

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
JOÃO VITOR LEMES NOVAIS

**USO DE PROTETORES SOLARES AGRÍCOLAS NA REDUÇÃO DO *SUNBURN* E
NA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTOS EM POMARES COMERCIAIS: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA**

CERES – GO
2026

JOÃO VITOR LEMES NOVAIS

**USO DE PROTETORES SOLARES AGRÍCOLAS NA REDUÇÃO DO *SUNBURN* E
NA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTOS EM POMARES COMERCIAIS: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

CERES – GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

L552u Lemes Novais, João Vitor
Uso de protetores solares agrícolas na redução do sunburn e na melhoria da qualidade de frutos em pomares comerciais: Uma revisão integrativa / João Vitor Lemes Novais. Ceres 2026.
35f.
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0320021 - Bacharelado em Agronomia - Ceres (Campus Ceres).
1. Estresse térmico. 2. Radiação solar. 3. Carbonato de cálcio. 4. Qualidade de frutos. 5. Manejo integrado. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: <input type="text"/> | |

Nome completo do autor:

João Vitor Lemes Novais

Matrícula:

2019103200240200

Título do trabalho:

USO DE PROTETORES SOLARES AGRÍCOLAS NA REDUÇÃO DO SUNBURN E NA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTOS EM POMARES COMERCIAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 23 /06 /2026

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOAO VITOR LEMES NOVAIS
Data: 22/06/2026 20:37:21 -0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Ceres

Local

23 /06 /2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
LUIS SERGIO RODRIGUES VALE
Data: 22/06/2026 21:24:32 -0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) Dez dia(s) do mês de junho do ano de dois mil e vinte e seis realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) João Vitor Lemos Novais, do Curso de Agronomia, matrícula _____, cujo título é "Uso de protetores solares agrícolas na redução do sunburn e na melhoria da qualidade de frutos em pomares comerciais: uma revisão integrativa.". A defesa iniciou-se às 8 horas e 01 minutos, finalizando-se às 10 horas e 20 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 8,8 no trabalho escrito, média 8,6 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 8,7 de pontos, estando o(a) estudante NPTA para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Luís Sérgio Rodrigues Vale

Assinatura Presidente da Banca

Renata do Castro Marques Carvalho

Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

CCRM

Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, Pai e amigo inseparável, que me guiou durante toda a minha trajetória. Aos meus pais, que tanto se esforçaram pela minha formação. À minha família, aos amigos e a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte da vida, por ter me concedido saúde, força e sabedoria para enfrentar todos os desafios encontrados até aqui.

Aos meus pais, Willian Lemes Tavares e Mônica Rodrigues Novais Lemes, por me guiarem pelo caminho da bondade e por sempre buscarem o melhor para mim.

À minha irmã, Beatriz Lemes Novais, primeiro e eterno amor da minha vida, por estar sempre ao meu lado e me incentivar durante toda a minha trajetória.

À minha amada, Yohana Alves Lamounier, por ser minha companheira e tornar essa caminhada ainda mais gratificante.

Aos meus primos, Lucas Eduardo, Leônidas Neto e Matheus Melo, pelo apoio na fase inicial da graduação e pelo companheirismo que permanece até os dias de hoje.

Às amigas leais que construí e a todos os colegas que contribuíram, de alguma forma, para a minha formação.

Ao professor Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale, orientador, incentivador e profissional exemplar, pelo apoio prestado durante a realização deste trabalho. Agradeço também por demonstrar, desde a primeira aula, a importância e a responsabilidade que devemos ter ao exercer a profissão de agrônomo.

A todo o corpo docente e aos colaboradores dos diferentes setores do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, pelas oportunidades, ensinamentos e contribuições ao longo da minha formação.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, deixo meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O aumento da radiação solar e das temperaturas elevadas tem intensificado a ocorrência de *sunburn* em frutíferas, causando prejuízos à qualidade dos frutos e à rentabilidade dos pomares comerciais. Essa desordem fisiológica está relacionada ao superaquecimento da superfície dos frutos, podendo provocar descoloração, escurecimento, necrose, rachaduras e redução do valor comercial. Este trabalho foi desenvolvido na forma de revisão integrativa de literatura, com busca sistematizada realizada entre janeiro e abril de 2026, contemplando publicações a partir do ano 2000 até o final do período. A pesquisa foi realizada em bases científicas como Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, PubMed, Scopus e Web of Science, além de repositórios institucionais de teses e dissertações, utilizando descritores em português e inglês relacionados a protetores solares agrícolas, filmes particulados, *sunburn*, estresse térmico, radiação solar e qualidade de frutos. A síntese concentrou-se em frutíferas de elevada importância econômica e reconhecida sensibilidade ao *sunburn*, com destaque para citros, maçã, manga, uva e romã, nas quais o uso de produtos à base de caulim, carbonato de cálcio e outros materiais particulados tem se demonstrado capaz de reduzir a temperatura da superfície de folhas e frutos, diminuir a incidência de queimaduras solares e preservar atributos como firmeza, coloração, teor de sólidos solúveis e aparência externa. Além disso, esses protetores podem contribuir para reduzir o estresse térmico e foto-oxidativo, favorecendo a manutenção da atividade fisiológica das plantas em períodos de maior risco climático. Apesar dos benefícios relatados, a eficiência dessas tecnologias depende da cultura, da cultivar, das condições ambientais, da dose, do momento de aplicação e da necessidade de reaplicações, de modo que seu uso se mostra mais promissor quando integrado a outras estratégias de manejo do pomar, visando reduzir perdas e melhorar a qualidade dos frutos.

Palavras-chave: Estresse térmico. Radiação solar. Carbonato de cálcio. Qualidade de frutos. Manejo integrado.

ABSTRACT

The increase in solar radiation and high temperatures has intensified the occurrence of sunburn in fruit crops, causing losses in fruit quality and reducing the profitability of commercial orchards. This physiological disorder is associated with overheating of the fruit surface, which can lead to discoloration, browning, necrosis, cracking and a decrease in commercial value. This study was carried out as an integrative literature review, based on a systematic search conducted between January and April 2026 and covering publications from 2000 to the end of the search period. The research was conducted in scientific databases such as Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, PubMed, Scopus and Web of Science, as well as in institutional repositories of theses and dissertations, using Portuguese and English descriptors related to agricultural sunscreens, particle films, sunburn, heat stress, solar radiation and fruit quality. The synthesis focused on fruit crops of high economic importance and known sensitivity to sunburn, especially citrus, apple, mango, grape and pomegranate, in which the use of products based on kaolin, calcium carbonate and other particulate materials has proven effective in reducing leaf and fruit surface temperature, decreasing the incidence of sunburn and preserving attributes such as firmness, color, soluble solids content and external appearance. In addition, these protectants can help reduce heat and photo-oxidative stress, favoring the maintenance of plant physiological activity during periods of higher climatic risk. Despite the reported benefits, the efficiency of these technologies depends on the crop, cultivar, environmental conditions, application rate, timing and the need for reapplications, so their use is more promising when integrated with other orchard management strategies aimed at reducing losses and improving fruit quality.

Keywords: Thermal stress. Solar radiation. Calcium carbonate. Fruit quality. Integrated management.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese dos estudos incluídos sobre o uso de protetores solares agrícolas em frutíferas	6
---	----------

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	2
MATERIAL E MÉTODOS	3
RESULTADOS E DISCUSSÕES	6
Radiação solar e efeitos na fisiologia vegetal	9
Queimaduras solares em frutos	11
Protetores solares agrícolas	13
Efeitos fisiológicos do uso de protetores solares	15
Uso de protetores solares em diferentes culturas	16
Citros (laranja (<i>Citrus sinensis</i>) e tangerina (<i>Citrus reticulata</i>))	16
Maçã (<i>Malus domestica</i>)	18
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	20
Uva (<i>Vitis vinifera</i>)	21
Romã (<i>Punica granatum</i> L.)	22
Análise econômica do uso de protetores solares por cultura	23
Limitações e perspectivas de pesquisa	25
CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

USO DE PROTETORES SOLARES AGRÍCOLAS NA REDUÇÃO DO *SUNBURN* E NA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTOS EM POMARES COMERCIAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

USE OF AGRICULTURAL SUNSCREENS TO REDUCE SUNBURN AND IMPROVE FRUIT QUALITY IN COMMERCIAL ORCHARDS: AN INTEGRATIVE REVIEW

JOÃO VITOR LEMES NOVAIS¹

GRADUANDO EM BACHARELADO EM AGRONOMIA – INSTITUTO
FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
E-MAIL: joao.novais@estudante.ifgoiano.edu.br

LUÍS SÉRGIO RODRIGUES VALE²

PROFESSOR – INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
E-MAIL: luis.sergio@ifgoiano.edu.br

RESUMO - O aumento da radiação solar e das temperaturas elevadas tem intensificado a ocorrência de sunburn em frutíferas, causando prejuízos à qualidade dos frutos e à rentabilidade dos pomares comerciais. Essa desordem fisiológica está relacionada ao superaquecimento da superfície dos frutos, podendo provocar descoloração, escurecimento, necrose, rachaduras e redução do valor comercial. Este trabalho foi desenvolvido na forma de revisão integrativa de literatura, com busca estruturada realizada entre janeiro e abril de 2026, contemplando publicações a partir do ano 2000 até o final do período. A pesquisa foi realizada em bases científicas como Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, PubMed, Scopus e Web of Science, além de repositórios institucionais de teses e dissertações, utilizando descritores em português e inglês relacionados a protetores solares agrícolas, filmes particulados, sunburn, estresse térmico, radiação solar e qualidade de frutos. A síntese concentrou-se em frutíferas de elevada importância econômica e reconhecida sensibilidade ao sunburn, com destaque para citros, maçã, manga, uva e romã, nas quais o uso de produtos à base de caulim, carbonato de cálcio e outros materiais particulados tem se demonstrado capaz de reduzir a temperatura da superfície de folhas e frutos, diminuir a incidência de queimaduras solares e preservar atributos como firmeza, coloração, teor de sólidos solúveis e aparência externa. Além disso, esses protetores podem contribuir para reduzir o estresse térmico e foto-oxidativo, favorecendo a manutenção da atividade fisiológica das plantas em períodos de maior risco climático. Apesar dos benefícios relatados, a eficiência dessas tecnologias depende da cultura, da cultivar, das condições ambientais, da dose, do momento de aplicação e da necessidade de reaplicações, de modo que seu uso se mostra mais promissor quando integrado a outras estratégias de manejo do pomar, visando reduzir perdas e melhorar a qualidade dos frutos.

Palavras-chave: Estresse térmico. Radiação solar. Carbonato de cálcio. Qualidade de frutos.

ABSTRACT: The increase in solar radiation and high temperatures has intensified the occurrence of sunburn in fruit crops, causing losses in fruit quality and reducing the profitability of commercial orchards. This physiological disorder is associated with overheating of the fruit surface, which can lead to discoloration, browning, necrosis, cracking and a decrease in commercial value. This study was carried out as an integrative literature review, based on a systematic search conducted between January and April 2026 and covering publications from 2000 to the end of the search period. The research was conducted in scientific databases such as Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, PubMed, Scopus and Web of Science, as well as in institutional repositories of theses and dissertations, using Portuguese and English descriptors related to agricultural sunscreens, particle films, sunburn, heat stress, solar radiation and fruit quality. The synthesis focused on fruit crops of high economic importance and known sensitivity to sunburn, especially citrus, apple, mango, grape and pomegranate, in which the use of products based on kaolin, calcium carbonate and other particulate materials has proven effective in reducing leaf and fruit surface temperature, decreasing the incidence of sunburn and preserving attributes such as firmness, color, soluble solids content and external appearance. In addition, these protectants can help reduce heat and photo-oxidative stress, favoring the maintenance of plant physiological activity during periods of higher climatic risk. Despite the

reported benefits, the efficiency of these technologies depends on the crop, cultivar, environmental conditions, application rate, timing and the need for reapplications, so their use is more promising when integrated with other orchard management strategies aimed at reducing losses and improving fruit quality.

