitrogen balance (NBI_R). Treatment T3 was the most effective in increasing these values, suggesting that the protection against solar radiation provided by the sunscreen reduced chlorophyll degradation and improved the nitrogen balance in the pulp. Treatment T2 also stood out in the protection of flavonoids, possibly due to its action as an

effective physical barrier against radiation. In contrast, anthocyanin (ANTH_RG) values decreased with the use of sunscreens, indicating a reduction in the response to solar stress. These results indicate that sunscreens can help preserve the physiological quality of watermelon, protecting it against environmental stress and improving the nutritional content of the pulp.

The correlation matrices show statistically significant relationships between the variables analyzed, particularly between scalding (ESCALD), temperature (TEMPE), anthocyanins (ANTH_RG and ANTH_RB), and the physiological indices of chlorophyll fluorescence (SFR_G and SFR_R) and nitrogen balance (NBI_G and NBI_R).

Figure 5 shows a strong negative correlation between ESCALD and the SFR_G (-0.91, $p < 0.001$) and SFR_R (-0.92, $p < 0.001$) indices, suggesting that fruits more affected by scalding have lower photosynthetic efficiency (Allakhverdiev et al., 2008). This effect may be related to the degradation of photosynthetic pigments and the impairment of the structure shell cell Silva et al., 2019d). Thus, this effect may directly compromise the quality of the fruits, impacting characteristics such as firmness and soluble solids content (SST), essential factors for commercialization and market acceptance.

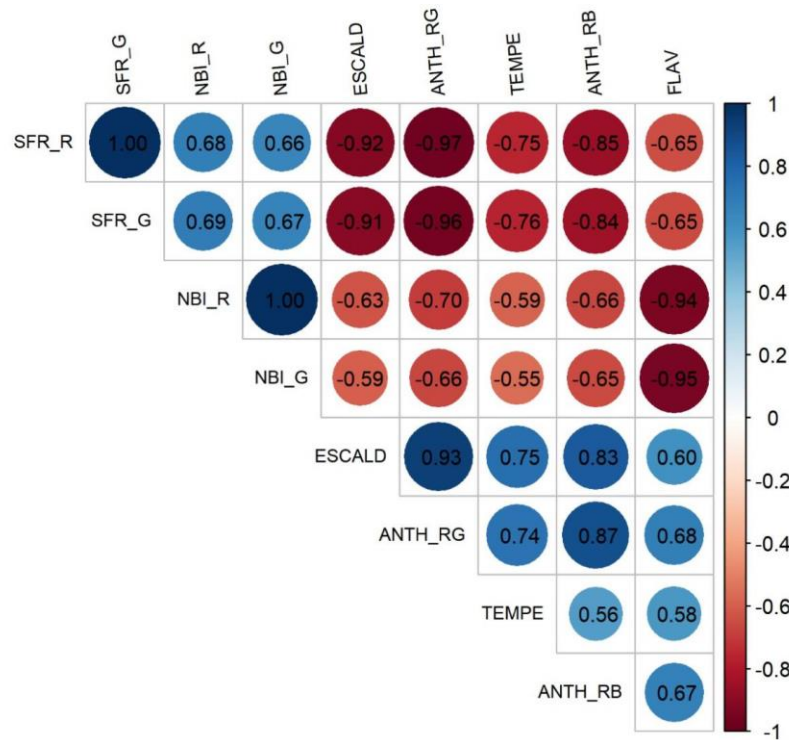


Figure 5. Correlation between scald severity and chlorophyll fluorescence spectral indices (SFR_G and SFR_R), showing reduced photosynthetic activity in affected fruits

Similar results were observed by Cruz (2006), in corn, and Parida et al. (2007), in cotton, who identified a negative correlation between temperature and chlorophyll stability in fruits under heat stress. However, in the present study, a more significant impact on spectral indices was observed, suggesting that scald severity may be associated with additional factors, such as accumulated radiation and epidermal tissue composition. This finding reinforces the need for continuous monitoring of spectral variables to predict possible impacts on postharvest productivity and quality. Additionally, a significant negative correlation was observed between NBI_G/NBI_R and FLAV (-0.95 and -0.94, respectively, $p < 0.001$), which indicates that flavonoid biosynthesis may be activated in response to oxidative stress triggered by scald. Flavonoids play an essential role in mitigating oxidative damage induced by UV radiation and high temperatures, functioning as metabolic defense compounds (Hasanuzzaman et al., 2013), they can limit photosynthesis and reduce productivity (Celovane

et al., 2018, Dinis et al., 2017). This indicates that radiation can have positive or negative effects, depending on the intensity and time of exposure (Yadav et al., 2020). This relationship is evidenced in Figure 6, demonstrating an increasing trend in flavonoid values as scald severity intensifies.

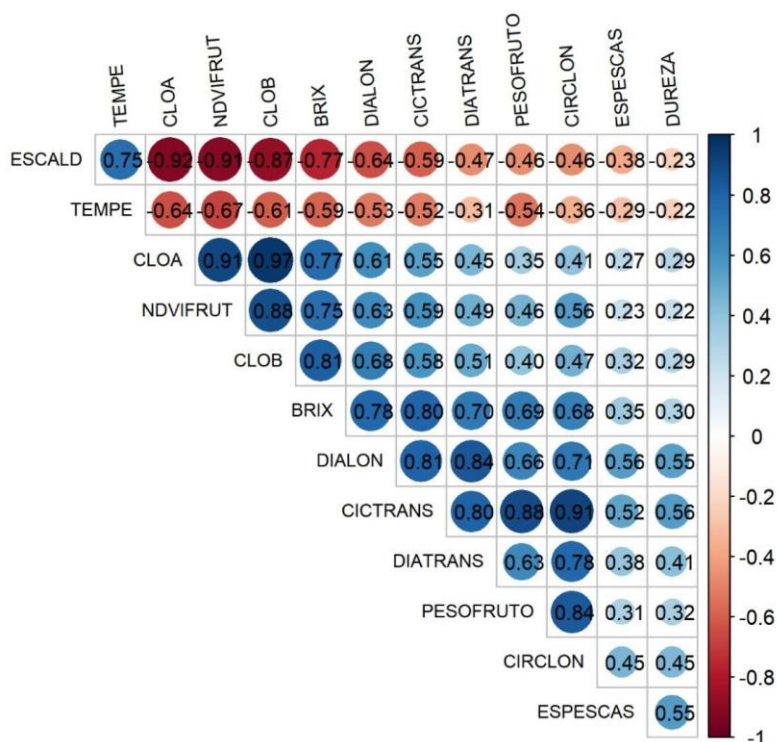


Figure 6. Influence of scalding on flavonoid biosynthesis, demonstrating the increased production of these compounds in response to oxidative stress caused by solar radiation and high temperature in watermelon

A positive correlation was observed between ESCALD and ANTH_RG ($r = 0.74$, $p < 0.05$) and ANTH_RB ($r = 0.67$, $p < 0.05$), suggesting that anthocyanin synthesis in fruit peel may be directly related to scald severity. This phenomenon can be explained by the protective function of anthocyanins, which act in the absorption of UV radiation and in the attenuation of the effects of thermal stress (Almeida et al., 2020). Figure 7 reinforces this relationship by highlighting the increase in anthocyanin levels in fruits most affected by scald, which directly impacts peel color and the commercial attractiveness of the fruits.

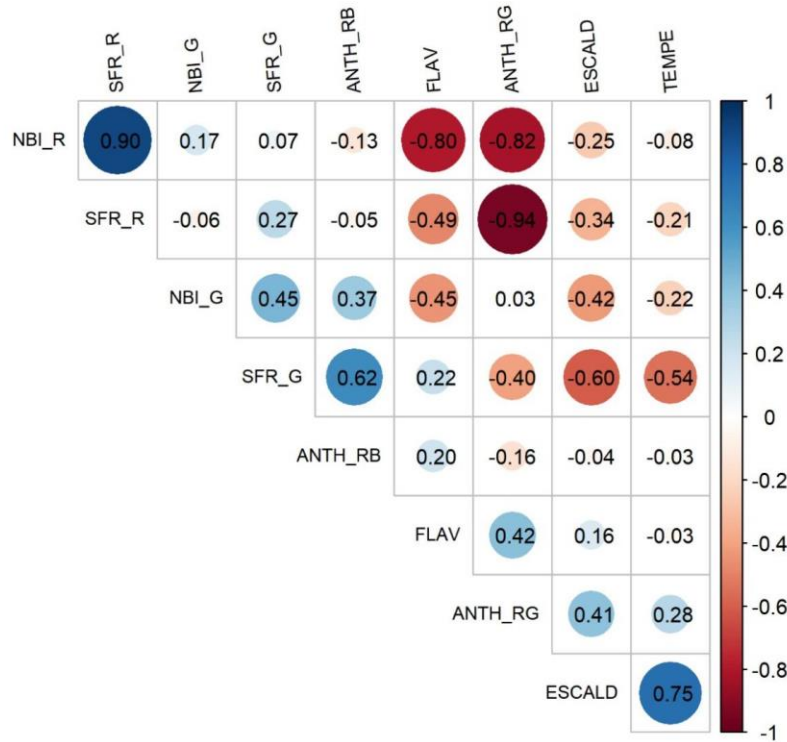


Figure 7. Correlation between scald severity and anthocyanin indices (ANTH_RG and ANTH_RB), showing increased pigmentation in the fruit skin in response to heat stress in watermelon fruits

Therefore, it is important to highlight the importance of monitoring spectral and biochemical variables as tools to assess fruit quality and the impact of heat stress. Furthermore, they show that choosing appropriate sunscreens can significantly contribute to preserving the commercial quality of fruits, which possibly prevents post-harvest losses. As the temperatures rise due to climate change (IPCC, 2023), strategies to mitigate heat stress, such as the use of sunscreens, become essential to preserve fruit productivity and quality. Future studies should expand this approach in order to improve sustainable agricultural management, of course they will need to consider varieties and environments.

CONCLUSIONS

1. Sunscreens improved watermelon fruit quality under heat stress by reducing fruit temperature and sunscald, especially with the paper-based treatment.
2. They increased fruit sweetness and maintained high levels of chlorophyll and vegetation index.
3. Lower antioxidant production indicated reduced oxidative stress.
4. Nutritional balance was optimized in plants treated with sunscreens.
5. Sunscreens are an effective strategy for cultivation under high solar radiation, and management adjustments may further enhance their benefits.

Conflict of Interest: The authors declare that there are no conflicts of interest, whether financial or of any other nature, that could have influenced the development or execution of this work. A signed conflict of interest statement has also been provided and attached to the article submission platform, as required.

Financing statement: This research was funded by the Espírito Santo Research and Innovation Support Foundation (FAPES), under protocol number 46725.725.18494.02092021.

Acknowledgments: We would like to thank the Federal Institute of Espírito Santo (IFES) for the institutional support, training opportunities, and academic environment that significantly contributed to my personal and professional growth, and the Espírito Santo Research and Innovation Support Foundation (FAPES) for funding part of the research.

LITERATURE CITED

Abdallah, M. M. S., El-Bassiouny, H. M. S., Abouseeda, M. A. Potential role of kaolin or potassium sulfate as anti-transpirant on improving physiological, biochemical aspects and yield of wheat plants under different watering regimes. Bulletin of the National Research Centre, v.43, p.1–12, 2019. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0177-8>

Ahmed, A. Y. M. Impact of spraying some antitranspirants on fruiting of Williams bananas grown under Aswan region conditions. Stem Cell, v.5, n. 4, p.34-39, 2014.

Allakhverdiev, S. I., Kreslavski, V. D., Klimov, V. V., Los, D. A., Carpentier, R., Mohanty, P. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. Photosynthesis Research, v.98, p.541–550, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11120-008-9331-0>

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Silva, L. R. I., Pereira, T. S., Silva, V. M. A., Eduardo, R. S., Barros, E. R., Muniz, C. E. S., Nunes, J. S., Ribeiro, V. H. A. Influence of time and temperature of ultrasound on anthocyanin content and instrumental color of jambolan pulp (*Syzygium jambolanum*). Research, Society and Development, v.9, n.7, e402974026, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4026>

Bernardo, S., Dinis, L.-T., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Valledor, L., Conde, A., Gerós, H., Correia, C. M., Moutinho-Pereira, J. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). Environmental and Experimental Botany, v.139, p.39–47, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.002>

Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I., Cantore, V. Kaolin influences tomato plant response to salinity: Physiological aspects. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, v. 64, p. 559-571, 2014. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.930509>

Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae*, v.250, p.310-316, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>

Cao, X., Wang, Y., Wang, Z. L. Effects of kaolin particle film coatings on water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape plants in Ningxia region, China. *Horticulturae Environment and Biotechnology*, v.64, p.421-435, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00498-4>

Celovane, N. S., Zampierollo, J. B., Santos, C. C., Santos, L. C., Silva, D. M. Photochemical activity in *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem. seedlings submitted to water deficit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 409–415, 2018. <https://doi.org/10.17221/71/2018-JFS>

Cobra, M. M., Santos, P. L. F., Almeida, A. C., Souza, L. C., Ferreira, M. F. S. Photoprotector in arabica coffee seedlings. *Revista Ciência Agrícola*, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2020.

Conde, A., Neves, A., Breia, R., Pimentel, D., Dinis, L., Bernardo, S., Correia, C. M., Cunha, A., Geros, H., Moutinho-Pereira, J. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of Plant Physiology*, v. 223, p. 47-56, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.02.004>

Correa, E. Improving Watermelon Productivity and Anthracnose Resistance in South Texas. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX, USA, 2019.