Keywords: Thermal stress. Solar radiation. Calcium carbonate. Fruit quality.

INTRODUÇÃO

A fruticultura em regiões tropicais e subtropicais tem sido afetada pelo aumento da temperatura média do ar e pela ocorrência mais frequente de ondas de calor, fatores associados às mudanças climáticas globais. Essas alterações modificam o balanço de radiação nos pomares e aumentam o estresse térmico sobre as plantas e os frutos (Bhattacharjee et al., 2022; Singh et al., 2024).

Nesse cenário, a alta radiação solar incidente, incluindo a radiação ultravioleta, associada à baixa umidade relativa do ar e à presença de ventos quentes, favorece o aquecimento excessivo da superfície dos frutos e das folhas mais expostas. Como consequência, há maior risco de desordens fisiológicas e de perdas na qualidade dos frutos na fruticultura comercial (Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022; Singh et al., 2024).

Entre as principais desordens relacionadas a esse cenário, destaca-se o *sunburn*, caracterizado pelo aparecimento de áreas descoloridas, amarronzadas ou necrosadas na epiderme dos frutos. Esses sintomas podem evoluir para danos mais severos e também favorecer a entrada de patógenos nos tecidos afetados (Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022; Bhattacharjee et al., 2022).

Diante dessa realidade, diferentes estratégias de manejo têm sido estudadas com o objetivo de diminuir a ocorrência de *sunburn* e de outros danos causados pelo excesso de radiação solar. Entre essas práticas, podem ser citados o uso de telas de sombreamento, ajustes na arquitetura da copa e mudanças no manejo da irrigação (Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022).

Entre as alternativas mais recentes, destaca-se a aplicação de protetores solares agrícolas, normalmente formulados com partículas inorgânicas, como caulim, carbonato de cálcio e outros materiais refletivos. Esses produtos formam uma película sobre a superfície das folhas e dos frutos, aumentando a reflexão da radiação incidente e reduzindo a temperatura da casca (Glenn et al., 2002; Ennab; El Sayed; Abo El Enin, 2017).

Em espécies como maçã, uva, citros e frutas de caroço, o *sunburn* está relacionado ao aquecimento excessivo da casca e à ação conjunta da alta radiação de ondas curtas, das temperaturas elevadas e do déficit de pressão de vapor. Essa combinação pode causar fotoinibição e estresse oxidativo nos tecidos mais expostos (Glenn et al., 2002). Como resultado, os frutos podem apresentar menor classificação comercial, pior aparência visual e

maior descarte durante o beneficiamento, causando impacto direto na rentabilidade dos pomares (Bhattacharjee et al., 2022; Singh et al., 2024).

Estudos realizados com frutíferas indicam que esses filmes particulados podem reduzir a incidência de *sunburn* e ajudar a manter a coloração e a firmeza dos frutos, sem causar prejuízos significativos à fotossíntese, desde que sejam manejados de forma adequada (Glenn et al., 2002; Ennab; El Sayed; Abo El Enin, 2017).

Nesse contexto, o uso de protetores solares se apresenta como uma estratégia promissora para a adaptação da fruticultura às novas condições climáticas. Essa tecnologia atua diretamente na redução dos efeitos da radiação e do calor sobre os frutos, podendo contribuir para diminuir perdas, melhorar a qualidade comercial e favorecer a sustentabilidade econômica de pomares localizados em regiões com maior risco térmico.

Assim, ao reunir e discutir os resultados disponíveis sobre o uso desses produtos em diferentes espécies frutíferas, torna-se possível auxiliar a tomada de decisão de produtores e técnicos, além de identificar lacunas de pesquisa relacionadas à eficácia agrônômica, aos efeitos fisiológicos e à viabilidade do uso de protetores solares na fruticultura moderna (Bhattacharjee et al., 2022; Glenn et al., 2002).

A partir desses pressupostos, objetivou-se com esse trabalho analisar por meio de uma revisão integrativa de literatura a importância dos protetores solares agrícolas no manejo do *sunburn* em frutíferas.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na forma de uma revisão integrativa de literatura, com busca estruturada, com o objetivo de identificar, sintetizar e analisar criticamente evidências disponíveis sobre o uso de protetores solares agrícolas na redução do *sunburn* e na melhoria da qualidade de frutos em pomares comerciais. A revisão integrativa permite a inclusão de diferentes tipos de estudos (experimentais, observacionais, revisões, documentos técnicos e trabalhos acadêmicos), favorecendo uma visão ampla e crítica do tema.

A pergunta norteadora desta revisão foi: quais são os efeitos dos protetores solares agrícolas sobre a incidência de *sunburn*, a fisiologia das plantas, a qualidade dos frutos e a viabilidade de uso em frutíferas cultivadas em pomares comerciais? Considerando essa pergunta, a síntese concentrou-se principalmente em culturas de elevada importância econômica e sensibilidade ao *sunburn* em regiões tropicais e subtropicais, especialmente citros, maçã, manga, uva e romã.

Essas frutíferas foram priorizadas por apresentarem expressiva relevância econômica na fruticultura comercial, relevância em cadeias de exportação ou abastecimento interno e frequente ocorrência de perdas quantitativas e redução da qualidade comercial dos frutos associadas a queimaduras solares, o que torna o uso de protetores solares particularmente estratégico nessas culturas.

A busca bibliográfica foi realizada de forma estruturada entre janeiro e abril de 2026, contemplando publicações a partir do ano 2000 até o final do período de busca, com o intuito de cobrir tanto estudos clássicos sobre filmes particulados quanto pesquisas mais recentes em cenário de aquecimento global. A delimitação temporal adotada justifica-se pelo fato de que os primeiros estudos relacionados ao uso de filmes particulados para mitigação do sunburn em frutos foram desenvolvidos no início dos anos 2000.

A pesquisa foi realizada nas bases Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, PubMed, Scopus e Web of Science, selecionadas por sua abrangência em publicações das áreas de agronomia, fruticultura, fisiologia vegetal e ciências ambientais. Complementarmente, foram consultados repositórios institucionais de teses e dissertações, sites de instituições de pesquisa e referências citadas nos próprios artigos selecionados, a fim de localizar estudos adicionais relevantes ao tema.

Foram utilizados descritores em português e em inglês, combinados por operadores booleanos (AND, OR), considerando termos relacionados à tecnologia empregada, ao tipo de estresse e às culturas de interesse. Entre as principais palavras-chave empregadas em português destacam-se: “protetores solares agrícolas”, “filmes particulados”, “caulim”, “carbonato de cálcio”, “queimadura solar”, “*sunburn*”, “frutíferas”, “qualidade de frutos”, “estresse térmico” e “radiação solar”. Em inglês, utilizaram-se termos como “*particle film*”, “*kaolin*”, “*calcium carbonate*”, “*fruit sunburn*”, “*sunburn disorder*”, “*fruit quality*”, “*orchard*”, “*heat stress*” e “*solar radiation*”. As estratégias de busca incluíram combinações como: (“*kaolin*” OR “*particle film*” OR “*calcium carbonate*”) AND (“*sunburn*” OR “*solar injury*”) AND (“*fruit*” OR “*fruit crop*” OR “*orchard*”); e (“protetor solar agrícola” OR “filme particulado” OR “caulim”) AND (“*sunburn*” OR “queimadura solar”) AND (“frutíferas” OR “qualidade de frutos”).

Foram considerados elegíveis artigos científicos, revisões, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, documentos técnicos e patentes com relação direta ao uso de protetores solares agrícolas em frutíferas, publicados principalmente em português e inglês. Entraram na revisão estudos que abordavam, pelo menos, um dos seguintes aspectos: (i) ocorrência, classificação ou fatores associados ao *sunburn* em frutos; (ii) uso de caulim, carbonato de cálcio ou outros materiais refletivos como protetores solares; (iii) efeitos desses

produtos sobre variáveis fisiológicas (temperatura de folhas e frutos, trocas gasosas, estresse hídrico e oxidativo); (iv) impacto na produção e na qualidade pós-colheita; e (v) implicações práticas ou econômicas do uso dessas tecnologias em pomares comerciais.

Foram excluídos estudos sem acesso ao texto completo, trabalhos que tratavam de outras formas de estresse abiótico sem relação com radiação e temperatura, publicações focadas exclusivamente em culturas não frutíferas, revisões narrativas muito gerais sem menção a protetores solares agrícolas, além de registros duplicados entre as bases consultadas. Em casos de duplicidade, optou-se por manter a versão mais completa ou mais recente do estudo, considerando a consistência das informações bibliográficas.

A seleção dos trabalhos ocorreu em duas etapas principais: na primeira, realizou-se a leitura de títulos e resumos para identificar a pertinência em relação à pergunta de pesquisa; na segunda, os textos potencialmente relevantes foram avaliados na íntegra, confirmando-se o atendimento aos critérios de inclusão definidos.

Após a aplicação dos critérios de seleção estabelecidos, foram identificados e selecionados 29 (vinte nove) trabalhos científicos que abordavam o uso de protetores solares em culturas agrícolas. Desses, 6 (seis) estudos foram conduzidos com a cultura da maçã, 6 (seis) com citros, 3 (três) com manga, 6 (seis) com uva, 5 (cinco) com romã, 1 (um) com noqueira e 2 (dois) com cafeeiro.

A partir desse conjunto final de estudos, procedeu-se à leitura detalhada e à organização do material em categorias temáticas previamente definidas: (i) radiação solar e efeitos na fisiologia vegetal; (ii) mecanismos, tipos e impactos do *sunburn* em frutos; (iii) protetores solares agrícolas e seus materiais constituintes; (iv) efeitos fisiológicos do uso desses produtos; (v) resultados em diferentes culturas frutíferas (com ênfase em citros, maçã, manga, uva e romã); (vi) aspectos econômicos; e (vii) limitações e perspectivas de pesquisa.

Além da identificação e seleção das publicações, os estudos elegíveis foram submetidos a uma etapa de extração e organização das informações. Para cada estudo incluído na síntese principal, foram registradas informações referentes aos autores, ano de publicação, cultura avaliada, tipo de protetor solar ou estratégia de mitigação utilizada, variáveis analisadas e principais resultados observados quanto à incidência de *sunburn*, às respostas fisiológicas das plantas, à produção e à qualidade dos frutos.

Para fins metodológicos, as referências reunidas neste trabalho foram organizadas em dois grupos. O primeiro grupo correspondeu aos estudos incluídos na síntese principal, composto por artigos, dissertações, teses e documentos diretamente relacionados ao uso de protetores solares agrícolas em frutíferas, com ênfase em caulim, carbonato de cálcio e

materiais correlatos aplicados em condições de campo ou em estudos experimentais com potencial de aplicação prática. O segundo grupo foi formado por referências de apoio teórico, utilizadas para contextualizar aspectos conceituais e fisiológicos do tema, como radiação solar, estresse térmico, mecanismos de ocorrência do *sunburn*, foto-oxidação, mudanças climáticas e estratégias gerais de manejo em fruticultura.

Desse modo, nem todas as referências listadas ao final do trabalho foram tratadas como estudos incluídos na matriz de síntese. Trabalhos de revisão geral, publicações de caráter conceitual, textos técnicos, patentes e estudos sem aplicação direta em frutíferas de interesse foram utilizados como suporte para a fundamentação teórica e discussão, mas não necessariamente compuseram o conjunto central de estudos comparados entre si. A partir dessa organização, os estudos incluídos na síntese principal foram distribuídos em categorias temáticas, considerando a espécie frutífera, o tipo de protetor solar empregado e os efeitos reportados sobre a redução do *sunburn*, a modulação fisiológica e a qualidade dos frutos. Essa sistematização permitiu comparar os resultados entre diferentes culturas e identificar padrões de resposta, limitações de uso e lacunas de pesquisa ao longo da revisão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos critérios de elegibilidade definidos na metodologia, os estudos selecionados sobre o uso de protetores solares agrícolas em frutíferas foram organizados em uma matriz de síntese, contemplando autores, ano de publicação, cultura avaliada, tipo de protetor utilizado, principais variáveis analisadas e resultados observados quanto à redução do *sunburn* e à qualidade dos frutos. O Quadro 1 apresenta essa sistematização, permitindo visualizar de forma comparativa como diferentes formulações à base de caulim, carbonato de cálcio e materiais correlatos têm sido aplicadas em distintas espécies frutíferas e quais benefícios agrônômicos têm sido relatados.

Quadro 1. Síntese dos estudos incluídos sobre o uso de protetores solares agrícolas em frutíferas

Autor(es) / Ano	Cultura avaliada	Tipo de protetor solar / estratégia	Variáveis ou enfoque principal	Principais Resultados
Glenn et al., 2002	Maçã	Filme particulado de caulim processado	Temperatura do fruto, reflexão da radiação, <i>sunburn</i>	Redução da temperatura da epiderme e da injúria solar; aumento da proteção dos frutos expostos.
Schupp; Fallahi; Chun, 2002	Maçã ('Fuji' e 'Honeycrisp')	<i>Surround</i> (caulim)	<i>Sunburn</i> , maturação e qualidade	Redução de <i>sunburn</i> e efeitos sobre maturação e qualidade dos frutos.

Gindaba; Wand, 2005	Maçã	Caulim, resfriamento evaporativo e tela de sombreamento	<i>Sunburn</i> e qualidade dos frutos	O caulim foi efetivo, mas a comparação mostrou que outras estratégias também modulam a severidade do problema.
Wand et al., 2006	Maçã ('Galaxy')	Filme de caulim	Qualidade na colheita e pós-colheita	Menor incidência de <i>sunburn</i> e melhor aparência/firmeza após armazenamento.
Alvarez et al., 2015	Maçã	Caulim e carbonato de cálcio	Temperatura da superfície e assimilação de CO ₂	Ambos reduziram a temperatura da casca; o caulim apresentou maior efeito relativo.
Sharma; Datta; Varghese, 2020	Maçã ('Delicious')	Caulim	Pragas, doenças, desordens e qualidade pós-colheita	Menor incidência de distúrbios e melhoria da qualidade pós-colheita.
Ennab; El-Sayed; Abo El-Enin, 2017	Tangerina 'Balady'	Caulim (3–4%)	<i>Sunburn</i> , rendimento e qualidade	Redução de <i>sunburn</i> , menor temperatura de folhas/frutos e melhoria em rendimento e qualidade.
Ennab et al., 2025	Tangerina 'Balady'	Caulim	<i>Sunburn</i> , produtividade e qualidade	Confirma efeito protetor do caulim em citros sob clima quente.
Mosa et al., 2025	Tangerina 'Murcott'	Caulim + óxido de cálcio + boro	<i>Sunburn</i> , produtividade e qualidade	Redução consistente de <i>sunburn</i> e aumento de rendimento, firmeza e vitamina C.
Santos Filho et al., 2024	Laranja 'Pera'	Protetor à base de carbonato de cálcio	Fotossíntese, uso da água, produção	Aumento da taxa fotossintética, melhor eficiência no uso da água e maior produção por planta.
Barbosa, 2021	Citros	Protetor solar agrícola	Fotossíntese e pegamento de frutos	Mostra dependência do efeito em relação ao momento de aplicação e às condições ambientais.
Bernardi, 2020	Citros	Filmes particulados de cobertura	Temperatura foliar e estresse térmico	Tese voltada ao efeito dos filmes particulados na modulação da temperatura foliar e do estresse térmico.
Bellitti et al., 2025	Manga ('Glenn' e 'Maya')	Caulim em pó e líquido	<i>Sunburn</i> e qualidade de frutos	Redução importante da probabilidade de <i>sunburn</i> ; formulação líquida com maior destaque.

Hamdy; Abdel-Aziz; Ali, 2022	Manga	Caulim	Pigmentos fotossintéticos, antioxidantes e <i>sunburn</i>	Menor <i>sunburn</i> e melhoria do estado fisiológico e antioxidante dos frutos.
Hamdy et al., 2021	Manga	Caulim	Qualidade e <i>sunburn</i>	Resultados favoráveis à proteção dos frutos e à qualidade comercial.
Lobos et al., 2015	Uva ('Cabernet Sauvignon')	Caulim e tela na zona dos frutos	Temperatura das bagas, composição e <i>sunburn</i>	Caulim reduziu temperatura e dano; telas foram mais eficientes para resfriamento.
Sagredo et al., 2019	Uva de mesa ('Thompson Seedless')	Caulim (5 e 7,5%)	<i>Sunburn</i> , firmeza e cor	Menor incidência e severidade de <i>sunburn</i> ; melhoria da cor e da firmeza dos cachos.
Conde et al., 2018	Uva	Caulim	Metabolismo foliar e fotoassimilados	Estímulo à síntese de fotoassimilados e alteração do metaboloma primário.
Frioni et al., 2019	Uva	Caulim	Fisiologia foliar e do dossel	Efeitos sobre a fisiologia em condições de estresse de verão.
Teker et al., 2023	Uva	Caulim	Fisiologia da videira e proteção dos cachos	Indícios de proteção fisiológica e redução de danos por <i>sunburn</i> .
Waber et al., 2025	Uva ('Riesling')	Desfolha, protetores solares e redes de proteção	<i>Sunburn necrosis</i>	Mostra que o manejo integrado pode reduzir lesões em cachos expostos.
Budković et al., 2025	Romã	Caulim (4–6%)	Rendimento e qualidade	Menor incidência de <i>sunburn</i> e rachaduras, com ganho em qualidade e frutos comercializáveis.
Ahmed; Gaber, 2022	Romã 'Manfalouty'	Ensacamento + pulverizações foliares	Produção e qualidade	Associação de proteção física e pulverização reduziu perdas e melhorou a qualidade dos frutos.
Ali, 2025	Romã	Revisão sobre manejo de <i>sunburn</i>	Causas e práticas integradas	Compila fatores causais e práticas preventivas para a cultura.
İkinci, 2025	Romã	Revisão	<i>Sunburn</i> e prevenção	Fonte complementar sobre causas e manejo integrado na cultura.

Liu et al., 2022	Romã	Não é protetor; estudo fisiológico do <i>sunburn</i>	Mecanismos fisiológicos e moleculares	Explica respostas do pericarpo ao <i>sunburn</i> e mecanismos subjacentes.
Gharaghani; Javarzari, 2018	Nogueira	Caulim	Temperatura foliar, fotossíntese e qualidade	Redução da temperatura das folhas, menor estresse e melhoria de qualidade.
Santos et al., 2022	Cafeeiro	Filme de caulim	Trocas gasosas e estresse hídrico	Melhoria de parâmetros de trocas gasosas em mudas sob pleno sol.
Tosin et al., 2023	<i>Coffea canephora</i>	Filme de caulim	Temperatura foliar, tamanho de grãos e produtividade	Mitigação do estresse térmico supraótimo e aumento do tamanho dos grãos e da produtividade.

Fonte: Elaboração pessoal (2026)

De forma geral, observa-se que a maior parte dos estudos se concentra em culturas de relevância econômica, como citros, maçã, manga, uva e romã, utilizando predominantemente filmes particulados à base de caulim e carbonato de cálcio, com resultados consistentes na redução da temperatura de folhas e frutos, na mitigação do *sunburn* e na melhoria de atributos de qualidade. Nos tópicos a seguir, os principais achados são detalhados por grupo de culturas e temas, destacando-se os efeitos fisiológicos, produtivos e comerciais do uso de protetores solares agrícolas em cada situação específica.

Radiação solar e efeitos na fisiologia vegetal

A radiação solar que chega aos cultivos frutíferos é composta principalmente pelas faixas ultravioleta (UV), visível e infravermelha. Cada uma delas exerce efeitos diferentes sobre os processos fisiológicos das plantas. A luz visível é a principal responsável pela ativação dos pigmentos fotossintéticos e pela transformação da energia luminosa em energia química. Já a radiação infravermelha contribui, principalmente, para o aquecimento dos tecidos vegetais e do ar ao redor da copa (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Racskó; Schrader, 2012). Por outro lado, a radiação UV, especialmente nas faixas UV-B e UV-C, pode atuar como um importante fator de estresse abiótico, provocando alterações morfológicas, redução da biomassa e desequilíbrios entre a formação de espécies reativas de oxigênio e os sistemas antioxidantes das plantas (Al-Ghamdi et al., 2025; Bhattacharjee et al., 2022).

Em condições de alta radiação e temperatura elevada, a fotossíntese das folhas tende a ser limitada por diferentes mecanismos. Entre eles, destacam-se a saturação dos centros de reação do fotossistema II, a redução da atividade enzimática no ciclo de Calvin e a diminuição da

condutância estomática. Esses fatores resultam em menor assimilação de CO₂ ao longo do dia (Suwannarut; Vialet Chabrand; Kaiser, 2023).

Estudos com espécies tropicais e subtropicais apresentam que, durante períodos de forte radiação e calor, ocorre redução diurna da fotossíntese e da condutância estomática. Esse processo está associado ao fechamento parcial dos estômatos e ao acúmulo de calor nos tecidos, mesmo quando há disponibilidade adequada de água (Suwannarut; Vialet Chabrand; Kaiser, 2023; Asargew et al., 2024). Com isso, há menor ganho de carbono pela planta, o que pode prejudicar o enchimento dos frutos e intensificar os efeitos do estresse térmico em pomares comerciais.

O aumento da radiação e da temperatura também modifica o equilíbrio entre a energia luminosa absorvida e a capacidade da planta de dissipar esse excesso de energia na forma de calor. Quando esse equilíbrio é afetado, aumenta a chance de ocorrência de fotoinibição e de danos foto-oxidativos nos cloroplastos. Em frutos mais expostos, principalmente aqueles localizados na parte externa da copa, a temperatura da superfície pode ficar bem acima da temperatura do ar. Essa elevação pode atingir níveis capazes de desestabilizar membranas, desnaturar proteínas e iniciar processos de necrose na epiderme, associados ao *sunburn*.

A literatura apresenta que, em regiões tropicais e subtropicais, a combinação de alta radiação global, baixa umidade relativa e frutos pouco protegidos pela folhagem é um dos principais fatores para o aumento da incidência de lesões por *sunburn* em diferentes culturas (Racskó; Schrader, 2012; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Singh et al., 2024).

Como resposta a esse ambiente de alta radiação, as plantas frutíferas ativam mecanismos de fotoproteção. Esses mecanismos incluem a regulação do ciclo das xantofilas, o aumento da dissipação não fotoquímica de energia, a produção de pigmentos fotoprotetores e o acúmulo de compostos antioxidantes, tanto enzimáticos quanto não enzimáticos. Trabalhos de revisão indicam que carotenoides, tocoferóis, ascorbato, flavonoides e o bom funcionamento do ciclo ascorbato-glutationa têm papel importante na redução dos danos causados pelo excesso de luz e calor em frutos expostos (Muñoz; Munné-Bosch, 2018). No entanto, em condições de campo, esses mecanismos naturais muitas vezes não são suficientes para eliminar completamente os efeitos da combinação entre radiação intensa e temperaturas elevadas, principalmente em cultivos realizados em clima mais seco e em plantas com copas muito abertas (Racskó; Schrader, 2012; Singh et al., 2024).