Cruz, R. F. D. da. Induction and recovery from water stress in Portuguese maize varieties. Master's Dissertation, University of Minho, Portugal, 2006.

Dinis, L. T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *Journal of Plant Physiology*, v.191, p.45-53, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>

Dinis, L. T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C. M., Moutinho-Pereira, J. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica*, v.54, p.47-55, 2016b. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>

Dinis, L. T., Malheiro, R., Ferreira, H., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*, v.55, n.2, p.641–651, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>

Dinis, L. T., Pimentel, D., Ferreira, H., Lucena, C., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. Kaolin foliar spray induces positive modifications in volatile compounds and fruit quality of Touriga-Nacional red wine. *OENO One*, v.58, n.2, 2023. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.2.7945>

Domingues Neto, F. J., Carneiro, D. C. da S., Silva, M. da S., Tecchio, M. A., Leonel, S., Pimentel Junior, A., Ono, E. O., Rodrigues, J. D. Sun Protection as a Strategy for Managing Heat Stress in Avocado Trees. *Plants*, v.13, n.20, p.2854, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13202854>

Felicetti, D. A., Schrader, L. E. Changes in pigment concentrations associated with sunburn browning of five apple cultivars. I. Chlorophylls and carotenoids. *Plant Science*, v.176, n.1, p.84–89, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.013>

Glenn, D. M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple productivity and quality. *Scientia Horticulturae*, v.201, p.101–108, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.035>

Gururani, M. A., Venkatesh, J., Tran, L. S. P. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. *Molecular Plant*, v.8, p.1304-1320, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.05.005>

Hamdy, A. E., El-Ansary, D. O., Abd El-Aziz, N. G., Abdelgawad, Z. A. Kaolin improves photosynthetic pigments, and antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: Field study. *Agronomy*, v.12, p.1535, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071535>

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., Fujita, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, v.14, n.5, p.9643–9684, 2013. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., White, P. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Ed. Academic Press, 2012. p.135-189.

IBGE - Brazilian Institute of Geography and Statistics. Agricultural production: temporary crops. 2022. Available on: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10340>. Accessed on: May 2024.

IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2023. p.1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Jifon, J. L., Syvertsen, J. P. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.128, p.107-112, 2003. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.1.0107>

Karaat, F. E., Denizhan, H. The effects of different particle film applications on almond trees. *Ciência Rural*, v.53, e20210757, 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210757>

Li, C., Tao, J., Zhao, D., You, C., Ge, J. Effect of calcium sprays on mechanical strength and cell wall fractions of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *International Journal of Molecular Sciences*, v.13, p.4704-4713, 2012. <https://doi.org/10.3390/ijms13044704>

Madani, B., Mirshekari, A., Yahia, E. Effect of calcium chloride treatments on calcium content, anthracnose severity and antioxidant activity in papaya fruit during ambient storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.96, n.9, p.2963-2968, 2016. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7462>

Magalhães, D. S., Souza, D. C. Watermelon: the third most produced fruit in the country. *Campo & Negócios*, p.1–3, 2020. Available at: <https://revistacampoenegocios.com.br/melancia-a-terceira-fruta-mais-producida-no-pais>. Accessed on: July 23, 2024.

Makky, M., Soni, P. In situ quality assessment of intact oil palm fresh fruit bunches using rapid portable non-contact and non-destructive approach. *Journal of Food Engineering*, v.120, p.248-259, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.011>

Martins, R. N., de Carvalho Pinto, F., Marçal de Queiroz, D., Magalhães Valente, D. S., Fim Rosas, J. T. A novel vegetation index for coffee ripeness monitoring using aerial imagery. *Remote Sensing*, v.13, n.2, e263, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13020263>

Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E. Photostability of pigments in ripening apple fruit: A possible photoprotective role of carotenoids during plant senescence. *Plant Science*, v.163, n.4, p.881–888, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00241-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00241-8)

Nascimento, I. R., Santos, L. B., Santos, G. R., Erasmo, E. A. L. Taxonomy and systematics, center of origin and morphology of watermelon. In: Santos, G. R., Zambolim, L. (Ed.). *Technologies for the sustainable production of watermelon in Brazil*. Gurupi: Federal University of Tocantins, 2011. p.11–14.

Nazeri, M., Tabatabaei, S. J., Mollayi, N. The effect of talc, kaolin, and zinc oxide on heat stress in pomegranate cv. Malas saveh. *Iranian Journal of Plant Physiology*, v.14, n.1, p.4809-4823, 2023.

Oliveira, W., Matias, S., Silva, R., Silva, R., Alixandre, T., Nóbrega, J. Growth and production of Crimson Sweet watermelon with mineral and organic fertilization. *Green Journal of Agroecology and Sustainable Development*, v.8, n.2, p.77–82, 2013.

Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., Aurangabadkar, L. P. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports*, v.1, p.37-48, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11816-006-0004-1>

Poovaiah, B. W. (1986). *Role of calcium in plant development*. En A. K. M. a. B. W. Poovaiah (Ed.), *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Vol. 19, pp. 15-27). DOI: 10.21273/HORTSCI.20.3.347

Rodrigues, J. C. A., Reis, L. L., Silva, C. A. Evaluation of watermelon fruit yield and quality under different topdressing potassium doses. *Revista Agrogeoambiental*, v.8, n.4, p.11–22, 2016. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v8n42016857>

Sales, R. A., Oliveira, E. C., Delgado, R. C., Leite, M. C. T., Ribeiro, W. R., Berilli, S. S. Seasonal and interannual rainfall variability for Colatina, Espírito Santo, Brazil. *Scientia Agraria*, v.19, n.2, p.186-196, 2018. <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i2.55292>

Silva, A. R., Ishikawa, F. H., Costa, A. E. da S., Cunha, F. S. da, Galhardo, C. X. Physicochemical characterization of watermelon accessions from traditional agriculture with resistance to Fusarium wilt. *Revista Ceres*, v.71, e71004, 2024. <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710004>

Silva, L. F., Santos, R. H. S., Lima, J. S. S., Martins, D. Irrigation improves plant vitality in specific stages of mango tree development according to photosynthetic

efficiency. *Photosynthetica*, v.57, n.3, p.820–829, 2019d.
<https://doi.org/10.32615/ps.2019.091>

Silva, P. S. O. da., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. *Environmental and Experimental Botany*, v.165, p.19-29, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in American grapevine leaves (*Vitis labrusca* L.). *Scientia Horticulturae*, v.252, p.77-84, 2019a.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. Calcium carbonate particle films and water regimes affect tomato acclimatization, ecophysiology and reproduction. *Environmental and Experimental Botany*, v.165, p.19-29, 2019c.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. *Scientia Horticulturae*, v.245, p.171-177, 2019b.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>

Singh, H. P., Mahajan, P., Kaur, S., Batish, D. R., Kohli, R. K. Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters*, v.11, p.229–254, 2013.
<https://doi.org/10.1007/s10311-013-0407-5>

Soela, D. M., Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. Photosystem II Performance of *Coffea canephora* Seedlings after Sunscreen Application. *Plants*, v.12, n.7, p.1467, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12071467>

Song, J., Shellie, K. C., Wang, H., Qian, M. C. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis*

vinifera L.). Food Chemistry, v.134, p.841-850, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. Plant physiology and development. 6th ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Tegen, H., Alemayehu, M., Alemayehu, G., Abate, E., Amare, T. Response of watermelon growth, yield, and quality to plant density and variety in Northwest Ethiopia. Open Agriculture, v.6, p.655–672, 2021. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0037>

Tsoulias, N., Saha, K. K., Zude-Sasse, M. In-situ fruit analysis by means of LiDAR 3D point cloud of normalized difference vegetation index (NDVI). Computers and Electronics in Agriculture, v.205, p.107611, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107611>

Wan Azman, W. M. F. B., Shahar, A., Azizan, S. A., Rahim, A. A. Physical and mechanical properties of watermelon rind. Advances in Agricultural and Food Research Journal, v.5, n.2, 2024. <https://doi.org/10.36877/aafjr.a0000318>

Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y., He, Y. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: a review. Sensors, v.15, p.11889-11927, 2015.
<https://doi.org/10.3390/s150511889>

Yadav, A., Singh, D., Lingwan, M., Yadukrishnan, P., Masakapalli, S. K., Datta, S. Light signaling and UV-B-mediated plant growth regulation. Journal of Integrative Plant Biology, v.62, p.1270-1292, 2020. <https://doi.org/10.1111/jipb.12932>

Zheng, H. F., Liu, W. D., Liu, W. J., Liu, C. M., Zheng, L. Morphophysiological characteristics in pumpkin plants under photoprotection with calcium particle film. Environmental and Experimental Botany, v.138, p.77-87, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.016>

TRABALHO 2

MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM MELANCIA POR MEIO DA APLICAÇÃO DE PROTETOR SOLAR EM DIFERENTES DOSAGENS²

Resumo

A cultura da melancia (*Citrullus lanatus*) apresenta elevada demanda global, sendo altamente sensível ao estresse térmico, fator intensificado pelas mudanças climáticas. Altas temperaturas e radiação solar excessiva comprometem o metabolismo fotossintético, promovem degradação de pigmentos e induzem desordens fisiológicas como escaldadura, afetando diretamente a produtividade e a qualidade dos frutos. Dentre as estratégias para mitigar esses efeitos, destaca-se o uso de protetores solares agrícolas à base de partículas minerais, capazes de formar uma película refletiva sobre a superfície das plantas e frutos. Este estudo objetivou avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de nanoparticulado de carbonato de cálcio sobre a produtividade e qualidade dos frutos de melancia em condições de clima quente no Noroeste do Espírito Santo. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com cinco doses de nanoparticulado de carbonato de cálcio (0, 150, 300, 450 e 600 mL e 20 L), aplicadas semanalmente a partir do início do desenvolvimento dos frutos. Foram avaliados parâmetros produtivos (peso, diâmetro, circunferência), fisiológicos (NDVI, índices de clorofila a e b, índices de antocianinas e temperatura superficial), sólidos solúveis totais (°Brix), e escaldadura. Os resultados evidenciaram que a dose de 414 mL foi a mais eficiente, promovendo incremento médio de 1 kg no peso dos frutos, aumento nos índices de sólidos solúveis (> 11,5 °Brix), redução de até 90% na escaldadura e diminuição de até 6 °C na temperatura superficial. Também se observou maior estabilidade dos pigmentos fotossintéticos e maior acúmulo de antocianinas na casca. As respostas fisiológicas demonstraram que a película protetora reduziu o estresse térmico e oxidativo, favorecendo o desempenho metabólico das plantas e a qualidade final dos frutos. Conclui-se que o uso de nanoparticulado de carbonato de cálcio constitui uma ferramenta agronômica eficaz para a adaptação da cultura da melancia a ambientes de alta radiação solar, contribuindo para a sustentabilidade da

² Artigo a ser submetido para publicação. Este trabalho faz parte da Tese/Dissertação a ser apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

produção frente às condições climáticas adversas.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, nanoparticulado de carbonato de cálcio, altas temperaturas, qualidade dos frutos.

Abstract

Watermelon culture (*Citrullus lanatus*) has high global demand and is highly sensitive to thermal stress, a factor intensified by climate change. High temperatures and excessive solar radiation compromise photosynthetic metabolism, promote pigment degradation, and induce physiological disorders such as sunscald, directly affecting yield and fruit quality. Among the strategies to mitigate these effects, the use of agricultural sunscreens based on mineral particles, capable of forming a reflective film on the surface of plants and fruits, stands out. This study aimed to evaluate the effects of applying different doses of calcium carbonate nanoparticulate on the yield and quality of watermelon fruits under hot climate conditions in the Northwest of Espírito Santo. The experiment was conducted in randomized blocks, with five doses of calcium carbonate nanoparticulate (0, 50, 100, 150, and 200% of the recommended dose), applied weekly from the beginning of fruit development. Productive (weight, diameter, circumference), physiological (NDVI, chlorophyll a and b indices, anthocyanin indices, and surface temperature), total soluble solids (°Brix), and sunscald parameters were evaluated. The results showed that the dose of 414 ML was the most efficient, promoting an average increase of 1 kg in fruit weight, an increase in soluble solids levels (> 11.5 °Brix), a reduction of up to 81% in sunscald, and a decrease of up to 6 °C in surface temperature. Greater stability of photosynthetic pigments and higher accumulation of anthocyanins in the rind were also observed. The physiological responses demonstrated that the protective film reduced thermal and oxidative stress, favoring the metabolic performance of the plants and the final quality of the fruits. It is concluded that the use of calcium carbonate nanoparticulate constitutes an effective agronomic tool for the adaptation of watermelon crops to high solar radiation environments, contributing to production sustainability in the face of adverse climate conditions.

Keywords: *Citrullus lanatus*, calcium carbonate nanoparticulate, high temperatures, fruit quality.

1. INTRODUÇÃO

A melancia (*Citrullus lanatus*) é uma das frutas mais consumidas e apreciadas mundialmente, pertencente à família Cucurbitaceae, que inclui outras espécies de grande relevância agrícola, como o pepino e o melão (Chomicki et al., 2020). Originária das regiões áridas da África Subsaariana, a espécie demonstrou notável plasticidade fenotípica, adaptando-se a diferentes ambientes tropicais e subtropicais. Sua alta demanda no mercado global é impulsionada pelo sabor refrescante, elevado teor de água e presença de nutrientes essenciais, como as vitaminas A e C, além de compostos antioxidantes como o licopeno (Perkins-Veazie et al., 2007).