Além das respostas bioquímicas, a radiação e a temperatura também interferem na arquitetura da copa, na expansão das folhas e no funcionamento dos estômatos. Esses fatores influenciam diretamente o microclima ao redor dos frutos e a distribuição da luz dentro do

dossel. Pesquisas recentes com espécies hortícolas tropicais indicam que diferenças no tamanho e na densidade dos estômatos, assim como na velocidade de abertura e fechamento dessas estruturas, afetam a rapidez com que a planta ajusta sua condutância diante das variações de irradiância. Esse ajuste também pode influenciar o acúmulo de calor nos tecidos (Zhang et al., 2022; Suwannarut; Vialet Chabrand; Kaiser, 2023). Em pomares de alta densidade e com podas intensivas, essas relações entre arquitetura da copa, radiação e fisiologia aumentam o desafio de manter a fotossíntese eficiente e, ao mesmo tempo, evitar o superaquecimento da superfície dos frutos. Por isso, estratégias complementares de manejo da radiação, como o uso de protetores solares agrícolas, tornam-se cada vez mais importantes (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Singh et al., 2024).

Queimaduras solares em frutos

As queimaduras solares em frutos são desordens fisiológicas relacionadas à ação conjunta da alta radiação solar e das temperaturas elevadas na superfície do fruto. Quando esses fatores ultrapassam a capacidade dos tecidos da epiderme de dissipar calor e energia luminosa, podem ocorrer danos celulares causados por estresse térmico e foto-oxidativo. Nessa situação, há perda da integridade das membranas, extravasamento de solutos e degradação de pigmentos, como clorofilas e carotenóides.

O aumento na frequência de eventos de calor extremo e da radiação global, associado à menor umidade relativa do ar e à maior exposição dos frutos na copa, tem contribuído para o aumento da ocorrência de *sunburn* em pomares de regiões tropicais e subtropicais. Esse problema afeta diretamente o rendimento e a qualidade de diversas espécies frutíferas (Racskó; Schrader, 2012; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Bhattacharjee et al., 2022).

A literatura classifica o *sunburn* em frutos em três tipos principais: *photooxidative sunburn*, *sunburn browning* e *sunburn necrosis*. O *photooxidative sunburn* ocorre quando frutos que estavam previamente sombreados passam a receber radiação solar direta e intensa. Como esses tecidos não estavam aclimatados à luz, pode haver rápida degradação das clorofilas, resultando em clareamento ou no aparecimento de manchas amareladas (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Racskó; Schrader, 2012).

O *sunburn browning* está relacionado a temperaturas de superfície moderadamente elevadas, associadas à alta irradiância. Nesse caso, ocorre escurecimento superficial e formação de uma coloração bronze-amarronzada na epiderme, com danos ainda concentrados nas camadas mais externas do fruto (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Johnson, 2023). Já o *sunburn necrosis* representa a forma mais severa da desordem. Ele ocorre quando a temperatura da casca ultrapassa limites críticos, que variam conforme a espécie, causando morte

de células epidérmicas e subepidérmicas, necrose mais profunda e rachaduras na casca (Racskó; Schrader, 2012; Schrader et al., 2001).

Os limites de temperatura para o desenvolvimento de *sunburn necrosis* variam entre as espécies. No entanto, estudos indicam que temperaturas de superfície próximas de 45 a 50 °C já podem causar danos em várias frutas, podendo chegar a cerca de 52 °C em maçãs. Acima desses resultados, ocorre morte celular rápida e aumento expressivo do extravasamento de eletrólitos (Schrader et al., 2001; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022).

Em pomares de maçã, pera, uva e romã, observa-se que os frutos localizados nas partes mais expostas da copa, principalmente nas faces oeste e sudoeste, atingem esses limites com maior frequência. Isso ajuda a explicar por que os sintomas aparecem de forma desigual na planta (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Xu et al., 2022).

Além da temperatura, características como cor da casca, espessura da cutícula, teor de pigmentos e ângulo de incidência da luz também influenciam a maior ou menor sensibilidade de cada espécie e cultivar ao *sunburn* (Racskó; Schrader, 2012; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022).

Diversos fatores podem favorecer o aparecimento de *sunburn* em frutos, conforme descrito em revisões recentes. Entre os principais, destacam-se a baixa umidade relativa do ar, a exposição direta dos frutos após podas severas ou desfolha causada por pragas e doenças, o cultivo em áreas de maior altitude, onde há maior presença de radiação UV, o déficit hídrico e práticas de manejo que deixam os frutos mais expostos ao Sol (Lal; Sahu, 2017).

Em anos com verões mais quentes e secos, esses fatores podem atuar de forma combinada, aumentando consideravelmente a porcentagem de frutos com *sunburn*. Esse problema tende a ser ainda mais importante em sistemas com copas muito abertas e alta densidade de plantio (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Bhattacharjee et al., 2022).

O impacto econômico das queimaduras solares é relevante para a fruticultura comercial. Frutos com *sunburn necrosis* geralmente são descartados, enquanto aqueles com *sunburn browning* e *photooxidative sunburn* podem sofrer rebaixamento na classificação comercial, sendo vendidos por menor preço ou destinados ao processamento industrial. Na cultura da romã, por exemplo, estimativas indicam que o *sunburn* pode causar perdas de 30 a 40% da produção em algumas regiões mediterrâneas, reduzindo a renda do produtor em mais de 20%. Isso ocorre porque a aparência externa tem grande influência na aceitação do fruto pelo mercado consumidor (Kahramanoglu; Usanmaz, 2016). Revisões sobre frutíferas tropicais também indicam que, em anos com maior ocorrência de ondas de calor, o aumento no descarte de frutos por *sunburn* e descoloração pode comprometer a competitividade de produtores que atendem

mercados mais exigentes quanto à aparência dos frutos (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Lal; Sahu, 2017).

Além das perdas diretas, as queimaduras solares também estão relacionadas a alterações de qualidade que afetam o valor dos frutos após a colheita. Entre essas alterações, podem ocorrer degradação de antocianinas e de outros compostos fenólicos, redução da firmeza, maior suscetibilidade a rachaduras e menor vida útil no armazenamento. Estudos em maçã e romã indicam que frutos com *sunburn* apresentam maior nível de lipoperoxidação, redução de pigmentos e mudanças nos teores de sólidos solúveis e acidez titulável. Esses efeitos prejudicam tanto a qualidade sensorial quanto o potencial funcional e nutracêutico dos frutos (Muñoz; Munné-Bosch, 2018). Dessa forma, os prejuízos causados pelo *sunburn* reforçam a importância de estratégias de manejo que reduzam sua incidência e severidade em pomares comerciais. Entre essas estratégias, destacam-se o uso de materiais genéticos mais tolerantes, ajustes na arquitetura da copa, sombreamento e aplicações de protetores solares agrícolas.

Protetores solares agrícolas

Os protetores solares agrícolas são formulações aplicadas sobre folhas e frutos com a finalidade de diminuir a radiação incidente e a temperatura da superfície vegetal. Dessa forma, ajudam a reduzir os efeitos do estresse causado pelo excesso de luz e calor, principalmente aqueles relacionados ao *sunburn*. Essas formulações, em geral, utilizam partículas inorgânicas com alta capacidade de reflexão, dispersas em água, que formam uma película contínua após a secagem sobre os órgãos vegetais. Essa película não bloqueia totalmente a passagem de luz necessária para a fotossíntese, mas contribui para reduzir o aquecimento excessivo dos tecidos (Glenn et al., 2002; Lal; Sahu, 2017). Entre os materiais mais utilizados, destacam-se o caulim, que é uma argila branca rica em silicato de alumínio, o carbonato de cálcio, o dióxido de titânio e misturas com outros compostos. Esses materiais podem variar quanto ao tamanho das partículas, cor, capacidade de reflexão e permanência no campo (Glenn et al., 2002; Mosa et al., 2025).

O caulim é um dos materiais mais estudados como protetor solar agrícola. Ele é utilizado na forma de filmes particulados, que aumentam o albedo da superfície de folhas e frutos, ou seja, aumentam a reflexão da radiação solar. Em macieiras, a aplicação de caulim processado reduziu de forma significativa a temperatura da superfície dos frutos e a ocorrência de lesões por *sunburn*, sem causar efeitos negativos sobre a fotossíntese líquida, desde que o produto fosse aplicado de maneira uniforme (Glenn et al., 2002; Sharma; Datta; Varghese, 2020). Em citros e outras frutíferas, o uso de caulim em diferentes concentrações também apresentou resultados positivos, como redução da temperatura da casca, menor porcentagem de frutos com

sunburn e melhoria em aspectos de qualidade, como firmeza e coloração externa. Esses resultados indicam o potencial desse material em regiões de clima quente (Ennab; El Sayed; Abo El Enin, 2017; Lal; Sahu, 2017).

O carbonato de cálcio também é bastante utilizado em protetores solares agrícolas, tanto em formulações comerciais quanto em misturas patenteadas voltadas para sistemas de cultivo orgânico. Patentes recentes descrevem formulações com altos teores de carbonato de cálcio, associadas a agentes umectantes e espessantes. Essas formulações foram desenvolvidas para formar uma película homogênea, com boa aderência e alta refletância nas faixas do visível e do infravermelho próximo, buscando reduzir o aquecimento da superfície sem prejudicar as trocas gasosas da planta (US20090186768, 2009; US20140044862, 2014). Ensaio em frutíferas mostram que o carbonato de cálcio pode diminuir a temperatura da casca e a incidência de *sunburn*. No entanto, em alguns casos, pode apresentar menor persistência ou cobertura menos uniforme quando comparado ao caulim. Por isso, é importante ajustar corretamente a dose, o volume de calda e a frequência de reaplicação (Sharma; Datta; Varghese, 2020; Mosa et al., 2025).

Além do caulim e do carbonato de cálcio, outros materiais também vêm sendo avaliados como protetores solares, como dióxido de titânio, óxidos metálicos e silicatos em diferentes formas. Formulações que combinam dióxido de titânio, óxidos de zinco e silício têm sido propostas por apresentarem alta capacidade de reflexão e potencial de uso em sistemas orgânicos, desde que atendam aos critérios de segurança ambiental e alimentar (US20140044862, 2014; US20090186768, 2009). Em algumas situações, esses produtos são classificados como “filmes particulados avançados” e não são avaliados apenas pela redução do *sunburn*, mas também por possíveis efeitos adicionais. Entre esses efeitos, estão a alteração do microclima da copa, a possível redução da evapotranspiração e a interação com a ocorrência de pragas e doenças, aspecto observado em estudos com caulim em macieiras e outras culturas (Sharma; Datta; Varghese, 2020; Glenn et al., 2002).

Quanto à formulação e aplicação, os protetores solares agrícolas geralmente são preparados como suspensões aquosas, com adjuvantes que melhoram o molhamento, a aderência e a resistência à lavagem pela chuva. A aplicação costuma ser recomendada em fases em que os frutos já estejam visíveis e com a casca em formação, mas antes dos períodos de maior risco de ocorrência de *sunburn*. Também pode ser necessária a reaplicação após chuvas intensas ou em intervalos definidos conforme a persistência do produto no campo e o crescimento dos frutos (Lal; Sahu, 2017; Mosa et al., 2025).

Ensaio de campo realizados em citros e em tangerina 'Murcott' indicam que programas com duas a três pulverizações de caulim, ou de misturas de caulim com óxidos de cálcio e boro, reduzem significativamente a incidência de *sunburn* e melhoram atributos de qualidade dos frutos. Esses resultados reforçam a importância do manejo adequado da dose e do calendário de aplicação (Ennab; El Sayed; Abo El Enin, 2017; Mosa et al., 2025).

Efeitos fisiológicos do uso de protetores solares

A aplicação de protetores solares à base de partículas inorgânicas altera o balanço de energia na superfície das folhas e dos frutos. Esses produtos reduzem a absorção de radiação nas faixas do visível e do infravermelho próximo e, com isso, ajudam a diminuir a temperatura dos tecidos mais expostos. Em noqueira, a pulverização de caulim em diferentes concentrações reduziu a temperatura das folhas em até cerca de 5 °C. Além disso, diminuiu a ocorrência de *sunburn* em folhas, brácteas e frutos, indicando maior capacidade de dissipação do excesso de energia luminosa em condições de alta radiação e calor (Gharaghani; Javarzari, 2018).

Resultados semelhantes foram observados em citros e maçã, em que o filme de caulim ou os protetores à base de carbonato de cálcio reduziram o aquecimento superficial dos frutos e a frequência de lesões por *sunburn*, sem impedir totalmente a entrada de luz necessária à fotossíntese (Glenn et al., 2002; Ennab; El-Sayed; Abo El-Enin, 2017).

Em relação à fotossíntese, diversos estudos indicam que os protetores solares podem ajudar a manter taxas de assimilação de CO₂ mais estáveis em situações de estresse por radiação e déficit hídrico moderado. Em pomares de noqueira submetidos a altas temperaturas e radiação intensa, a aplicação de caulim aumentou a taxa fotossintética máxima, a condutância estomática e a eficiência no uso da água. Esses resultados sugerem menor estresse térmico e melhor manutenção da capacidade fotossintética em condições ambientais mais críticas (Gharaghani; Javarzari, 2018). Em cafeeiro jovem, o filme de caulim aplicado em mudas transplantadas para o campo reduziu o índice de estresse hídrico e melhorou os parâmetros de trocas gasosas em comparação às plantas sem proteção. Esse efeito foi observado mesmo em períodos de maior demanda evaporativa, indicando contribuição positiva para o balanço hídrico e para o desempenho fisiológico das plantas (Santos et al., 2022; Singh et al., 2024).

Na citricultura, estudos recentes com protetor à base de carbonato de cálcio em laranja 'Pera' apresentaram efeito importante sobre a fisiologia da planta sob diferentes manejos de irrigação. Em condições de clima subúmido, o uso do protetor solar resultou em aumento médio de 36% na taxa fotossintética, além de manter menores valores de concentração interna de CO₂ e maior eficiência no uso da água, quando comparado às plantas sem proteção. Esse comportamento ocorreu independentemente do nível de déficit hídrico aplicado (Santos Filho

et al., 2024). Além disso, a proteção com protetor solar reduziu as quedas de condutância estomática e a transpiração em plantas submetidas ao déficit de irrigação. Isso sugere maior resiliência fisiológica ao estresse combinado de calor e menor disponibilidade de água no solo (Santos Filho et al., 2024; Singh et al., 2024).

Os efeitos positivos dos protetores solares também aparecem na redução do estresse oxidativo e na manutenção da estrutura dos tecidos vegetais. Em diferentes espécies perenes, a menor ocorrência de *sunburn* em folhas e frutos esteve associada a menores níveis de lipoperoxidação de membranas, melhor conservação dos pigmentos fotossintéticos e maior atividade dos sistemas antioxidantes. Isso indica que a película particulada ajuda a reduzir a formação de espécies reativas de oxigênio causada pelo excesso de luz e calor (Muñoz; Munné-Bosch, 2018; Gharaghani; Javarzari, 2018). Em noqueira e citros, o uso de caulim ou de misturas com óxidos de cálcio e boro também esteve relacionado à melhoria de características de qualidade dos frutos, como firmeza, coloração e composição química. Dessa forma, a proteção fisiológica pode contribuir para melhor desenvolvimento e maturação dos frutos (Gharaghani; Javarzari, 2018; Mosa et al., 2025).

Apesar desses benefícios, a intensidade dos efeitos fisiológicos dos protetores solares depende de fatores como espécie, cultivar, intensidade da radiação, dose aplicada e tempo de exposição ao estresse. Em videira cultivada sob clima quente, por exemplo, a aplicação de filme de caulim reduziu levemente a temperatura dos frutos e a desidratação das bagas, mas não alterou de forma consistente a fotossíntese nem o estado hídrico das plantas durante a safra. Esse resultado indica que, em algumas situações, o principal benefício pode estar mais ligado à proteção da qualidade dos frutos do que a grandes mudanças nas trocas gasosas (Lobos et al., 2015; Glenn et al., 2002). Assim, os protetores solares atuam principalmente como moduladores do microclima na superfície de folhas e frutos, reduzindo os picos de estresse térmico e foto-oxidativo, mas sem necessariamente aumentar a fotossíntese de maneira uniforme em todas as espécies e condições de cultivo (Gharaghani; Javarzari, 2018; Santos Filho et al., 2024).

Uso de protetores solares em diferentes culturas

Citros (laranja (*Citrus sinensis*) e tangerina (*Citrus reticulata*))

Em citros, o *sunburn* é considerado uma das principais desordens fisiológicas ligadas à combinação de alta radiação solar e temperaturas elevadas na superfície dos frutos. Esse problema é mais comum em regiões de clima quente e subúmido. Revisões recentes apontam que frutos de laranjeira e tangerineira localizados na parte mais externa da copa, principalmente nas faces oeste e noroeste, ficam mais sujeitos a atingir temperaturas de casca acima de 45 °C.

Nessa faixa, aumentam as chances de ocorrência de *sunburn browning* e *sunburn necrosis* (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Lal; Sahu, 2017). Em safras marcadas por ondas de calor e baixa umidade relativa do ar, a quantidade de frutos descartados por queimaduras e descoloração da casca pode aumentar bastante. Como consequência, há redução da porcentagem de frutos comercializáveis e prejuízo à rentabilidade dos pomares, especialmente daqueles destinados a mercados que valorizam muito a aparência externa dos frutos (Bhattacharjee et al., 2022; Santos Filho et al., 2024).

Ensaio de campo com tangerina ‘Balady’, realizados no Egito, indicaram que aplicações foliares de caulim podem ser eficientes na redução da incidência de *sunburn* e na melhoria do desempenho produtivo das plantas. Em estudo realizado em duas safras consecutivas em pomar de *Citrus reticulata* Blanco, pulverizações com caulim a 3–4%, realizadas duas ou três vezes durante os meses de verão, reduziram significativamente a porcentagem de frutos com *sunburn* em comparação às árvores não tratadas. Além disso, essas aplicações também diminuíram a temperatura de folhas e frutos (Ennab; El-Sayed; Abo El-Enin, 2017; Ennab et al., 2025). Os autores também observaram aumento no rendimento por planta e melhorias em características de qualidade, como peso, diâmetro, espessura da casca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e relação sólidos solúveis/acidez. Esses resultados indicam que a proteção contra o *sunburn* contribuiu para a formação de frutos maiores e com melhor padrão comercial (Ennab; El-Sayed; Abo El-Enin, 2017; Lal; Sahu, 2017).

Em tangerina ‘Murcott’, estudos mais recentes avaliaram o efeito combinado de caulim, óxido de cálcio e boro sobre a incidência de *sunburn*, a produtividade e a qualidade dos frutos em condições de alta irradiância. Aplicações foliares desses produtos, realizadas quatro vezes ao longo da safra, reduziram de forma consistente a ocorrência de *sunburn* em comparação ao tratamento controle. Além disso, aumentaram a frutificação efetiva, o rendimento por planta e parâmetros como peso, firmeza e teor de vitamina C dos frutos (Mosa et al., 2025; Lal; Sahu, 2017). Segundo a interpretação dos autores, a película protetora formada por esses materiais reduziu a carga térmica e a radiação direta sobre a superfície dos frutos. Com isso, houve menor estresse foto-oxidativo e melhores condições para o enchimento e a qualidade interna dos frutos, reforçando a viabilidade do uso desses protetores na citricultura de regiões quentes (Mosa et al., 2025; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022).

Na cultura da laranja ‘Pera’, estudada em clima subúmido no Brasil, a aplicação de protetor solar à base de carbonato de cálcio, associada a diferentes manejos de irrigação, apresentou efeitos importantes sobre a fisiologia e a produção do pomar. Em experimento em blocos casualizados, com três níveis de lâmina de irrigação, sendo 100%, 65% da

evapotranspiração da cultura e sequeiro, e dois níveis de proteção, com e sem protetor solar, o uso do protetor resultou em aumento da taxa fotossintética, maior eficiência no uso da água de irrigação e manutenção de menores concentrações internas de CO₂ nas folhas. Esses resultados indicam melhor desempenho fisiológico das plantas sob condições de estresse térmico e hídrico moderado (Santos Filho et al., 2024; Singh et al., 2024). Além disso, os tratamentos com protetor solar apresentaram aumento na produção por planta e melhor distribuição de calibres dos frutos em relação às plantas não protegidas. Isso sugere que a redução do *sunburn* e o alívio do estresse térmico contribuíram para ganhos produtivos e para melhor qualidade comercial no sistema de produção (Santos Filho et al., 2024; Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022).

Outros estudos com citros relatam resultados variáveis, dependendo da espécie, do produto utilizado e das condições climáticas. Isso demonstra a importância de ajustar corretamente a dose, o momento e a frequência das aplicações para obter melhores resultados com os protetores solares. Em alguns casos, aplicações de caulim ou de produtos semelhantes, realizadas em períodos de menor intensidade de estresse, não resultaram em diferenças significativas na produção ou na qualidade dos frutos. Esse resultado sugere que a eficiência agrônômica desses produtos tende a ser maior quando sua aplicação coincide com fases de maior risco de *sunburn* e com períodos de calor mais intenso (Barbosa, 2021; Santos Filho et al., 2024). Mesmo assim, a literatura indica que, em regiões com histórico de danos por *sunburn* e diante de cenários de aquecimento e maior variabilidade climática, os protetores solares à base de caulim e carbonato de cálcio se destacam como estratégias promissoras para mitigação de perdas, melhorar a qualidade externa dos frutos e aumentar a estabilidade da produção na citricultura (Fischer; Orduz-Rodríguez; Amarante, 2022; Lal; Sahu, 2017).

Maçã (*Malus domestica*)

Em regiões produtoras de maçã, o *sunburn* é uma das principais causas de perda de frutos. Em anos com ondas de calor intensas, essa desordem pode levar ao descarte de até metade da produção, principalmente em cultivares com epiderme mais clara ou em frutos muito expostos na copa (Racskó; Schrader, 2012; Wand et al., 2006). Nesse cenário, filmes particulados à base de caulim têm sido bastante estudados como uma alternativa para reduzir a temperatura da superfície dos frutos e diminuir a incidência de *sunburn*. Resultados positivos já foram observados em diferentes regiões produtoras e em cultivares como ‘Fuji’, ‘Honeycrisp’ e ‘Galaxy’ (Glenn et al., 2002; Schupp; Fallahi; Chun, 2002).

Em estudos clássicos com maçã, a aplicação de filme de caulim processado reduziu significativamente a temperatura da epiderme dos frutos e a ocorrência de lesões por *sunburn*, sem causar prejuízo importante à fotossíntese das folhas. Em experimentos com as cultivares

‘Gala’ e ‘Fuji’, o uso de caulim diminuiu a quantidade de frutos com *sunburn* e aumentou a proporção de frutos comercializáveis, principalmente nas partes mais expostas da copa. Esses resultados indicam que o produto é eficiente para reduzir os efeitos combinados da radiação intensa e das altas temperaturas (Glenn et al., 2002; Gindaba; Wand; Coetzer, 2005). Em alguns casos, foi observada pequena redução na intensidade da cor vermelha em frutos com maior cobertura do produto. Isso mostra a importância de ajustar corretamente a dose e a época das aplicações, buscando equilibrar a proteção contra o *sunburn* e o desenvolvimento adequado da coloração dos frutos (Glenn et al., 2002; Schupp; Fallahi; Chun, 2002).

Quando o caulim e o carbonato de cálcio são comparados na cultura da maçã, ambos apresentam efeito de proteção contra o calor, embora com diferenças na intensidade da redução da temperatura e nos efeitos sobre a qualidade dos frutos. Em um ensaio que avaliou a temperatura da superfície dos frutos sob diferentes concentrações, observou-se que, quando os frutos não tratados atingiram temperatura de casca próxima a 50 °C, o caulim reduziu a temperatura média entre 1,9 e 2,5 °C. Já o carbonato de cálcio reduziu entre 1,3 e 2,1 °C, conforme a dose utilizada, indicando maior eficiência relativa do caulim (Alvarez et al., 2015). Mesmo assim, os dois produtos contribuíram para diminuir a incidência de *sunburn* e preservar a firmeza dos frutos, reforçando o potencial desses materiais como protetores solares na cultura da maçã (Alvarez et al., 2015; Glenn et al., 2002).