No cenário mundial, a produção de melancia tem apresentado crescimento expressivo, com destaque para países como China, Índia, Turquia e Argélia. Segundo a FAO (2023), a China responde por mais de 60% da produção global, reforçando a importância socioeconômica da cultura. No Brasil, a melancia também ocupa lugar de destaque, com cultivo predominante nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, embora estados emergentes, como o Espírito Santo, tenham demonstrado competitividade produtiva. A cultura contribui significativamente para a geração de emprego e renda, sendo amplamente comercializada no mercado interno e externo (IBGE, 2020).

Entretanto, o cultivo da melancia enfrenta desafios crescentes, especialmente frente às mudanças climáticas globais. Um dos principais fatores limitantes é a ocorrência de estresse térmico, que compromete o desenvolvimento da planta ao provocar desnaturação de proteínas, inibição da fotossíntese e aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), comprometendo a integridade celular e o funcionamento dos cloroplastos (Hasanuzzaman et al., 2013, Dos Santos et al., 2022). Esses efeitos reduzem a produtividade e a qualidade dos frutos, principalmente em regiões quentes como o Noroeste do Espírito Santo.

Diante disso, estratégias de manejo sustentáveis vêm sendo estudadas, com destaque para o uso de nanopartículas com ação fotoprotetora. Compostos à base de minerais como carbonato de cálcio, óxido de zinco e caulim formam películas refletoras sobre a superfície dos tecidos vegetais, atuando como barreiras físicas contra a radiação solar e minimizando os danos causados pelo

calor e pelo excesso de luz (Dinis et al., 2022). Além disso, essas partículas contribuem para a estabilidade fisiológica das plantas, promovendo melhorias na eficiência fotossintética, na atividade antioxidante e na expressão de genes relacionados à tolerância ao calor (Khalid et al., 2022).

A eficácia desses materiais tem sido confirmada em diferentes culturas frutíferas. Schrader et al. (2003) relataram redução da temperatura da epiderme em maçãs, Hamdy et al. (2022) observaram melhora no desempenho fisiológico e antioxidante em mangueiras tratadas com caulim, Xyrafis et al. (2024) identificaram aumento da eficiência fotossintética e da qualidade dos frutos de videiras submetidas à aplicação de carbonato de cálcio, e Sharma et al. (2018) verificaram significativa redução de escaldadura e rachaduras em frutos de romãs tratados com protetor solar agrícola.

Considerando a importância da cultura da melancia no contexto nacional e global, bem como os impactos adversos provocados por condições climáticas extremas, torna-se essencial o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias agronômicas inovadoras que contribuam para sua adaptação e sustentabilidade. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes dosagens de protetores solares agrícolas sobre parâmetros fisiológicos, produtivos e qualitativos da melancia, visando mitigar os impactos das altas temperaturas e promover a resiliência da produção em ambientes de clima quente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Área Experimental do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, localizado no distrito de Itapina em Colatina – ES, com coordenadas geográficas de 19° 32' 22" de latitude Sul, 40° 37' 50" de longitude Oeste e altitude de 71 metros. O clima da região segundo a classificação climática de Köppen é "AW" com temperatura média anual entre 25°C (Busato et al., 2011) e estação chuvosa bem definida entre outubro e janeiro e precipitação média climatológica de 1029,9 mm (Sales et al., 2018). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2013).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram nanoparticulado de carbonato de cálcio

(18,5%), óxido de zinco (0,5%) e adjuvantes não descritos pelo fabricante, nas doses de 0, 150, 300, 450 e 600 mL em 20 litros. Os frutos foram pulverizados semanalmente com auxílio de pulverizador costal manual 20L Bico de pulverização cerâmico gotas atomizadas 40 graus (MGA-40), conforme dosagem e forma de aplicação determinada pelo fabricante quando este atingiu o peso de três a cinco quilos.

A unidade experimental foi constituída por quatro linhas de 30 m de comprimento e 3,0 m de largura entre as mesmas. As plantas foram conduzidas no espaçamento 3,0 m x 1,0 m totalizando 30 plantas por repetição, 20 plantas por tratamento e 120 plantas em todo o experimento. As plantas avaliadas foram as que compõem a fileira central, deixando as laterais como bordadura.

Para estudar o efeito de diferentes dosagens do produto, os frutos foram pulverizados semanalmente com auxílio de pulverizador costal manual 20L Bico de pulverização cerâmico gotas atomizadas 40 graus (MGA-40), conforme dosagem e forma de aplicação determinada pelo fabricante quando este atingiu o peso de três a cinco quilos.

Antes da instalação do experimento foram realizadas coletas de amostras de solo nas profundidades de 0,0 – 0,20 m, que, posteriormente, foram encaminhadas para o Laboratório de Solos do IFES Campus Itapina, para caracterização química conforme Tabela 1. De posse da análise, a correção do solo seguiu conforme o manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª aproximação (Prezotti et al., 2007).

Tabela 1: Resultados da análise do solo da lavoura de melancia, sob aplicação de diferentes dosagens de nanoparticulado de carbonato de cálcio, Itapina, Colatina, ES.

pH	M.O	P	Na	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	T	t	m	V
H ₂ O	dag/kg	---mg/dm ³ ---			---- cmol c/dm ³ ----			---- cmol c/dm ³ ----			--- % ---		
6,4	0,9	87	9,0	120	4,2	1,1	0,0	1,6	5,6	7,2	5,6	0,0	77,9

M.O: Matéria orgânica, P: Fósforo, Na: Sódio, K: Potássio, Ca: cálcio, Mg: Magnésio, Al: Alumínio, SB: Soma de Bases, T: Capacidade de troca catiônica, t: Capacidade de troca catiônica efetiva, m: saturação de alumínio, V: Saturação de bases.

Fonte: Elaboração do autor

O preparo do solo foi realizado através de aração, gradagem, e abertura das covas 20 dias antes do plantio no sistema Muching. As sementes para a produção

das mudas foram adquiridas no comércio local do tipo Crimson Sweet, híbrido Manchester semeada diretamente na cova deixando apenas 1 planta por cova.

Foram utilizados frutos de melancia do tipo Crimson Sweet, híbrido Manchester desenvolvido pela empresa Syngenta®, com formato redondo, polpa firme de coloração vermelho intenso e crocante.

Ao longo do ciclo da cultura da melancia, foram realizados os tratos culturais necessários ao seu pleno desenvolvimento, como, penteamento das ramas, capinas manuais e controle fitossanitário de acordo com as recomendações para a cultura.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, manejada a água de irrigação com uso do Irrigâmetro. Cada linha de plantio recebeu uma linha lateral de irrigação de 16 mm. Para a determinação da umidade do solo foi usado o Medidor Eletrônico de Umidade do Solo (HidroFarm) – que realiza a medição da umidade do solo pela Impedância do Solo em Alta Frequência (ISAF).

A temperatura, umidade relativa, vento, chuva e radiação solar durante o ciclo da cultura foram registrados por uma estação meteorológica automática instalada nas proximidades da área experimental.

A temperatura nos frutos foi mensurada semanalmente um dia após a aplicação dos diferentes produtos, posicionando o termômetro portátil Digital Infravermelho Mira Laser -50° A 380°C na parte superior, em dias de céu claro, sem nuvens.

Os frutos foram colhidos na maturidade hortícola, quando a mancha que permaneceu em contato com o solo, muda da cor branca para o amarelo pálido. E as gavinhas mais próximas ao fruto tornaram-se marrons e ressecadas (Rushing et al., 1999).

Após a colheita dos frutos foi avaliado o índice de queimadura de sol (escaldadura), utilizando como referência a escala apresentada na Figura 1, que se encontra definida em cinco níveis de escaldão: (0) sem escaldadura, (1) ligeiro, (2) moderado, (3) grave e (4) muito grave. O peso do fruto (PF) em kg, diâmetro longitudinal (DL) dos frutos normais em cm, circunferência transversal (CT) em cm, índice de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) utilizando um refratômetro digital portátil. Para as variáveis clorofila a e b, usou-se o equipamento ClorofiLOG, modelo CFL 1030, operado de acordo com as especificações do fabricante, no centro mediano entre as nervuras mais claras e escuras do fruto.



Figura 1 – Escala de escaldadura nos frutos da melancia. Os níveis de escaldadura foram avaliados conforme a intensidade das lesões nos frutos, variando de ausência de escaldadura (0) a danos muito graves (4).

Fonte: Dados da pesquisa

O índice de reflectância, NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), foi medido no centro na parte superior do fruto a uma altura média de 50 cm, com um analisador da reflectância de frutos portátil marca GREENSEEKER.

Adicionalmente, foram feitas as avaliações dos parâmetros fisiológicos e antocianina com o fluorômetro modelo Multiplex (Force-A) com fontes múltiplas de excitação de luz (ultravioleta, azul, verde e vermelho). Na parte externa do fruto (casca), apontando o equipamento de cima para baixo, em um ângulo, aproximadamente, de 45 graus e os dados obtidos foram parametrizados antes de serem analisados, seguindo as recomendações do fabricante.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, os dados relacionados às doses de nanoparticulado de cálcio foram submetidos à análise de regressão, selecionando-se os modelos com base na significância do teste “F”, a 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa de código aberto R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, compreendido entre nove de fevereiro e 11 de maio de 2024, prevaleceram condições climáticas marcadas por calor e baixa umidade. As temperaturas máximas atingiram até 38,6 °C (registradas em 18 de março), enquanto as médias diárias, particularmente em março o mês mais quente do período, frequentemente superaram os 28 °C. As temperaturas mínimas variaram

entre 20,5 °C e 24,5 °C, apresentando uma discreta tendência de declínio ao longo do mês de abril, conforme Figura 2.

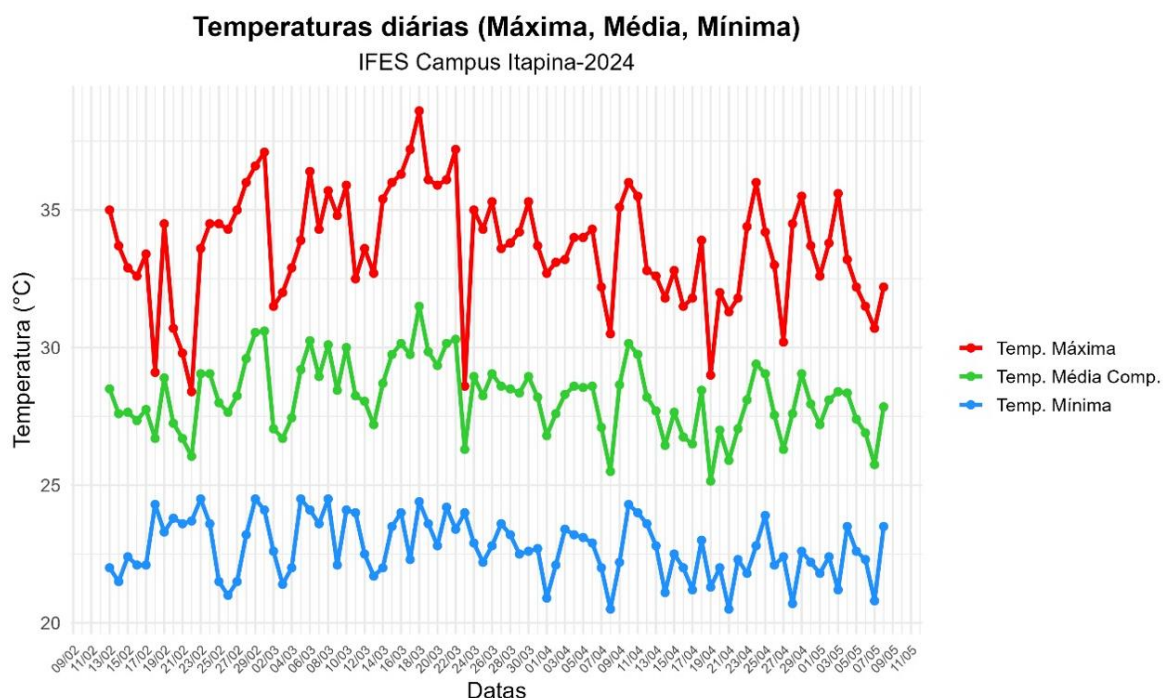


Figura 2. Temperatura mínima, média e máxima mensal durante o período do estudo, de 09 de fevereiro de 2024 a 11 de maio de 2024, Instituto federal do Espírito Santo Campus Itapina.

Fonte: dados da pesquisa

Os resultados da Figura 3 demonstram que a aplicação de doses crescentes de nanopartículas de carbonato de cálcio resultou em um aumento progressivo do peso fresco dos frutos de melancia, seguindo uma tendência linear positiva. O incremento médio observado foi de, aproximadamente, 1 kg por fruto, evidenciando o potencial agrônômico do tratamento.

A película formada pelo carbonato de cálcio na superfície das plantas age como um escudo térmico, refletindo parte da radiação solar incidente e reduzindo a temperatura da epiderme dos frutos, o que favorece o metabolismo celular e reduz o estresse oxidativo. Essa proteção permite maior eficiência fotossintética durante o enchimento dos frutos, resultando em maior acúmulo de biomassa (Xyrafis et al., 2024). Além disso, a diminuição da transpiração excessiva, induzida pela película protetora, contribui para melhor balanço hídrico na planta, mantendo o turgor celular e o fluxo contínuo de assimilados até os frutos.

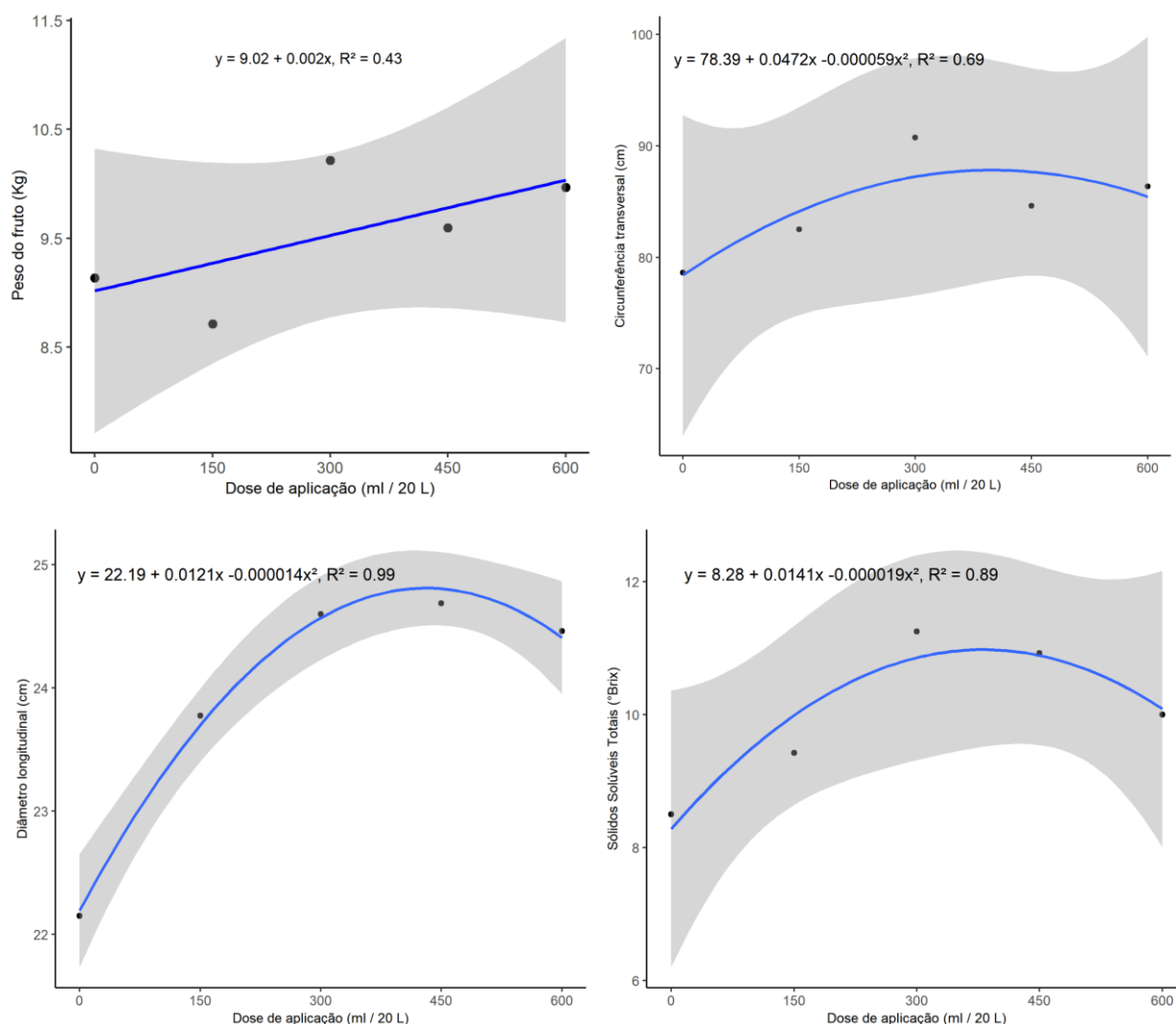


Figura 3 – Peso de frutos, circunferência transversal, diâmetro longitudinal, e sólidos solúveis totais na melancia com diferentes doses de nanoparticulado de carbonato de cálcio.
Fonte: Elaboração do autor

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2021) em cultivos de batata-doce, onde o uso de filmes à base de óxido de cálcio (CaO) resultou em aumento significativo da produtividade de raízes tuberosas. A melhoria foi atribuída à ação fotoprotetora da película, que reduziu a temperatura foliar e aumentou a eficiência do aparato fotossintético. Da mesma forma, Santos et al. (2024) reportaram incremento de 12% na produtividade de laranjeiras submetidas ao estresse hídrico após a aplicação de protetor solar à base de cálcio, associando esse efeito à preservação da atividade fisiológica e redução do estresse térmico. Além disso, em condições de verão intenso, Khavari et al. (2021) verificaram que a aplicação de partículas refletoras (caulim e ácido salicílico) em aveleiras, promoveu

aumento no peso médio dos frutos e na produtividade total da cultura, reforçando a eficácia desses insumos na proteção contra estresses abióticos e na manutenção da eficiência fisiológica das plantas.

Com relação à circunferência transversal e ao diâmetro longitudinal dos frutos de melancia, apresentaram resposta significativa à aplicação do protetor solar à base de carbonato de cálcio, com ajuste aos modelos quadráticos. Ambas as variáveis aumentaram progressivamente até doses intermediárias, situadas entre 300 e 450 mL, com discreta redução nas concentrações mais elevadas. Esse padrão sugere um ponto de máxima eficiência fisiológica promovida pelo tratamento, além do qual os benefícios tendem a se estabilizar ou diminuir.

A barreira superficial resultante do uso de carbonato de cálcio promoveu condições microclimáticas ideais, com redução da temperatura superficial dos frutos e manutenção da atividade estomática, favorecendo a fotossíntese líquida e, consequentemente, o acúmulo de biomassa nos frutos (Hamdy et al., 2022).

Resultados semelhantes foram reportados por Santos et al. (2024) na cultura da laranjeira 'Pera', em que a aplicação de protetor solar à base de cálcio resultou em acréscimos significativos no diâmetro e no peso dos frutos, mesmo sob condições de estresse hídrico. Os autores atribuem esse efeito à proteção conferida pelo produto contra a radiação solar excessiva, o que contribuiu para a manutenção da integridade fisiológica de folhas e frutos e, consequentemente, para o melhor desenvolvimento reprodutivo da planta. Além disso, Khavari et al. (2021) verificaram que em avelãs tratadas com caulim e ácido salicílico houve aumento significativo no tamanho dos frutos em condições de verão quente.

Os sólidos solúveis totais dos frutos de melancia responderam de forma quadrática às doses crescentes do protetor solar à base de carbonato de cálcio. O maior valor, superior a 11,5 °Brix, foi obtido nas doses intermediárias (próximas a 360 mL), seguido por discreta redução nas doses mais elevadas. Esse comportamento sugere que a aplicação do protetor promoveu melhoria da qualidade interna dos frutos, refletida pelo aumento da concentração de açúcares solúveis, parâmetro sensorial e comercial relevante. O revestimento reflexivo atua reduzindo o estresse térmico e a perda excessiva de água por transpiração, sem comprometer a interceptação de luz fotossinteticamente ativa. Essa condição favorece a acumulação de açúcares nos frutos ao manter a integridade do aparato fotossintético e prolongar a atividade fotossintética, mesmo sob radiação intensa,

resultando em maior assimilação de carbono e translocação de fotoassimilados para os frutos. Estudos demonstraram que o uso de partículas minerais, como o caulim ou o carbonato de cálcio, promove o acúmulo de sólidos solúveis em diversas culturas ao reduzir a temperatura da epiderme e preservar a função estomática e enzimática das folhas (Hamdy et al., 2022, Sharma et al., 2018, Wang et al., 2020).

Altos valores de sólidos solúveis totais (SST) em frutos de melancia são altamente desejáveis e amplamente valorizados no mercado, sendo esse parâmetro considerado um dos principais indicadores de qualidade sensorial em diversos países, incluindo o Brasil. De acordo com Bleinroth (1994), o teor mínimo aceitável para fins comerciais é de 10%.

Santos et al. (2024) observaram em laranjeiras ‘Pera’ um aumento significativo do °Brix sob aplicação de protetor solar à base de cálcio, mesmo em condições de estresse hídrico, devido à preservação da fisiologia e redução da perda de água nos frutos. Em videiras ‘Assyrtiko’, Xyrafis et al. (2024) demonstraram que o uso de carbonato de cálcio (CaCO_3) elevou significativamente os níveis de sólidos solúveis das bagas, mesmo sob clima seco e quente. De forma similar, em videiras Cabernet Sauvignon, Li et al. (2023) observaram aumento de até 16,09% nos sólidos solúveis em frutos tratados com película de caulim, além de redução na acidez titulável, refletindo uma melhor maturação tecnológica dos frutos sob estresse hídrico.

Os valores de NDVI dos frutos da melancia aumentaram proporcionalmente com a aplicação de doses crescentes de protetor solar à base de nanopartículas de carbonato de cálcio (Figura 4). Este comportamento indica uma melhoria na integridade dos tecidos e na atividade fotossintética associada à casca dos frutos. O pico de NDVI em doses intermediárias sugere um equilíbrio benéfico entre proteção solar e absorção de luz fotossinteticamente ativa, com possível estabilização ou leve decréscimo em doses mais altas, provavelmente devido à saturação da película protetora.

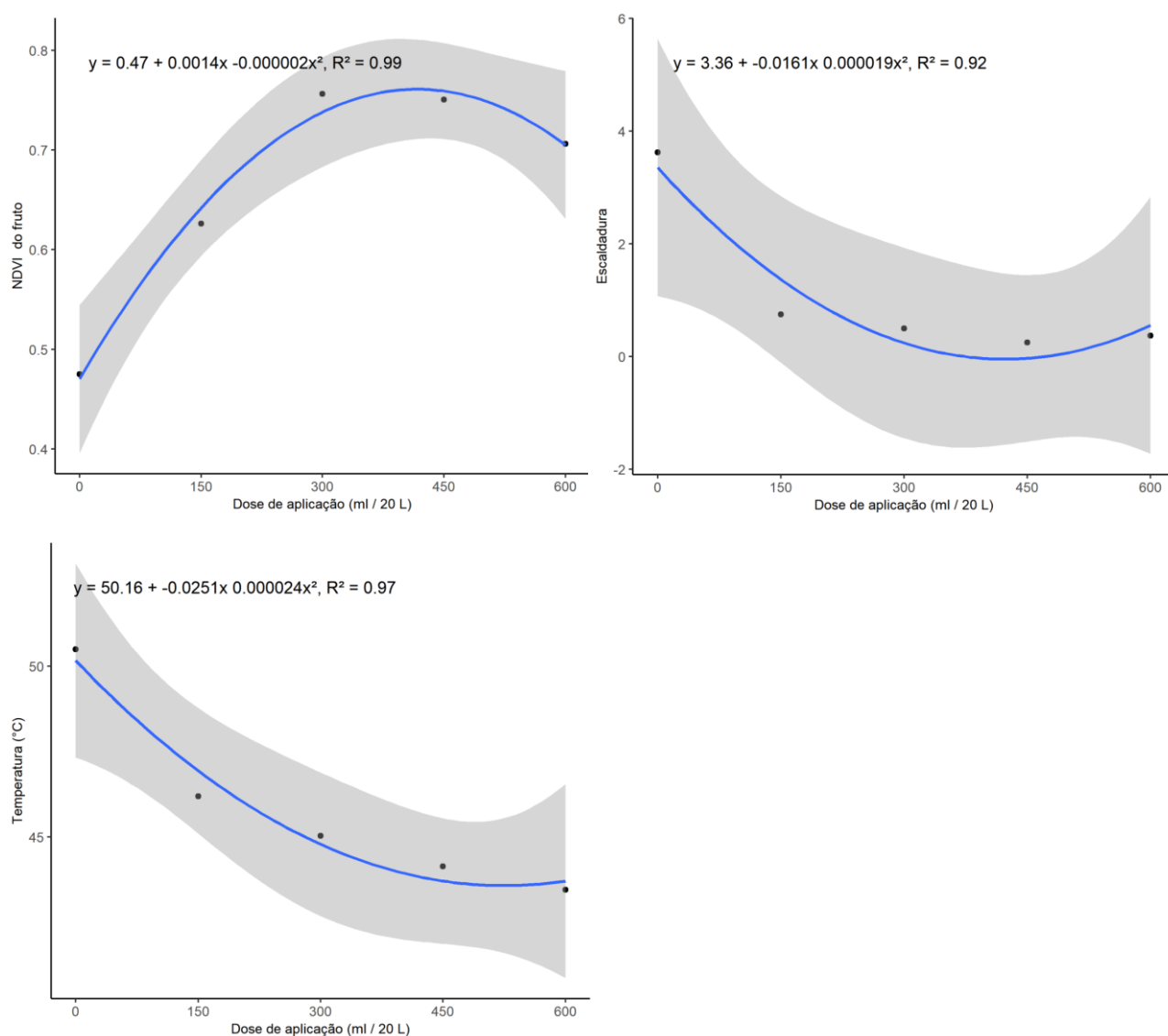


Figura 4 – NDVI de frutos, escaldadura e temperatura na superfície dos frutos na melancia com diferentes doses de nano particulado de carbonato de cálcio.