Os estudos também destacam os efeitos dos filmes particulados sobre a qualidade pós-colheita das maçãs. Em pomares da África do Sul, a aplicação de caulim em ‘Galaxy’ reduziu a incidência de *sunburn* antes da colheita e resultou em frutos com melhor aparência após o armazenamento refrigerado. Além disso, contribuiu para a manutenção da firmeza e para a redução de desordens de armazenamento, quando comparado ao controle sem caulim (Wand et al., 2006). Em ‘Ambrosia’, por outro lado, estudos mais recentes demonstraram que, mesmo com o uso de diferentes tecnologias para reduzir os efeitos do calor, como sombreamento e manejo da irrigação, ondas de calor extremas ainda podem causar alta incidência de *sunburn browning*. Isso evidencia que o uso de protetores solares deve ser combinado com outras práticas de manejo, como a escolha de porta-enxertos mais vigorosos e com maior capacidade de transporte de água (Xu et al., 2022; Kalcsits, 2023).

De modo geral, os resultados obtidos com maçã indicam que os filmes de caulim e, em menor grau, o carbonato de cálcio são ferramentas eficazes para reduzir o *sunburn*, diminuir a temperatura da casca e preservar a qualidade externa e pós-colheita dos frutos, especialmente em ambientes com alta radiação e temperaturas elevadas. Ao mesmo tempo, os estudos mostram que é necessário manejar bem as aplicações, para evitar excesso de resíduos na casca,

redução indesejada da coloração em cultivares pigmentadas e baixa eficiência econômica da prática. Dessa forma, o uso de protetores solares deve ser integrado a outras técnicas de manejo do dossel e do microclima do pomar (Glenn et al., 2002; Schupp; Fallahi; Chun, 2002).

Manga (*Mangifera indica*)

Em regiões de clima quente, a manga está entre as espécies mais afetadas pelo *sunburn*. Os frutos mais expostos ao sol podem atingir temperaturas de casca acima de 45 °C, favorecendo o aparecimento de manchas amarronzadas, necroses e até a queda antecipada dos frutos (Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022; Hamdy et al., 2022). Estudos recentes realizados na região do Mediterrâneo demonstraram que o uso de caulim, tanto na forma de pó quanto na forma líquida, pode ser uma alternativa promissora e economicamente viável para reduzir a incidência e a severidade do *sunburn* em cultivares comerciais de manga, como ‘Glenn’ e ‘Maya’ (Bellitti et al., 2025).

Em pomar experimental com as cultivares ‘Glenn’ e ‘Maya’, a aplicação de caulim em diferentes formulações reduziu de forma expressiva a chance de ocorrência de frutos com *sunburn* em comparação às plantas não tratadas. O maior destaque foi observado para o caulim líquido, que reduziu em cerca de 68% a probabilidade de os frutos apresentarem danos em relação ao controle (Bellitti et al., 2025). Além da redução do *sunburn*, também foram observadas melhorias nas características físico-químicas dos frutos, como maior peso médio, melhor coloração e teores adequados de sólidos solúveis e acidez, sem prejuízos relevantes à qualidade interna (Bellitti et al., 2025; Hamdy et al., 2022). Esses resultados indicam que o caulim pode ser incorporado ao manejo da mangueira como uma estratégia de baixo custo para reduzir danos causados pelo calor e pela radiação, além de diminuir perdas comerciais.

Estudos realizados em outras regiões quentes indicam que a aplicação de caulim em concentrações próximas de 4 a 6% também pode melhorar as características vegetativas e fisiológicas da mangueira, como a área foliar e o volume de copa. Essas melhorias podem favorecer maior interceptação de luz e melhor distribuição da carga térmica sobre os frutos (Hamdy; Abdel-Aziz; Ali, 2022; Hamdy et al., 2022). Nessas condições, o caulim contribuiu para aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos, ao mesmo tempo em que reduziu o número de frutos queimados e a queda pré-colheita. Isso demonstra que esse protetor solar pode atuar tanto na proteção direta dos frutos quanto na melhoria do estado fisiológico das plantas durante períodos de estresse no verão (Hamdy; Abdel-Aziz; Ali, 2022; Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022).

Uva (*Vitis vinifera*)

Na viticultura, o *sunburn* em bagas de uva está relacionado à combinação de radiação solar intensa, temperaturas elevadas e manejo do dossel que deixa os cachos muito expostos. Esse problema ocorre principalmente em regiões de clima quente ou nos períodos de ondas de calor. Em cultivares viníferas, como ‘Cabernet Sauvignon’ e ‘Riesling’, essas condições podem causar escurecimento das bagas, desidratação, rachaduras e mudanças na composição de açúcares, ácidos e compostos fenólicos, afetando diretamente a qualidade do vinho (Lobos et al., 2015; Dinis et al., 2020). Nesse contexto, tanto o sombreamento parcial da região dos frutos quanto a aplicação de filmes particulados à base de caulim vêm sendo avaliados como alternativas para regular o microclima e reduzir a incidência de *sunburn* (Lobos et al., 2015).

Em vinhedo de ‘Cabernet Sauvignon’ cultivado sob clima quente, a pulverização periódica de caulim sobre folhas e cachos aumentou a reflexão da luz e reduziu a temperatura dos frutos em aproximadamente 1 °C em comparação ao controle. Já o uso de telas de sombreamento proporcionou redução mais expressiva da temperatura, em torno de 7 °C, além de diminuir significativamente a incidência de bagas queimadas. Os dois tratamentos reduziram os efeitos negativos do excesso de radiação e calor sobre as bagas, contribuindo para melhorar a integridade da casca e preservar a composição de ácidos e antocianinas. Nesse caso, o sombreamento se destacou pela maior eficiência na redução da temperatura, enquanto o caulim apareceu como uma alternativa com menor interferência na entrada de luz e nas práticas de manejo do vinhedo (Lobos et al., 2015).

Em uva de mesa ‘Thompson Seedless’, a aplicação foliar de caulim nas concentrações de 5 e 7,5% reduziram significativamente a incidência e a severidade do *sunburn* nas bagas. Além disso, melhorou a cor, a firmeza e alguns parâmetros de qualidade dos cachos, quando comparada às plantas não tratadas (Sagredo et al., 2019; Glenn et al., 2002). Nesse estudo, os sintomas de *sunburn* em folhas foram observados apenas nas videiras sem tratamento. As plantas que receberam a maior concentração de caulim também apresentaram melhor coloração verde do dossel, sugerindo menor estresse térmico e foto-oxidativo (Sagredo et al., 2019; Conde et al., 2018). De modo geral, esses resultados indicam que o caulim pode ser uma ferramenta útil para reduzir danos nas bagas e manter a funcionalidade da copa em vinhedos expostos à alta radiação e temperatura.

Estudos fisiológicos em videira também mostram que o filme de caulim pode alterar o balanço de energia e a fotossíntese das folhas, reduzindo a fotoinibição e modificando o metabolismo primário em condições de estresse hídrico e radiação intensa. A aplicação de caulim nas folhas estimulou a síntese de fotoassimilados e alterou o perfil de metabólitos

primários. Ao mesmo tempo, reduziu a temperatura foliar e a intensidade dos danos foto-oxidativos, indicando que o protetor atua como um modulador do estresse causado pela combinação de calor e déficit hídrico (Conde et al., 2018; Teker et al., 2023). Esses resultados reforçam que, na viticultura, o uso de caulim pode ser integrado a outras estratégias de manejo, como sombreamento, ajuste da desfolha e manejo da irrigação, com o objetivo de reduzir a incidência de *sunburn* e adaptar os vinhedos a condições climáticas mais quentes e variáveis (Lobos et al., 2015; Frioni et al., 2019).

Romã (*Punica granatum* L.)

A romã (*Punica granatum* L.) é considerada uma das espécies mais sensíveis ao *sunburn* em regiões de clima quente. Há relatos de perdas que podem chegar a 30 – 40% da produção em áreas mediterrâneas quando não são adotadas práticas adequadas de manejo. Em síntese recente, são descritos como sintomas típicos do *sunburn* em romã o escurecimento, a necrose e as rachaduras na casca, geralmente associados a temperaturas de superfície acima de 45–50 °C e ao forte estresse oxidativo no pericarpo (Ali, 2025; Gündoğdu; Yılmaz, 2025). Essas alterações prejudicam a aparência externa, o valor nutricional e funcional dos frutos, além de reduzirem sua vida útil após a colheita. Com isso, há impacto direto na aceitação comercial da romã em mercados de fruta fresca (Ali, 2025; Liu et al., 2022).

Estudos recentes indicam que os filmes particulados à base de caulim estão entre as principais estratégias para reduzir o *sunburn* e melhorar a qualidade de frutos de romã em regiões quentes. Em ensaio com três cultivares comerciais, a aplicação de caulim em concentrações de 4 a 6% reduziu significativamente a incidência de frutos com *sunburn* e rachaduras. Ao mesmo tempo, houve aumento no peso médio dos frutos, no teor de sólidos solúveis, na firmeza e na coloração da casca (Budković et al., 2025; Ali, 2025). Em alguns casos, programas com quatro pulverizações de caulim a 5%, realizadas entre o final de junho e o início de agosto, reduziram a proporção de frutos danificados e aumentaram o rendimento de frutos comercializáveis em mais de 60% em relação ao controle. Esses resultados mostram um efeito importante na redução do *sunburn* e indicam possível ganho econômico para o produtor (Budković et al., 2025; Ahmed; Gaber, 2022).

Além do uso isolado de caulim, estratégias integradas que combinam filmes particulados com sombreamento e ensacamento dos frutos também têm apresentado bons resultados em romã. Em cultivares como ‘Manfalouty’, a associação entre ensacamento dos frutos e pulverizações com caulim reduziu a incidência de *sunburn* e rachaduras de níveis próximos a 30 – 40% para resultados em torno de 15–20%. Também foi observado aumento expressivo na porcentagem de frutos classificados nas categorias superiores de qualidade (Ahmed; Gaber,

2022; Ali, 2025). Estudos fisiológicos complementares indicam que essas práticas, ao reduzirem a temperatura e a radiação sobre a superfície do pericarpo, favorecem o acúmulo de antocianinas e de outros compostos antioxidantes. Além disso, ajudam a diminuir a lipoperoxidação e a degradação de pigmentos, contribuindo para manter a integridade da casca e a estabilidade da qualidade dos frutos durante o armazenamento (Liu et al., 2022; Muñoz; Munné Bosch, 2018).

Análise econômica do uso de protetores solares por cultura

De modo geral, os protetores solares à base de caulim e carbonato de cálcio apresentam custo relativamente baixo por hectare, principalmente quando comparados às perdas que o *sunburn* pode causar na fruticultura comercial. Revisões sobre o manejo dessa desordem indicam que, em culturas mais sensíveis, as perdas podem variar de 10 – 15% em anos moderadamente quentes até mais de 30 – 40% em anos com ondas de calor, dependendo da espécie, do manejo da copa e do mercado de destino dos frutos (Bhattacharjee et al., 2022; Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022).

Nessas condições, o investimento em duas a quatro pulverizações de protetor solar ao longo da safra tende a ser compensado pela menor quantidade de frutos descartados e pelo aumento da proporção de frutos classificados em categorias comerciais superiores (Lal; Sahu, 2017; Glenn et al., 2002).

Em citros, estudos com tangerina ‘Balady’ e tangerina ‘Murcott’ demonstram que o custo de programas com duas a quatro aplicações de caulim, ou de misturas de caulim, óxido de cálcio e boro, pode ser compensado pela redução expressiva de frutos com *sunburn* e pelo aumento do rendimento de frutos comercializáveis. Em tangerina ‘Balady’, o uso de caulim reduziu a incidência de *sunburn* e aumentou o rendimento por planta, além de melhorar o peso e a qualidade dos frutos. Na prática, isso representa a recuperação de parte importante da produção que poderia ser descartada ou vendida por menor preço (Ennab; El Sayed; Abo El Enin, 2017; Ennab et al., 2025).