Fonte: Elaboração do autor

Resultados semelhantes foram observados em maçãs ‘Gala’ submetidas aos diferentes tratamentos preventivos contra escaldão solar. Rodrigues (2022) relatou que a aplicação de protetores solares contribuiu para o aumento dos índices fisiológicos, como o NDVI, reforçando a eficiência da cobertura foliar na redução do estresse oxidativo e na manutenção da atividade fotossintética durante períodos de radiação intensa.

Além disso, Glenn e Puterka (2005) destacam que o uso de partículas minerais refletoras em macieiras promoveu aumento da assimilação de carbono e melhorias no desempenho fisiológico da planta, o que corrobora os benefícios

observados no presente estudo com melancia. Essa resposta positiva do NDVI indica que a proteção conferida pela película de cálcio contribui para a conservação da funcionalidade fotossintética dos tecidos externos do fruto, fator essencial para a manutenção da qualidade pós-colheita.

A Figura 4 evidencia que a incidência de escaldadura nos frutos de melancia apresentou comportamento quadrático decrescente, com redução progressiva da severidade do dano à medida que se aumentaram as doses de nanopartículas de carbonato de cálcio, atingindo os menores níveis entre (360 e 480 mL). O modelo ajustado apresenta coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,92$), indicando forte relação entre a aplicação do protetor e a mitigação do estresse térmico sobre os frutos.

A escaldadura ou queimadura solar é causada por exposição excessiva à radiação solar e pelo acúmulo de calor na epiderme, resultando em necroses, descoloração e perda de valor comercial do fruto. A aplicação de partículas minerais à base de carbonato de cálcio forma uma película reflexiva que atua como escudo térmico, reduzindo a temperatura da superfície do fruto e os danos por radiação direta. Os dados são corroborados por Melo et al. (2024), que demonstraram redução da escaldadura e maior estabilidade metabólica no feijoeiro tratado com Surround® WP, incluindo menor degradação de pigmentos sob condições de elevada radiação solar.

Em uvas Cabernet Sauvignon, Li et al. (2023) mostraram que a aplicação de filmes de caulim proporcionou proteção térmica efetiva às bagas, reduzindo queimaduras solares e contribuindo para a manutenção do equilíbrio hídrico e térmico da planta em regiões áridas da China.

Da mesma forma, em videiras da cultivar Assyrtiko, Xyrafis et al. (2024) constataram que a aplicação de carbonato de cálcio reduziu significativamente a incidência de danos solares, melhorando a uniformidade da casca e a composição qualitativa das bagas.

A eficácia do protetor solar mineral também foi evidenciada em romãzeiras, cultivar Kandhari. Segundo Sharma et al. (2018), a aplicação pré-colheita reduziu significativamente a incidência de escaldadura em frutos de romã em 47%, e o grau de dano causado pela escaldadura foi reduzido em, aproximadamente, 81% quando comparado ao controle. Esses dados demonstram o potencial do filme de partículas

à base de caulim em diminuir os efeitos do estresse térmico e solar, promovendo frutos com melhor aparência, coloração e qualidade pós-colheita.

A temperatura nos frutos revela uma nítida tendência quadrática decrescente da temperatura superficial dos frutos de melancia em função do aumento das doses de protetor solar à base de nanopartículas de carbonato de cálcio. Observou-se uma redução de até 6 °C, com temperaturas superiores a 50 °C na testemunha (sem aplicação), caindo para menos de 45 °C nas doses mais elevadas. O elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$) reforça a robustez da relação entre a aplicação do protetor e a mitigação do estresse térmico.

Essa resposta é relevante, pois a temperatura crítica para a ocorrência de escaldadura em frutos de melancia geralmente varia entre 35 °C e 40 °C, dessa forma, as temperaturas elevadas registradas durante o experimento, especialmente acima de 35 °C, podem ter imposto estresse térmico às plantas, afetando processos fisiológicos e, conseqüentemente, refletindo sobre a qualidade dos frutos. A formação de uma película reflexiva opaca sobre os tecidos externos do fruto atua como barreira à radiação solar direta, reduzindo o acúmulo de calor e prevenindo danos celulares, como necroses e perda de qualidade visual e fisiológica.

Estudos com outras frutíferas confirmam os benefícios do uso de partículas minerais no controle térmico e na preservação da qualidade dos frutos. Hamdy et al. (2022), ao avaliarem mangueiras da cultivar 'Keitt', demonstraram que a aplicação foliar de caulim nas concentrações de 2% a 6% promoveu redução significativa da temperatura dos tecidos foliares e dos frutos, além de incremento da área foliar, maior volume de copa e melhor qualidade dos frutos colhidos. Os autores atribuem esses efeitos à ação da película de caulim como barreira física à radiação solar, capaz de atenuar o estresse térmico em períodos críticos do verão e de reduzir a escaldadura dos frutos, favorecendo a fotossíntese e o metabolismo vegetal.

De forma semelhante, Li et al. (2023) reportaram que o uso de filme de partículas de caulim em videiras Cabernet Sauvignon resultou em reduções térmicas expressivas nas bagas, menor desidratação e melhor preservação da qualidade pós-colheita, sobretudo, em regiões de clima quente e seco.

Complementando esses achados, Sharma et al. (2018) investigaram o uso de Surround® WP (baseado em caulim) em romã 'Kandhari' e constataram redução de até 47% na incidência de escaldadura e diminuição de 81% no grau de dano causado pela queimadura solar, em comparação ao controle. Os frutos tratados

apresentaram ainda maior firmeza, maior conteúdo de antocianinas e coloração mais intensa, indicando que a barreira refletora também contribui para a manutenção das propriedades bioquímicas e sensoriais dos frutos durante e após a exposição ao estresse térmico.

Observa-se na Figura 5 que os índices de clorofila A nos frutos de melancia respondeu de forma quadrática ao aumento das doses de nanopartículas de carbonato de cálcio, com valores máximos entre (360 e 450 mL) e leve decréscimo nas doses superiores. Já os índices de clorofila B apresentaram uma tendência linear crescente, com aumento proporcional à dose aplicada. Os coeficientes de determinação ($R^2 = 0,88$ e $R^2 = 0,75$, respectivamente) evidenciam a consistência das respostas fisiológicas à aplicação do protetor solar.

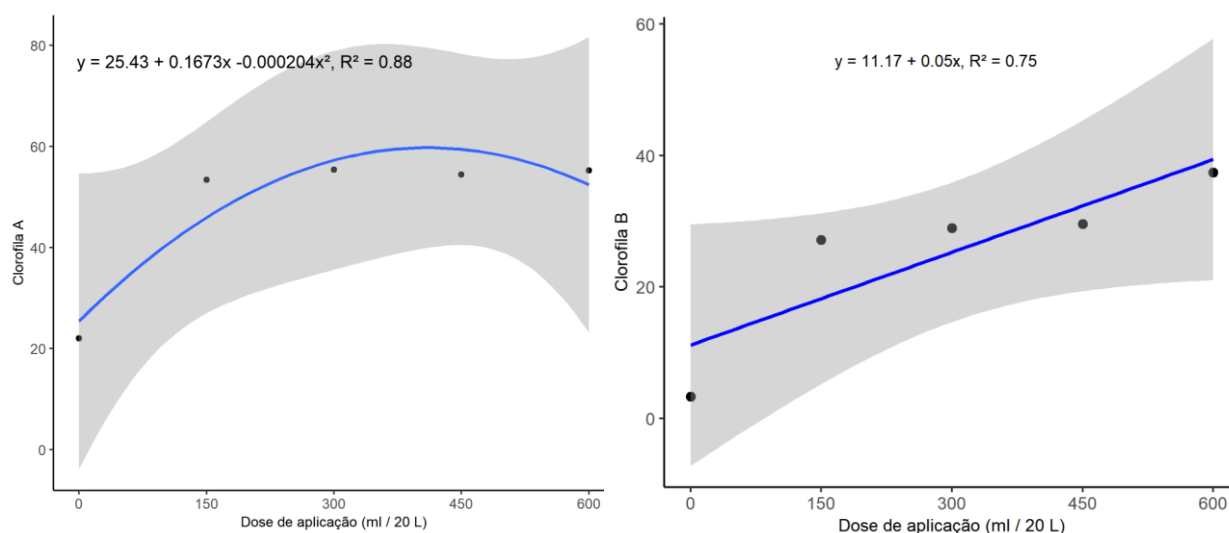


Figura 5 – Parâmetros avaliados nos frutos da melancia no aparelho Multiplex®: índice de clorofila absorvida na luz verde (SFR_G), índice de clorofila absorvida na luz vermelha (SFR_R), na melancia em função de diferentes dosagens de nano particulado de carbonato de cálcio.

Fonte: Elaboração do autor

A clorofila A atua diretamente na captação de fótons nos centros de reação fotossintética, enquanto a clorofila B amplia o espectro de absorção luminosa ao funcionar como pigmento acessório, transferindo energia para a clorofila A. A preservação e o incremento desses pigmentos nos tecidos externos dos frutos tratados indicam uma eficaz proteção contra a radiação solar e o estresse térmico, favorecendo o funcionamento dos cloroplastos e retardando a degradação oxidativa das estruturas fotossintéticas (Taiz, Zeiger, 2017).

Esses resultados são consistentes com os achados de Hamdy et al. (2022), que relataram aumento significativo dos índices de clorofila A ($1,036 \text{ mg g}^{-1}$) e B ($0,577 \text{ mg g}^{-1}$) em folhas de mangueiras 'Keitt' pulverizadas com caulim a 6%. O aumento dos pigmentos foi associado à reflexão da radiação solar excessiva, à redução da temperatura foliar e à consequente intensificação da fotossíntese. Os autores ainda destacaram que o aumento da área foliar e do volume da copa também contribuiu para a proteção dos tecidos e maior eficiência fisiológica.

Em videiras da cultivar 'Assyrtiko', Xyrafis et al. (2024) também observaram aumento nos índices de clorofila A e B após aplicação foliar de carbonato de cálcio, refletindo em melhor desempenho fotossintético e menor estresse oxidativo. A manutenção desses pigmentos promoveu maior acúmulo de açúcares nas bagas e menor incidência de queimaduras solares, efeito semelhante ao observado nos frutos de melancia neste estudo.

Os índices fisiológicos avaliados na casca da melancia com o aparelho Multiplex®, conforme Figura 6, demonstraram respostas significativas às doses crescentes do protetor solar aplicado. Os índices de fluorescência SFR_G e SFR_R, relacionados à clorofila absorvida na luz verde e vermelha, respectivamente, apresentaram comportamento quadrático crescente até doses intermediárias (300 a 450 mL), seguidos de estabilização ou leve queda nas doses mais elevadas. Esse padrão sugere que o protetor solar contribuiu para a preservação da clorofila na casca dos frutos ao reduzir a incidência de radiação UV e o estresse térmico direto sobre os tecidos, conforme descrito por Allakhverdiev et al. (2008), que destacam a degradação da clorofila como um dos principais efeitos do calor excessivo sobre o aparato fotossintético.

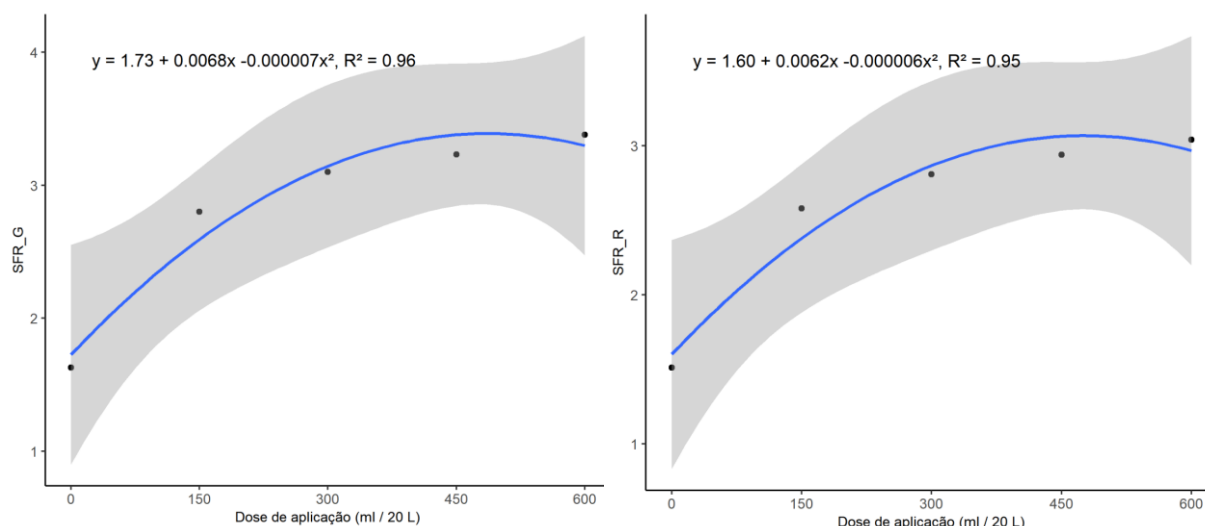


Figura 6 - Parâmetros avaliados na casca da melancia no aparelho Multiplex®: índice de clorofila absorvida na luz verde (SFR_G), índice de clorofila absorvida na luz vermelha (SFR_R), na melancia em função de diferentes dosagens de nano particulado de carbonato de cálcio.

Fonte: Elaboração do autor

Observa-se na Figura 7 que os valores de ANTH_RG (antocianina absorvida na faixa vermelho-verde) e ANTH_RB (vermelho-azul) aumentam progressivamente até as doses intermediárias de protetor solar (300 a 450 mL), seguidas de estabilização ou leve decréscimo nas doses mais elevadas. Esse padrão sugere um efeito positivo do protetor solar no acúmulo de antocianinas epidérmicas, pigmentos que exercem importante papel na fotoproteção das plantas, atuando na absorção seletiva da radiação UV e na mitigação dos danos oxidativos causados pelo excesso de luz e calor.

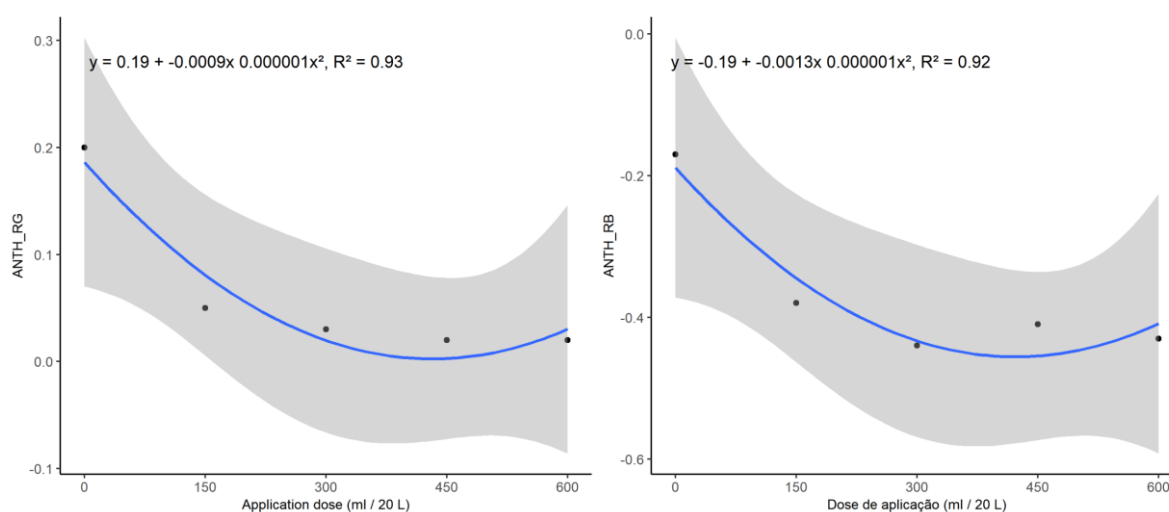


Figura 7 - Parâmetros avaliados na casca da melancia no aparelho Multiplex®: índice de antocianina no comprimento de onda vermelho-verde (ANTH_RG), antocianina no comprimento de onda vermelho-azul (ANTH_RB) na melancia em função de diferentes dosagens de nano particulado de carbonato de cálcio.

Fonte: Elaboração do autor

Sharma et al. (2018), em estudo com romã 'Kandhari', demonstraram que a aplicação de filme à base de caulim aumentou em 17,4% os índices de antocianinas nos frutos, além de melhorar a coloração e o apelo visual do produto. Isso foi atribuído à atenuação da radiação solar e da temperatura da epiderme, criando condições fisiológicas favoráveis para o acúmulo desses metabólitos secundários.

Resultados semelhantes foram obtidos por Wang et al. (2020) em uvas 'Meili' (*Vitis vinifera*), onde o uso de filmes de partículas de caulim promoveu aumento significativo de antocianinas monoméricas nas cascas, com destaque para a elevação dos derivados de delfinidina, que são altamente sensíveis à radiação. Esse acúmulo foi associado à ativação de vias metabólicas de biossíntese de flavonoides sob condições de proteção térmica e luminosa. Além disso, D'Aquino et al. (2021) reportaram que a aplicação de partículas de caulim retardou a degradação de compostos fenólicos e aumentou a capacidade antioxidante de frutos de palma (*Opuntia ficus-indica*), demonstrando que o uso de protetores minerais favorece a manutenção dos atributos bioquímicos durante a exposição ao sol e o armazenamento.

Em espécies florestais como a aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*), Sales et al. (2018) também observaram, por meio de medições com o aparelho Multiplex, que substratos ricos em matéria orgânica promoveram aumento dos índices de antocianina, reforçando a importância da nutrição e das condições ambientais no acúmulo desses compostos. A resposta observada nas melancias é, portanto, coerente com os dados da literatura para outras espécies.

4 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de nanoparticulado de carbonato de cálcio demonstrou eficácia na mitigação do estresse térmico em melancia (*Citrullus lanatus*), resultando em ganhos significativos de produtividade e qualidade dos frutos. A dose de 414 mL em 20 L, foi identificada como a mais eficiente, promovendo incremento no peso e nos índices de sólidos solúveis totais, redução expressiva da escaldadura e da temperatura superficial dos frutos, além de favorecer a manutenção de pigmentos fotossintéticos e compostos fenólicos.

REFERÊNCIAS

- Allakhverdiev, S. I., Kreslavski, V. D., Klimov, V. V., Los, D. A., Carpentier, R., Mohanty, P. (2008) Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research*, 98:541–550. DOI <https://doi.org/10.1007/s11120-008-9331-0>.
- Bleinroth, E. W. (1994) Determinação do ponto de colheita. In: Netto, A. G. (ed.). *Melão para exportação: Procedimentos de colheita e pós-colheita*. Brasília: MAARA/FRUPEX, p. 11–21. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184318/1/Melao-colheita-e-pos-colheita.pdf>.
- Busato, C. C. M., Soares, A. A., Sedyama, G. C., Motoike, S. Y., Reis, E. F. (2011) Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira ‘Niágara Rosada’. *Ciência Rural*, 41(7):1183–1188. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000085>.
- Cao, X., Wang, Y., Wang, Z. L. (2023) Effects of kaolin particle film coatings on the water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape plants in the Ningxia region of China. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 64:421–435. DOI <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00498-4>.
- Chomicki, G., Schaefer, H., Renner, S. S. (2020) Origin and domestication of Cucurbitaceae crops: Insights from phylogenies, genomics and archaeology. *New Phytologist*, 226(5):1240–1255. DOI <https://doi.org/10.1111/nph.16015>.
- D’Aquino, S., Palma, A., Chessa, I., Satta, D., De Pau, L., Inglese, P., Ochoa, J. M., Glenn, D. M. (2021) Effect of surround WP (a Kaolin-based particle film) on *Ceratitidis capitata* infestation, quality and postharvest behavior of cactus pear fruit cv Gialla. *Scientia Horticulturae*, 289:110484. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110484>.
- Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., Domingues, D. S. (2022) Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review. *Stresses*, 2:113–135. DOI <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>.
- Dinis, L.-T., Frioni, T., Bernardo, S., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. (2022) Processed kaolin particles film, an environment friendly and climate change

mitigation strategy tool for Mediterranean vineyards. In: Costa, J. M., Catarino, S., Escalona, J. M., Comuzzo, P. (eds.). *Improving Sustainable Viticulture and Winemaking Practices*. Academic Press, p. 165–185. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85150-3.00023-2>.

Embrapa. (2013) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: fev. 2025.

FAO. (2023) *Faostat: Production of melons, including watermelons*. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: jun. 2025.

Glenn, D. M., Puterka, G. J. (2005) Particle films: a new technology for agriculture. *Horticultural Reviews*, 31:1–44. DOI <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>.

Hamdy, A. E., Abdel-Aziz, H. F., El-khamissi, H., AlJwaizea, N. I., El-Yazied, A. A., Selim, S., Tawfik, M. M., AlHarbi, K., Ali, M. S. M., Elkelish, A. (2022) Kaolin improves photosynthetic pigments, antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: Field study. *Agronomy*, 12:1535-1. DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy12071535>.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., Fujita, M. (2013) Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14:9643-1. DOI <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>.

IBGE. (2020) *Produção agrícola municipal*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: jan. 2025.

Khalid, M. F., Iqbal Khan, R., Jawaid, M. Z., Shafqat, W., Hussain, S., Ahmed, T., Rizwan, M., Ercisli, S., Pop, O. L., Alina Marc, R. (2022) Nanoparticles: The Plant Saviour under Abiotic Stresses. *Nanomaterials*, 12:3915-1. DOI <https://doi.org/10.3390/nano12213915>.

Khavari, M., Fatahi, R., Zamani, Z. (2021) Salicylic acid and kaolin effects on pomological, physiological, and phytochemical characters of hazelnut (*Corylus avellana*) at warm summer condition. *Scientific Reports*, 11:4568. DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83790-0>.

Melo, L. A. de, Oliveira, L. R., Ragazzo, L. G. B., Lopes, M. H. de M., Nunes, S. B., de Melo, A., Teixeira, N. T. (2024) Uso do produto Surround® WP na escaldadura, crescimento vegetativo e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Faculdades do Saber*, 9(20):1–15. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/253/187>.

Oliveira, A. P., Dinis, L.-T. R., Barbosa, N. T. B., de Mattos, E. C., Fontes, P. T. N., Carnelossi, M. A. G., Fagundes, J. L., da Silva, E. C., de Oliveira Júnior, L. F. G. (2021) Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33:29–41. DOI <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>.

Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., Davis, A. R., Roberts, W. (2006) Carotenoid content of 50 watermelon cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:2593–2597. DOI <https://doi.org/10.1021/jf052066p>.

Prezotti, L. C., Gomes, J. A., Dadalto, G. G., Oliveira, J. A. (2007) Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA, INCAPER, CEDAGRO, 301 p. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3242>.

Rodrigues, A. M. (2022) Avaliação de diferentes estratégias de prevenção do escaldão em maçã ‘Gala’: efeitos agrônômicos, fisiológicos e moleculares. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), Alcobaca. Disponível em: https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/24994/1/RODRIGUES-ANA-Dissertacao%20Margarida%20Rodrigues%202022_Final_compressed.pdf. Acesso em: dez. 2024.

Rushing, J. W., Keinath, A. P., Cook, W. P. (1999) Postharvest development and transmission of watermelon fruit blotch. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdf-watermark/v1/journals/horttech/9/2/article-p217.pdf/watermark-pdf/>. Acesso em: out. 2024.

Sales, R. A., Argolo dos Santos, R., Zancanella Quartezi, W., da Silva Berilli, S., Chaves de Oliveira, E. (2018) Influência de diferentes fontes de matéria orgânica em componentes fisiológicos de folhas da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi

(Anacardiaceae). *Scientia Agraria*, 19:132–141. DOI <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i1.51511>.

Santos, V. P., Coelho Filho, M. A. (2024) Effects of sunscreen protection and water management on the physiology and production of ‘Pera’ sweet orange orchards in sub-humid climate. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 46:e-612. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-29452024612>.

Schrader, L. E., Zhang, J., Sun, J. (2003) Environmental stresses that cause sunburn of apple. *Acta Horticulturae*, 618:397–405. DOI <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.618.47>.

Sharma, R. R., Datta, S. C., Varghese, E. (2018) Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of ‘Kandhari’ pomegranates. *Crop Protection*, 114:18–22. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.009>.

Sharma, R. R., Reddy, S. V. R., Datta, S. C. (2015) Particle films and their applications in horticultural crops. *Applied Clay Science*, 116–117:54–68. DOI <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.

Taiz, L., Zeiger, E. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. Disponível em: <https://archive.org/details/taiz-zeiger-fisiologia-vegetal-6a-ed/page/8/mode/2up>. Acesso em: jan. 2025.

Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y., He, Y. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: a review. *Sensors*, 15:11889–11927, 2015. <https://doi.org/10.3390/s150511889>

Wang, Y., Xue, T., Han, X., Guan, L., Zhang, L., Wang, H., Li, H. (2020) Kaolin particle film affects grapevine berry quality in cv. Meili in humid climate conditions. *HortScience*, 55:1987–2000. DOI <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15364-20>.

Xyrafis, E. G., Biniari, K., Stavrakaki, M. (2024) Particle film treatments on ‘Assyrtiko’ grapevines enhance physiology and grape attributes in Santorini Island. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52:13425-1. DOI <https://doi.org/10.15835/nbha52313425>.

4 CONCLUSÕES

O artigo 1, “Sunscreens on watermelon productivity and quality under heat stress conditions in northwest espírito santo”, apresentado nesta tese, apresentou conclusões de que os protetores solares melhoraram a qualidade dos frutos de melancia sob estresse térmico ao reduzir a temperatura dos frutos e a queima solar, especialmente com o tratamento à base de papel. Eles aumentaram a doçura dos frutos e mantiveram altos níveis de clorofila e índice de vegetação. A menor produção de antioxidantes indicou uma redução do estresse oxidativo. O equilíbrio nutricional foi otimizado nas plantas tratadas com protetores solares. Portanto, os protetores solares são uma estratégia eficaz para o cultivo sob alta radiação solar, e ajustes no manejo podem potencializar ainda mais seus benefícios.

O artigo 2, “Mitigação do estresse térmico em melancia por meio da aplicação de protetor solar em diferentes dosagens”, apresentado nesta tese, concluiu que em aplicação foliar de nanoparticulado de carbonato de cálcio demonstrou eficácia na mitigação do estresse térmico em melancia (*Citrullus lanatus*), resultando em ganhos significativos de produtividade e qualidade dos frutos. A dose de 414 mL em 20 L, foi identificada como a mais eficiente, promovendo incremento no peso e nos índices de sólidos solúveis totais, redução expressiva da escaldadura e da temperatura superficial dos frutos, além de favorecer a manutenção de pigmentos fotossintéticos e compostos fenólicos.