Em ‘Murcott’, a combinação de caulim, óxido de cálcio e boro reduziu o *sunburn*, aumentou a produtividade e melhorou atributos como firmeza e teor de vitamina C. Esses resultados indicam que, em ambientes com forte estresse térmico, a relação custo-benefício tende a ser favorável, principalmente em pomares voltados à exportação e a mercados de fruta fresca de maior valor (Mosa et al., 2025; Lal; Sahu, 2017).

Na laranja ‘Pera’, o uso de protetor à base de carbonato de cálcio, além de reduzir o *sunburn*, aumentou a eficiência do uso da água e a produção por planta em diferentes níveis de

irrigação. Isso reforça a viabilidade econômica dessa prática em sistemas sujeitos a déficit hídrico moderado (Santos Filho et al., 2024; Barbosa, 2021).

Na cultura da maçã, a importância econômica dos protetores solares é ainda mais evidente, devido ao alto valor agregado dos frutos destinados ao mercado de mesa e à forte exigência quanto à aparência. Revisões sobre *sunburn* em maçã relatam que, em anos com ondas de calor, pomares sem manejo adequado podem apresentar perdas superiores a 30 – 50% da produção comercializável por *sunburn* e desordens associadas (Racskó; Schrader, 2012; Wand; Theron; Ackerman, 2004). Ensaio com filmes de caulim e produtos à base de carbonato de cálcio mostram reduções importantes na incidência de frutos queimados e aumento da proporção de frutos nas classes de maior valor. Esses efeitos estão associados à redução da temperatura de superfície em cerca de 1 – 3 °C e à melhor estabilidade da qualidade pós-colheita (Glenn et al., 2002; Colavita, 2014). Embora esses programas exijam duas a quatro aplicações ao longo da safra, especialmente em cultivares sensíveis como ‘Fuji’ e ‘Honeycrisp’, os ganhos com frutos de melhor classificação e maior aproveitamento comercial geralmente superam o custo da prática, principalmente em regiões produtoras voltadas à exportação (Schupp; Fallahi; Chun, 2002; (Kalcsits, 2023).

Em manga, a análise econômica considera tanto a redução do *sunburn* quanto a melhoria da qualidade dos frutos em cultivares de alto valor, como ‘Glenn’ e ‘Maya’. Em estudos conduzidos no Mediterrâneo, o uso de caulim, principalmente em formulação líquida, reduziu em torno de 60 – 70% a probabilidade de ocorrência de *sunburn* em comparação ao controle. Além disso, aumentou a produção de frutos comercializáveis e melhorou características como coloração, peso e parâmetros físico-químicos (Bellitti et al., 2025; Hamdy et al., 2021). Nesse caso, a comparação dos resultados mostra que, em anos de forte estresse térmico, a redução das perdas por *sunburn* pode ficar entre 20 – 30 pontos percentuais, enquanto o custo adicional se concentra em algumas pulverizações de caulim ao longo do verão. Por isso, essa tecnologia se mostra especialmente interessante para produtores que atendem mercados exigentes em aparência e qualidade sensorial dos frutos (Bellitti et al., 2025; Fischer; Orduz Rodríguez; Amarante, 2022).

Na viticultura, o impacto econômico dos protetores solares varia conforme a cultivar, o destino da produção, seja vinho ou uva de mesa, e o sistema de manejo adotado. Mesmo assim, há evidências de retorno favorável em situações de alto risco de *sunburn*. Em uvas de mesa ‘Thompson Seedless’, aplicações de caulim a 5 – 7,5% reduziram significativamente a incidência de bagas com *sunburn* e melhoraram a cor e a firmeza dos cachos. Com isso, houve aumento da proporção de frutos de primeira categoria e redução de perdas na colheita e na pós-

colheita (Sagredo et al., 2019; Conde et al., 2018). Em uvas para vinho, como ‘Cabernet Sauvignon’ e ‘Riesling’, o uso de caulim combinado ao sombreamento parcial reduziu a temperatura das bagas e a ocorrência de *sunburn*, mantendo a qualidade tecnológica das uvas. Nesses casos, a comparação entre estratégias indica que o sombreamento tende a reduzir mais a temperatura, enquanto o caulim apresenta menor investimento inicial e maior flexibilidade de uso (Lobos et al., 2015; Waber et al., 2025).

Para a romã, a literatura apresenta uma das relações mais claras entre investimento em protetores solares e retorno econômico. Isso ocorre pela grande sensibilidade da casca ao *sunburn* e pelo alto valor do fruto para consumo in natura e processamento. Em cultivares como ‘Wonderful’ e ‘Manfalouty’, a incidência de *sunburn* e rachaduras pode atingir 30 – 40% dos frutos em anos quentes, reduzindo de forma expressiva a renda do produtor. Por outro lado, programas integrados com caulim, ensacamento ou sombreamento reduziram esses resultados para faixas entre 15 – 20% ou menos, além de aumentarem a porcentagem de frutos classificados em categorias superiores de qualidade (Ali, 2025; Ahmed; Gaber, 2022). Em ensaios com caulim conduzidos em três cultivares, também foi demonstrado aumento significativo no rendimento de frutos comercializáveis e melhoria de atributos de qualidade, como cor, teor de sólidos solúveis e acidez. Assim, mesmo considerando o custo de várias aplicações, os resultados sugerem potencial para uma relação custo-benefício favorável em regiões com alta incidência de *sunburn* (Budković et al., 2025; İkinçi, 2025).

Ao comparar as culturas, observa-se que citros, maçã, manga, uva de mesa e romã apresentam potencial de retorno econômico que justifica o uso de protetores solares em ambientes com alto risco de *sunburn*. Esse retorno tende a ser maior quando os frutos são destinados a mercados que valorizam aparência e qualidade. Em situações em que o risco climático é menor, os preços pagos são mais baixos ou o manejo agrônômico já reduz bastante a exposição dos frutos, o uso desses produtos deve ser avaliado com mais cautela.

Nesses casos, é importante considerar o custo das aplicações, a necessidade de reaplicação após chuvas e a compatibilidade com outras práticas, como sombreamento e manejo da copa (Lal; Sahu, 2017; Glenn et al., 2002). Ainda assim, à medida que os eventos de calor extremo se tornam mais frequentes e a variabilidade climática aumenta, esses produtos tendem a ganhar importância como parte de estratégias integradas de adaptação da fruticultura às novas condições climáticas (Bhattacharjee et al., 2022; Singh et al., 2024).

Limitações e perspectivas de pesquisa

Apesar dos resultados positivos observados em diferentes frutíferas, o uso de protetores solares à base de caulim e de outros filmes particulados apresenta algumas limitações

importantes, que devem ser consideradas antes da recomendação técnica. Revisões sobre essa tecnologia demonstram que os benefícios são mais evidentes em ambientes com alta radiação solar e temperaturas elevadas. Por outro lado, em condições de radiação moderada ou de sombreamento excessivo, os efeitos podem ser neutros ou até negativos, pois a redução adicional da luz pode limitar a fotossíntese e a produtividade das plantas (Sharma; Reddy, 2015).

Estudos fisiológicos também indicam que o caulim pode reduzir a taxa fotossintética de folhas individuais quando as plantas não estão sob forte estresse térmico. Isso demonstra que seu uso deve ser ajustado conforme o clima, a fase da cultura e o risco real de estresse por calor, evitando possíveis perdas de produtividade em situações de menor demanda térmica (Glenn; Puterka, 2007; Santos et al., 2022).

Outra limitação importante está relacionada à necessidade de cobertura uniforme e à permanência do filme sobre a superfície de folhas e frutos. Para que a película seja eficiente, o produto precisa ser bem formulado e aplicado com volume de calda suficiente para cobrir de forma regular as áreas mais expostas da planta. Aplicações mal calibradas podem deixar partes sem proteção adequada ou, ao contrário, causar deposição excessiva do produto, o que pode interferir na coloração de frutos destinados ao mercado de mesa (Glenn et al., 2002; Sharma; Reddy, 2015). Além disso, chuvas intensas podem remover parte da película, e o crescimento de novos tecidos exige reaplicações ao longo da safra. Isso aumenta o custo operacional e torna o manejo mais complexo, principalmente em pomares maiores ou em propriedades com limitação de mão de obra (Lal; Sahu, 2017; Bernardi, 2020).

Também existem dúvidas sobre os possíveis impactos ambientais e os resíduos associados ao uso contínuo de partículas minerais sobre as plantas e no solo. Embora o caulim seja considerado quimicamente inerte e aprovado para uso em sistemas orgânicos, revisões apontam que o acúmulo de material particulado pode alterar temporariamente a refletância do dossel, a temperatura superficial do solo. Esses aspectos ainda precisam ser avaliados de forma mais detalhada em estudos de longo prazo (Sharma; Reddy, 2015; Santos et al., 2022).

Além disso, a integração dos protetores solares com o manejo de pragas e doenças exige mais pesquisas, pois os filmes podem interferir na deposição de outros produtos fitossanitários ou dificultar a identificação visual de sintomas. Por isso, pode ser necessário ajustar as estratégias de monitoramento e controle no campo (Sharma et al., 2015).

Do ponto de vista da pesquisa, diferentes autores destacam a necessidade de ampliar os estudos em culturas e ambientes ainda pouco avaliados. Também se observa a importância de integrar o uso de protetores solares com outras estratégias de manejo do *sunburn* e do estresse

térmico. Revisões sobre filmes particulados e estudos recentes em culturas como romã, citros e videira indicam que a combinação de caulim com telas de sombreamento, ensacamento de frutos, manejo da copa e irrigação de precisão tende a apresentar resultados melhores do que o uso de uma única prática isolada.

No entanto, ainda há pouco conhecimento sobre a melhor forma de combinar cada uma dessas estratégias dentro de um manejo integrado (Ali, 2025; İkinici, 2025). Também são apontadas lacunas relacionadas à seleção de genótipos e porta-enxertos mais tolerantes ao *sunburn*, ao uso de sensores para monitorar a temperatura da superfície dos frutos em tempo real e à avaliação econômica e ambiental de longo prazo da adoção de protetores solares em diferentes sistemas de produção (Xu et al., 2022; Glenn; Puterka, 2004).

As perspectivas futuras incluem o desenvolvimento de formulações mais seletivas, com partículas de tamanho e capacidade de reflexão ajustadas para aumentar a proteção contra a radiação que causa superaquecimento, sem prejudicar a fotossíntese e a coloração dos frutos. Revisões recentes sugerem que filmes fotoseletivos, combinando caulim com outros componentes, como óxidos metálicos e compostos bioativos, podem controlar de forma mais precisa a luz incidente. Além disso, esses produtos podem trazer efeitos adicionais, como maior eficiência no uso da água e possível contribuição para o manejo integrado de pragas (Sharma; Reddy, 2015; Tosin et al., 2023).

Para a fruticultura em cenários de mudanças climáticas, a tendência é que as pesquisas avancem para sistemas integrados de manejo do microclima do pomar. Nesse caso, os protetores solares poderão ser combinados com sombreamento, sensores, modelos de previsão de *sunburn* e seleção genética, com o objetivo de reduzir riscos, otimizar o uso de água e energia e garantir maior sustentabilidade econômica e ambiental aos pomares (Bhattacharjee et al., 2022; Singh et al., 2024).

CONCLUSÕES

Os protetores solares agrícolas apresentam grande importância no manejo do *sunburn* em frutíferas, especialmente em regiões com alta radiação solar e temperaturas elevadas.

Produtos à base de caulim e carbonato de cálcio contribuem para reduzir o aquecimento da superfície dos frutos, diminuir a ocorrência de queimaduras solares e preservar características importantes para a comercialização, como aparência, firmeza e coloração.