Entretanto, os resultados dessa pesquisa mostraram que os protetores solares demonstraram eficácia na atenuação dos efeitos deletérios do estresse térmico em melancia (*Citrullus lanatus*).

Os tratamentos propiciaram uma redução significativa da temperatura superficial e da incidência de escaldadura nos frutos.

Houve, também, um incremento nos parâmetros de qualidade, como o teor de sólidos solúveis totais, aliado à manutenção dos teores de pigmentos fotossintéticos.

Portanto, diante de todo o exposto, concluiu-se que os protetores solares representam alternativas viáveis para a sustentabilidade da cultura sob condições de elevada radiação solar, assegurando ganhos de produtividade e qualidade comercial dos frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, M. M. S., El-Bassiouny, H. M. S., Abouseeda, M. A. (2019) Potential role of kaolin or potassium sulfate as anti-transpirant on improving physiological, biochemical aspects and yield of wheat plants under different watering regimes. *Bulletin of the National Research Centre*, 43:1–12. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0177-8>.
- Ahmed, A. Y. M. (2014) Impact of spraying some antitranspirants on fruiting of Williams bananas grown under Aswan region conditions. *Stem Cell*, 5(4):34–39.
- Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Silva, L. R. I., Pereira, T. S., Silva, V. M. A., Eduardo, R. S., Barros, E. R., Muniz, C. E. S., Nunes, J. S., Ribeiro, V. H. A. (2020) Influence of time and temperature of ultrasound on anthocyanin content and instrumental color of jambolan pulp (*Syzygium jambolanum*). *Research, Society and Development*, 9(7):e402974026. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4026>.
- Alves, F. M., Ferreira, M. G., Nick, C. A cultura. In: Nick, C., Borém, A. (2019) (eds.). *Melancia: do plantio à colheita*. Viçosa: Ed. UFV, 1(1):9–18.
- Allakhverdiev, S. I., Kreslavski, V. D., Klimov, V. V., Los, D. A., Carpentier, R., Mohanty, P. (2008) Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research*, 98:541–550. <https://doi.org/10.1007/s11120-008-9331-0>.
- Aly, M., El-Megeed, N. A., Awad, R. M. (2010) Reflective particle films affect on sunburn, yield, mineral composition and fruit maturity of ‘Anna’ apple (*Malus domestica*) trees. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(1):84–92. Disponível em: <https://www.aensiweb.net/AENSIWEB/rjabs/rjabs/2010/84-92.pdf>. Acesso em: jan. 2025.
- Araújo, A. L. F., Britto, D. de. (2021) Rapid protocol to evaluate the photoprotective effect of film-forming formulations on mangoes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43:e-118,. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021118>.
- Bernardo, S., Dinis, L.-T., Luzio, A., Pinto, G., Meijón, M., Valledor, L., Conde, A., Gerós, H., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. (2017) Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.).

Environmental and Experimental Botany, 139:39–47.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.002>.

Bleinroth, E. W. (1994) Determinação do ponto de colheita. In: Netto, A. G. (ed.). Melão para exportação: Procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: MAARA/FRUPEX, p. 11–21. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184318/1/Melao-colheita-e-pos-colheita.pdf>.

Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I., Cantore, V. (2014) Kaolin influences tomato plant response to salinity: physiological aspects. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science, 64:559–571.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2014.930509>.

Brandão Filho, J. U. (2020) A cultura da melancia. Brasília, DF: Embrapa, 111 p. (Sistema de Produção, 30). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1112064/a-cultura-da-melancia>. Acesso em: 19 maio 2024.

Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. (2019) Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. Scientia Horticulturae, 250:310–316. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>.

Busato, C. C. M., Soares, A. A., Sediya, G. C., Motoike, S. Y., Reis, E. F. (2011) Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira ‘Niágara Rosada’. Ciência Rural, 41(7):1183–1188. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000085>.

Cao, X., Wang, Y., Wang, Z.-L., Tian, X.-L., Han, X., Wu, D., Yao, F., Hui, M., Li, H., Wang, H. (2023) Effects of kaolin particle film coatings on the water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape plants in the Ningxia region of China. Horticulture, Environment and Biotechnology, 64:421–435. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00498-4>.

Cantore, V., Pace, B., Albrizio, R. (2009) Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. Environmental and Experimental Botany, 66:279–288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.008>.

Celovane, N. S., Zampierollo, J. B., Santos, C. C., Santos, L. C., Silva, D. M. (2018) Photochemical activity in *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem. seedlings submitted to

water deficit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:409–415. <https://doi.org/10.17221/71/2018-JFS>.

Chogou, S. K., Assogba, R., Degbey, H., Abokini, E., Achigan-Dako, E. G. (2019) Market structure and performance of watermelon (*Citrullus lanatus*) in Benin. *Scientific African*, 3:e00048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00048>.

Chomicki, G., Schaefer, H., Renner, S. S. (2020) Origin and domestication of Cucurbitaceae crops: Insights from phylogenies, genomics and archaeology. *New Phytologist*, 226(5):1240–1255. DOI <https://doi.org/10.1111/nph.16015>.

Colavita, G. M., Blackhall, V., Valdez, S. (2011) Effect of kaolin particle films on the temperature and solar injury of pear fruits. *Acta Horticulturae*, 909:609–616. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.73>.

Cobra, M. M., Santos, P. L. F., Almeida, A. C., Souza, L. C., Ferreira, M. F. S. (2020) Photoprotector in arabica coffee seedlings. *Revista Ciência Agrícola*, 18(2):1–6. DOI <https://doi.org/10.28998/rca.v18i2.7267>

Conde, A., Neves, A., Breia, R., Pimentel, D., Dinis, L., Bernardo, S., Correia, C. M., Cunha, A., Geros, H., Moutinho-Pereira, J. (2018) Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of Plant Physiology*, 223:47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.02.004>.

Correa, E. (2019) Improving Watermelon Productivity and Anthracnose Resistance in South Texas. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX, USA.

Cruz, R. F. D. da. (2006) Induction and recovery from water stress in Portuguese maize varieties. Master's Dissertation, University of Minho, Portugal.

D'Aquino, S., Palma, A., Chessa, I., Satta, D., De Pau, L., Inglese, P., Ochoa, J. M., Glenn, D. M. (2021) Effect of surround WP (a Kaolin-based particle film) on *Ceratitis capitata* infestation, quality and postharvest behavior of cactus pear fruit cv Gialla. *Scientia Horticulturae*, 289:110484. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110484>.

Dinis, L. T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. (2016a) Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer

stress. *Journal of Plant Physiology*, 191:45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>.

Dinis, L. T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C. M., Moutinho-Pereira, J. (2016b) Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica*, 54:47–55. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.

Dinis, L.-T., Frioni, T., Bernardo, S., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. (2022) Processed kaolin particles film, an environment friendly and climate change mitigation strategy tool for Mediterranean vineyards. In: Costa, J. M., Catarino, S., Escalona, J. M., Comuzzo, P. (eds.). *Improving Sustainable Viticulture and Winemaking Practices*. Academic Press, p. 165–185. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85150-3.00023-2>.

Dinis, L. T., Malheiro, R., Ferreira, H., Correia, C., Moutinho-Pereira, J. (2017) Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. *Photosynthetica*, 55(2):641–651. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>

Domingues Neto, F. J., Carneiro, D. C. da S., Silva, M. da S., Tecchio, M. A., Leonel, S., Pimentel Junior, A., Ono, E. O., Rodrigues, J. D. (2024) Sun Protection as a Strategy for Managing Heat Stress in Avocado Trees. *Plants*, 13(20):2854. <https://doi.org/10.3390/plants13202854>

Dos Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., Domingues, D. S. (2022) Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review. *Stresses*, 2:113–135. DOI <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>.

Embrapa. (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: fev. 2025.

Erhirhie, E. O., Ekene, N. E. (2013) Medicinal values on *Citrullus lanatus* (watermelon): pharmacological review. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 4(4):1305–1312. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Erhirhie-Earnest/publication/282624536_Toxicity_Evaluation_of_a_Commercial_Herbal_Prep

aration_Commonly_Used_in_Nigeria/links/567bef8808ae19758382f14b/Toxicity-Evaluation-of-a-Commercial-Herbal-Preparation-Commonly-Used-in-Nigeria.pdf. Acesso em: dez. 2024.

FAO. (2023) Faostat: Production of melons, including watermelons. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: jun. 2025.

Felicetti, D. A., Schrader, L. E. (2009) Changes in pigment concentrations associated with sunburn browning of five apple cultivars. I. Chlorophylls and carotenoids. *Plant Science*, 176(1):84–89. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.013>

Ferrari, G. N., Suguino, E., Martins, A. N., Compagnol, R., Furlaneto, F. P. B., Minami, K. (2013) *A cultura da melancia*. Piracicaba: ESALQ.

Filgueira, F. A. R. (2008) *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa, MG: UFV. 421 p.

Gindaba, J., Wand, S. J. E. (2005) Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortScience*, 40(3):593–598. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.593>

Glenn, D. M., Puterka, G. J. (2005) Particle films: a new technology for agriculture. *Horticultural Reviews*, 31:1–44. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>

Glenn, D.M. (2010) Canopy gas exchange and water use efficiency of Empire apple in response to particle film, irrigation, and microclimatic factors. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 135, 25–32. DOI: [10.21273/JASHS.135.1.25](https://doi.org/10.21273/JASHS.135.1.25)

Glenn, D. M. (2016) Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple productivity and quality. *Scientia Horticulturae*, 201:101–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.035>

Gomes, L. S., Martins, C. A. S., Nogueira, N. O., Lopes, F. S., Xavier, T. M. T., Cardoso, L. C. M. (2011) Efeito de diferentes valores de pH da solução nutritiva no desenvolvimento de variedades de melão. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(1):73–78. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a922>

Gomes, P. (2012) *Fruticultura brasileira*. 13. ed. São Paulo: Nobel. 446 p.

Gururani, M. A., Venkatesh, J., Tran, L. S. P. (2015) Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. *Molecular Plant*, 8:1304–1320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.05.005>

Hamdy, A. E., Abdel-Aziz, H. F., El-Khamissi, H., AlJwaizea, N. I., El-Yazied, A. A., Selim, S., Tawfik, M. M., AlHarbi, K., Ali, M. S. M., Elkelish, A. (2022) Kaolin improves photosynthetic pigments, antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: Field study. *Agronomy*, 12:1535-1. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071535>

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., Fujita, M. (2013) Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5):9643–9684. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press. p.135–189.

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de melancia. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/melancia/br>. Acesso em: 24 mar. 2023.

IBGE. Produção agrícola municipal. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: jan. 2025.

IBGE. (2020) Produção agrícola municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: jan. 2025.

IBGE (2022) Brazilian Institute of Geography and Statistics. Agricultural production: temporary crops. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10340>. Acesso em: mai. 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2023) Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasília: INMET. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: Ago. 2025.

IPCC. (2023) Summary for Policymakers. In: *Climate Change Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. p.1–34. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Junqueira, A. M. R., Almeida, I. L. (2010) A participação da agricultura familiar na produção de hortaliças e o mercado dos orgânicos. *Revista Cultivar*. Acesso em: 7 jan. 2025.

Jifon, J. L., Syvertsen, J. P. (2003) Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128:107–112. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.1.0107>

Karaat, F. E., Denizhan, H. (2022) The effects of different particle film applications on almond trees. *Ciência Rural*, 53:e20210757. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210757>

Khavari, M., Fatahi, R., Zamani, Z. (2021) Salicylic acid and kaolin effects on pomological, physiological, and phytochemical characters of hazelnut (*Corylus avellana*) at warm summer condition. *Scientific Reports*, 11:4568. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83790-0>

Khalid, M. F., Iqbal Khan, R., Jawaid, M. Z., Shafqat, W., Hussain, S., Ahmed, T., Rizwan, M., Ercisli, S., Pop, O. L., Alina Marc, R. (2022) Nanoparticles: The Plant Saviour under Abiotic Stresses. *Nanomaterials*, 12:3915-1. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano12213915>

Le Grange, M., Wand, S. J. E., Theron, K. I. (2004) Effect of kaolin applications on apple fruit quality and gas exchange of apple leaves. *Acta Horticulturae*, 636:545–550,. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.69>

Li, C., Tao, J., Zhao, D., You, C., Ge, J. (2012) Effect of calcium sprays on mechanical strength and cell wall fractions of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *International Journal of Molecular Sciences*, 13:4704–4713. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms13044704>

Li Hua, Xiao Cao, Ying Wang, Zhi-Lei Wang, Xue-Lin Tian, Xing Han, Dong Wu, Fei Yao, Miao Hui, (2023) Hua Wang. Effects of kaolin particle film coatings on the water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape

plants in the Ningxia region of China. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 64:421–435,. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00498-4>.

Lipton, W. J., Matoba, F. (1971) Whitewashing to prevent sunburn of ‘Crenshaw’ melons. *HortScience*, 6(4):343–345. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.6.4.343b>

Louw, J. P., Korsten, L. (2014) Pathogenic *Penicillium* spp. on apple and pear. *Plant Disease*, 98(5):590–598. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0710-RE>

Madani, B., Mirshekari, A., Yahia, E. (2016) Effect of calcium chloride treatments on calcium content, anthracnose severity and antioxidant activity in papaya fruit during ambient storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9):2963–2968,. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7462>

Magalhães, D. S., Souza, D. C. (2020) Watermelon: the third most produced fruit in the country. *Campo & Negócios*, p.1–3. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/melancia-a-terceira-fruta-mais-producida-no-pais>. Acesso em: 23 jul. 2024.

Makky, M., Soni, P. (2014) In situ quality assessment of intact oil palm fresh fruit bunches using rapid portable non-contact and non-destructive approach. *Journal of Food Engineering*, 120:248–259,. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.011>

Marouelli, W. A., Braga, M. B., Andrade Júnior, A. S. (2012) Irrigação na cultura da melancia. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. (Circular Técnica, 108).

Martins, R. N., de Carvalho Pinto, F., Marçal de Queiroz, D., Magalhães Valente, D. S., Fim Rosas, J. T. (2021) A novel vegetation index for coffee ripeness monitoring using aerial imagery. *Remote Sensing*, 13(2):e263. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13020263>

Mascarenhas, M. H. T., Oliveira, V. R., Simões, J. C., Resende, L. M. A. (2007) Melancia (*Citrullus lanatus* Schrad.). In: Paula Júnior, T. J., Venzon, M. (coords.). 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG.

Medeiros, R. D., Alves, A. B. (2016) Informações técnicas para o cultivo de melancia em Roraima. 1. ed. Boa Vista: Embrapa Roraima. 42 p.

Melgarejo, P., Artés, F., Artés-Hernández, F. (2004) Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae*, 100:349–354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.09.006>

Melo, L. A. de, Oliveira, L. R., Ragazzo, L. G. B., Lopes, M. H. de M., Nunes, S. B., de Melo, A., Teixeira, N. T. (2024) Uso do produto Surround® WP na escaldadura, crescimento vegetativo e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Faculdades do Saber*, 9(20):1–15. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/253/187>

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria Nº 478, de 23 de dezembro de 2020. Aprovar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da melancia clima quente, cultivo irrigado, no Estado do Espírito Santo.

Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E. (2002) Photostability of pigments in ripening apple fruit: A possible photoprotective role of carotenoids during plant senescence. *Plant Science*, 163(4):881–88. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00241-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00241-8)

Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7:405–410. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)

Molassiotis, A., Job, D., Ziogas, V., Tanou, G. Citrus plants: (2016) a model system for unlocking the secrets of NO and ROS-inspired priming against salinity and drought. *Frontiers in Plant Science*, 7:229. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00229>

Nascimento, I. R., Alves, A. F. Cultivares. In: Nick, C., Borém, A. (eds.). (2019) *Melancia: do plantio à colheita*. Viçosa: Ed. UFV. p.72–84.

Nascimento, I. R., Santos, L. B., Santos, G. R., Erasmo, E. A. L. (2011) Taxonomy and systematics, center of origin and morphology of watermelon. In: Santos, G. R., Zambolim, L. (eds.). *Technologies for the sustainable production of watermelon in Brazil*. Gurupi: Universidade Federal do Tocantins. p.11–14.

Nazeri, M., Tabatabaei, S. J., Mollayi, N. (2023) The effect of talc, kaolin, and zinc oxide on heat stress in pomegranate cv. Malas saveh. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 14(1):4809–4823.

Nogueira, C. C. P. (2008) Fertirrigação em minimelancia (*Citrullus lanatus*) tutorada em ambiente protegido. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – ESALQ/USP, Piracicaba. 74 f.

Oliveira, A. P., Dinis, L.-T. R., Barbosa, N. T. B., de Mattos, E. C., Fontes, P. T. N., Carnelossi, M. A. G., Fagundes, J. L., da Silva, E. C., de Oliveira Júnior, L. F. G. (2021) Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33:29–41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>

Oliveira, W., Matias, S., Silva, R., Silva, R., Alixandre, T., Nóbrega, J. (2013) Growth and production of Crimson Sweet watermelon with mineral and organic fertilization. *Green Journal of Agroecology and Sustainable Development*, 8(2):77–82.

Oliveira, Z. V. S. R., Mesquita, A. C., Simões, W. L., Salviano, A. T. R., Silva, J. S., Felix, A. T. R. (2022) Trocas gasosas e análises bioquímicas em variedades de melancia sob cultivo orgânico no semiárido nordestino. *Scientia Plena*, 18:e090202-1. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.090202>

Oliveira, A. P., Dinis, L.-T. R., Barbosa, N. T. B., de Mattos, E. C., Fontes, P. T. N., Carnelossi, M. A. G., Fagundes, J. L., da Silva, E. C., de Oliveira Júnior, L. F. G. (2021) Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33:29–41. DOI <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>.

Pantoja, P., Ziviani, G., Brito, T., Ziviani, G. G. C., Brito, T. T. (2024) Atlas climatológico do Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper. DOI: 10.54682/livro.9788589274432

Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., Aurangabadkar, L. P. (2007) Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports*, 1:37–48,. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11816-006-0004-1>

Paris, H. S., Daunay, M. C., Janick, J. (2013) Medieval iconography of watermelons in Mediterranean Europe. *Annals of Botany*, 112(5):867–879. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mct151>

Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., Davis, A. R., Roberts, W. (2006) Carotenoid content of 50 watermelon cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:2593–2597,. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf052066p>

Poovaiah, B. W. (1986). Role of calcium in plant development. En A. K. M. a. B. W. Poovaiah (Ed.), *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19:15-27. DOI: 10.21273/HORTSCI.20.3.347

Prezotti, L. C., Gomes, J. A., Dadalto, G. G., Oliveira, J. A. (2007) Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA, INCAPER, CEDAGRO. 301 p. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3242>

Puiatti, M., Silva, D. J. H. (2005) Cultura da melancia. In: Fontes, P. C. R. (ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa, MG: UFV, p. 384–406.

Rodrigues, A. M. Avaliação de diferentes estratégias de prevenção do escaldão em maçã 'Gala': efeitos agrônômicos, fisiológicos e moleculares. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), Alcobaça, 2022. Disponível em: https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/24994/1/RODRIGUES-ANA-Dissertacao%20Margarida%20Rodrigues%202022_Final_compressed.pdf. Acesso em: dez. 2024.

Rodrigues, H. F., Santos, M. R., Cotrim, C. E., Donato, S. L. R. (2024) Irrigação com déficit controlado na cultura da melancia. *Revista Macambira*, 8(1):1–14. DOI <https://doi.org/10.35642/rm.v8i1.1218>

Rodrigues, J. C. A., Reis, L. L., Silva, C. A. (2016) Evaluation of watermelon fruit yield and quality under different topdressing potassium doses. *Revista Agrogeoambiental*, 8(4):11–22. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v8n42016857>

Rushing, J. W., Keinath, A. P., Cook, W. P. Postharvest development and transmission of watermelon fruit blotch, (1999). Disponível em: <https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdf-watermark/v1/journals/horttech/9/2/article-p217.pdf/watermark-pdf/>. Acesso em: out. 2024.

Sales, R. A., Argolo dos Santos, R., Zancanella Quartezanl, W., Da Silva Berilli, S., Chaves de Oliveira, E. (2018) Influência de diferentes fontes de matéria orgânica em componentes fisiológicos de folhas da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). *Scientia Agraria*, 19:132–141. DOI: <https://doi.org/10.5380/ras.v19i1.51511>

Santos, O. N. dos (2023) Diversificação produtiva e agricultura familiar: estudo de caso de uma comunidade na Amazônia Tocantina. *Revista Agroecossistemas*, 15(1):85–103. DOI <https://doi.org/10.18542/ragros.v15i1.13823>

Santos, V. P., Coelho Filho, M. A. (2024) Effects of sunscreen protection and water management on the physiology and production of ‘Pera’ sweet orange orchards in sub-humid climate. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 46:e-612. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452024612>.

Silva, A. R., Ishikawa, F. H., Costa, A. E. da S., Cunha, F. S. da, Galhardo, C. X. (2024) Physicochemical characterization of watermelon accessions from traditional agriculture with resistance to *Fusarium* wilt. *Revista Ceres*, 71:e71004. <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710004>

Silva, L. V., Oliveira, G. Q., Silva, M. G., Nagel, P. L., Machado, M. M. V. (2011) Doses de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de abobrinha no município de Aquidauana-MS. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(3):447–451. DOI <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1127>

Silva, L. F., Santos, R. H. S., Lima, J. S. S., Martins, D. (2019d) Irrigation improves plant vitality in specific stages of mango tree development according to photosynthetic efficiency. *Photosynthetica*, 57(3):820–829. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.091>

Silva, P. S. O. da., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. (2019) Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 165:19-29. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. (2019^a) Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in American grapevine leaves

(*Vitis labrusca* L.). Scientia Horticulturae, 252:77-84.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. (2019b) Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. Scientia Horticulturae, 245:171-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>

Silva, P. S. O., Lima, J. S. S., Santos, R. H. S., Martins, D. (2019c) Calcium carbonate particle films and water regimes affect tomato acclimatization, ecophysiology and reproduction. Environmental and Experimental Botany, 165:19-29. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>

Soela, D. M., da Vitória, E. L., Falqueto, A. R., Ribeiro, L. F. O., Simon, C. A., Sigismondi, L. R., Jegeski, R. F., Pereira, L. D. B. (2023) Photosystem II performance of Coffea canephora seedlings after sunscreen application. Plants, 12:1467-1. DOI <https://doi.org/10.3390/plants12071467>

Song, J., Shellie, K. C., Wang, H., Qian, M. C. (2012) Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.). Food Chemistry, 134:841-850. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>

Schrader, L. E., Zhang, J., Sun, J. (2003) Environmental stresses that cause sunburn of apple. Acta Horticulturae, 618:397–405. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.618.47>.

Sharma, R. R., Datta, S. C., Varghese, E. (2018) Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of ‘Kandhari’ pomegranates. Crop Protection, 114:18–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.009>.

Sharma, R. R., Reddy, S. V. R., Datta, S. C. (2015) Particle films and their applications in horticultural crops. Applied Clay Science, 116–117:54–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.

Schupp, J. R., Fallahi, E., Chun, I. J. (2004) Effect of particle film on fruit sunburn, maturity and quality of ‘Fuji’ and ‘Honeycrisp’ apples. Acta Horticulturae, 636:551–556. DOI <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.70>

Smith, R. J. (2005) The effect of kaolin clay-based particle film applications and canopy manipulations on fruit composition and incidence of cluster damage due to sunburn in 'Cabernet Sauvignon' grapevines. *HortScience*, 40(4):1068. DOI <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.4.1068D>

Taiz, L., Zeiger, E. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. Disponível em: <https://archive.org/details/taiz-zeiger-fisiologia-vegetal-6a-ed/page/8/mode/2up>. Acesso em: jan. 2025.

Tegen, H., Alemayehu, M., Alemayehu, G., Abate, E., Amare, T. (2021) Response of watermelon growth, yield, and quality to plant density and variety in Northwest Ethiopia. *Open Agriculture*, 6:655–672. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0037>

Terán, F., Vives-Peris, V., López-Climent, M. F., Gómez-Cadenas, A., Pérez-Clemente, R. M. (2024) Palliative effects of kaolin on citrus plants under controlled stress conditions of high temperature and high light intensity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43:486–499. DOI <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11103-y>

Tsoulias, N., Saha, K. K., Zude-Sasse, M. (2023) In-situ fruit analysis by means of LiDAR 3D point cloud of normalized difference vegetation index (NDVI). *Computers and Electronics in Agriculture*, 205:107611. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107611>

Viana, C. S., Moura, T. N., Guimarães, M. A. (2013) Descrição e classificação botânica. In: Guimarães, M. A. (ed.). *Produção de melancia*. Viçosa: Ed. UFV, p. 44–51.

Vilela, N. J., Ávila, A. C. de, Vieira, J. V. (2006) *Dinâmica do agronegócio brasileiro da melancia: produção, consumo e comercialização*. Brasília: Embrapa Hortaliças. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/780883>. Acesso em: dez. 2024.

Wan Azman, W. M. F. B., Shahar, A., Azizan, S. A., Rahim, A. A. (2024) Physical and mechanical properties of watermelon rind. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 5:2. <https://doi.org/10.36877/aafrrj.a0000318>

Wand, S. J. E., Theron, K. I., Ackerman, J., Marais, S. J. S. (2006) Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African

orchards. *Scientia Horticulturae*, 107:271–276. DOI
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.11.002>

Wang, Y., Xue, T., Han, X., Guan, L., Zhang, L., Wang, H., LI, H. (2020) Kaolin particle film affects grapevine berry quality in cv. Meili in humid climate conditions. *HortScience*, 55:1987–2000. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15364-20>

Weerakkody, P., Jobling, J. I., María, M. V., Rogers, G. (2010) The effect of maturity, sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. *Scientia Horticulturae*, 124:57–61. DOI
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.003>

Xyrafis, E. G., Biniari, K., Stavrakaki, M. (2024) Particle film treatments on ‘Assyrtiko’ grapevines enhance physiology and grape attributes in Santorini Island. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52:13425-1. DOI:
<https://doi.org/10.15835/nbha52313425>.

Yadav, A., Singh, D., Lingwan, M., Yadukrishnan, P., Masakapalli, S. K., Datta, S. (2020) Light signaling and UV-B-mediated plant growth regulation. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62:1270-1292. <https://doi.org/10.1111/jipb.12932>

Zheng, H. F., Liu, W. D., Liu, W. J., Liu, C. M., Zheng, L. (2017) Morphophysiological characteristics in pumpkin plants under photoprotection with calcium particle film. *Environmental and Experimental Botany*, 138:77-87.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.016>