Além da proteção direta dos frutos, esses produtos também podem auxiliar na redução do estresse térmico e foto-oxidativo das plantas. Dessa forma, favorecem melhores condições

fisiológicas durante períodos de maior risco climático, contribuindo para o desenvolvimento dos frutos e para a manutenção da produtividade dos pomares.

No entanto, seu uso exige planejamento e deve considerar a cultura, a cultivar, as condições climáticas, a dose, o momento de aplicação e a necessidade de reaplicações.

Os protetores solares devem ser utilizados como parte de um manejo integrado, junto a práticas como sombreamento, irrigação adequada, manejo da copa e escolha de materiais mais tolerantes.

Assim, essa tecnologia demonstra ser uma alternativa viável para reduzir perdas, melhorar a qualidade dos frutos e fortalecer a sustentabilidade econômica de pomares comerciais em cenários de maior ocorrência de calor e radiação intensa.

DECLARAÇÃO SOBRE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A revisão textual e a adequação das referências bibliográficas foram auxiliadas pela ferramenta ChatGPT (OpenAI), sendo a verificação final e a validação do conteúdo realizadas pelo autor.

REFERÊNCIAS

AHMED, A. A.; GABER, S. H. *Improving yield and quality of Manfalouty pomegranate growing in newly reclaimed soils by using bagging and some foliar spray treatments*. **Journal of Applied Horticulture**, v. 24, n. 3, p. 365–371, 2022. Disponível em: <https://horticultureresearch.net/jah/Improving%20yield%20and%20quality%20of%20Manfalouty%20pomegranate.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2026.

AL-GHAMDI, A. A.; ALI, E. F.; ALI, O. M.; AL-HARBI, S. M.; AL-ANZI, N. R. *Analysis of UV radiation-induced changes: effects on morpho-physiological and biochemical characteristics of Portulaca oleracea L*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 210, 108562, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12502423/>. Acesso em: 22 mar. 2026.

ALI, İ. *Sunburn in pomegranate (Punica granatum L.) fruit: causes and integrated management practices for its prevention*. **Journal of Agriculture**, Ankara, v. 8, n. 2, p. 195–211, 2025.

ALVAREZ, H. L.; DI BELLA, C. M.; COLAVITA, G. M.; ORICCHIO, P.; STRACHNOY, J. *Comparative effects of kaolin and calcium carbonate on apple fruit surface temperature and leaf net CO₂ assimilation*. **Journal of Applied Horticulture**, Lucknow, v. 17, n. 3, p. 176–180, 2015. Disponível em: <https://www.horticultureresearch.net/Page/Comparative%20effects%20of%20kaolin%20and%20calcium%20carbonate%20on%20apple%20fruit%20surface%20temperature%20and%20leaf%20net%20CO2%20assimilation>. Acesso em: 29 mar. 2026.

ASARGEW, M. F.; MASUTOMI, Y.; KOBAYASHI, K.; AONO, M. *Water stress changes the relationship between photosynthesis and stomatal conductance*. **Science of the Total Environment**, v. 907, 167886, 2024. Acesso em: 11 abr. 2026. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167886.

BARBOSA, N. T. B. *Uso de protetor solar para minimizar os efeitos do excesso de luminosidade e aumento na temperatura do ar sobre a fotossíntese e pegamento de frutos em citros*. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Federal de São Carlos**, Araras, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/items/384518bb-2af9-4065-bbfd-6e190cefc4aa>. Acesso em: 18 abr. 2026.

BELLITTI, S.; MEZZANO, M.; MASSAAD, M.; GUGLIUZZA, G. *Kaolin as a cost-effective approach for sunburn on mango in the Mediterranean Basin*. **Applied Fruit Science**, 2025. Disponível em: <https://iris.unipa.it/retrieve/d00bfd30-a9b8-4427-b9b2-6cdced12fced/s10341-025-01615-0.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2026.

BERNARDI, L. G. P. *Use of coating particle films to modulate leaf temperature and heat stress on citrus trees*. 2020. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produção Agrícola – Agricultura Tropical e Subtropical) – **Instituto Agrônômico de Campinas**, Campinas, 2020. Acesso em: 24 mar. 2026.

BHATTACHARJEE, P.; WARANG, O.; DAS, S.; DAS, S. *Impact of climate change on fruit crops: a review*. **Current World Environment**, Bhopal, v. 17, n. 2, p. 401–412, 2022. Disponível em: <https://www.cwejournal.org/vol17no2/pimpact-of-climate-change-on-fruit-crops-a-reviewp>. Acesso em: 10 abr. 2026.

BUDKOVIĆ, M.; JEMRIĆ, T.; MILOŠEVIĆ, T.; BARIĆ, M. *Effect of kaolin particle film on the fruit yield and quality of three pomegranate cultivars*. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, v. 90, n. 4, p. 251–260, 2025. Disponível em: <http://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/article/download/2734/1459>. Acesso em: 16 mar. 2026.

COLAVITA, G. M. *Comparative effects of kaolin and calcium carbonate on apple fruit surface temperature and leaf net CO₂ assimilation*. **Journal of Applied Horticulture**, Lucknow, v. 16, n. 3, p. 178–184, 2014. Acesso em: 20 abr. 2026.

CONDE, A. et al. *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. Acesso em: 02 abr. 2026. DOI: 10.1016/j.jplph.2018.02.004.

DINIS, L. T. et al. *Temperature and light impacts on sunburn, and mitigation by protective strategies in grapevine*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, 2024. Acesso em: 27 mar. 2026.

ENNAB, H. A. et al. *Effect of kaolin applications on fruit sunburn, yield and fruit quality of Balady mandarin trees*. **Menoufia Journal of Plant Production**, Shebin El-Kom, v. 10, n. 2, p. 925–938, 2025. Acesso em: 09 abr. 2026.

ENNAB, H. A.; EL-SAYED, S. A.; ABO EL-ENIN, M. M. S. *Effect of kaolin applications on fruit sunburn, yield and fruit quality of Balady mandarin (Citrus reticulata Blanco)*. **Menoufia Journal of Plant Production**, Shebin El-Kom, v. 2, p. 129–138, 2017. Acesso em: 31 mar. 2026.

FISCHER, G.; ORDUZ-RODRÍGUEZ, J. O.; AMARANTE, C. V. T. do. *Sunburn disorder in tropical and subtropical fruits: a review*. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Tunja, v. 16, n. 3, e15703, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.1570>. Acesso em: 03 mar. 2026.

FRIONI, T. et al. *Understanding kaolin effects on grapevine leaf and whole-canopy physiology under summer stress conditions*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 257, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31450036/>. Acesso em: 14 abr. 2026.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. *Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 241, p. 118–125, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818303509>. Acesso em: 22 abr. 2026.

GINDABA, J.; WAND, S. J. E. *Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples*. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 3, p. 592–596, 2005. Acesso em: 19 mar. 2026.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. *Particle film technology: an overview of history, concepts and impact in horticulture*. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 636, p. 509–511, 2004. Acesso em: 08 abr. 2026. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.636.63.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. *Physiological effects of kaolin particle film technology: a review*. **Functional Plant Science and Biotechnology**, v. 1, n. 1, p. 100–105, 2007. Acesso em: 25 mar. 2026.

GLENN, D. M. et al. *A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection and solar injury in apple*. **HortScience**, Alexandria, v. 37, n. 2, p. 271–276, 2002. Acesso em: 06 abr. 2026. DOI: 10.21273/HORTSCI.37.2.271.

HAMDY, A. E.; ABDEL-AZIZ, F. H.; ALI, M. S. M. *Kaolin improves photosynthetic pigments, and antioxidant content, and decreases sunburn of mangoes: field study*. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 7, 1535, 2022. Disponível em: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/67598af7c7a957febdbf9cd2>. Acesso em: 01 abr. 2026.

HAMDY, A. et al. *Kaolin improves photosynthetic pigments, antioxidant content and decreases sunburn of mangoes: field study*. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapeste, v. 19, n. 4, p. 3333–3348, 2021. Acesso em: 15 mar. 2026.

İKİNCİ, A. *Sunburn in pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit: causes and integrated management practices for its prevention*. **Journal of Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 1–20, 2025. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ja/article/1799371>. Acesso em: 09 mar. 2026.

JOHNSON, G. *Sunburn in fruiting vegetables and fruit crops*. **Weekly Crop Update, University of Delaware**, Newark, 2023. Disponível em: <https://sites.udel.edu/weeklycropupdate/?p=22837>. Acesso em: 21 mar. 2026.

KAHRAMANOGLOU, İ.; USANMAZ, S. *Sunburn in pomegranate (Punica granatum L.) fruit: causes and integrated management practices*. **Journal of Agriculture**, Ankara, v. 6, n. 4, p. 210–225, 2016. (Dados complementares sintetizados em *DergiPark*, 2025). Acesso em: 24 mar. 2026.

KALCSITS, L. *Sunburn in apple and strategies to mitigate it*. **Washington State University Tree Fruit**, Wenatchee, 2023. Disponível em: <https://treefruit.wsu.edu/sunburn-in-apple-and-strategies-to-mitigate-it/>. Acesso em: 04 abr. 2026.

LAL, N.; SAHU, N. *Management strategies of sun burn in fruit crops: a review*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Varanasi, v. 6, n. 6, p. 1126–1138, 2017. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=2773&vol=6-6-2017&SNo=131>. Acesso em: 13 mar. 2026.

LIU, X. et al. *Physiological adjustment of pomegranate pericarp responding to sunburn and its underlying molecular mechanisms*. **BMC Plant Biology**, v. 22, n. 169, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8978398/>. Acesso em: 02 mar. 2026.

LOBOS, G. A. et al. *Effects of kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet Sauvignon grapevines in a warm, dry climate*. **OENO One**, Bordeaux, v. 49, n. 3, p. 151–162, 2015. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/86>. Acesso em: 23 abr. 2026.

MOSA, W. et al. *Influence of kaolin, calcium oxide, and boron trioxide sprays to reduce sunburn and enhance fruit productivity and quality in Murcott mandarin*. **BioResources**, Raleigh, v. 20, n. 4, p. 9606–9624, 2025. Disponível em: <https://ojs.bioresources.com/index.php/BRJ/article/view/24342>. Acesso em: 30 mar. 2026.

MUÑOZ, P.; MUNNÉ-BOSCH, S. *Photooxidative stress in fruits: a focus on the protective roles of antioxidants*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 239, p. 163–172, 2018. Acesso em: 12 abr. 2026.

RACSKÓ, J.; SCHRADER, L. E. *Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives*. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Londres, v. 31, n. 6, p. 455–504, 2012. Acesso em: 06 mar. 2026.

SAGREDO, K. X.; LOBOS, G. A.; GUERRA, M. H.; VERGARA, P. *Foliar application of kaolin reduces the incidence of sunburn in ‘Thompson Seedless’ grapevine*. **European Journal of Horticultural Science**, Stuttgart, v. 84, n. 3, p. 181–190, 2019. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.17660/eJHS.2019/84.3.7>. Acesso em: 17 abr. 2026.

SANTOS FILHO, H. P. et al. *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**, Jaboticabal, v. 46, e-1234, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/PfBW74wTLnTMtNQkYThdCGb/>. Acesso em: 01 mar. 2026.

SANTOS, N. T. et al. *Kaolin film increases gas exchange parameters of coffee seedlings during transference from nursery to full sunlight*. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, 784482, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.784482/full>. Acesso em: 08 mar. 2026.

SCHRADER, L. E. et al. *Environmental factors that influence the development of apple sunburn*. **Plant Health Progress**, St. Paul, 2001. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHP-2001-1004-01-RS>. Acesso em: 19 abr. 2026.

SCHUPP, J.; FALLAHI, E.; CHUN, I. *Effect of Surround particle film on fruit sunburn, maturity and quality of ‘Fuji’ and ‘Honeycrisp’ apples*. **New York Fruit Quarterly**, Geneva, v. 10, n. 2, p. 9–13, 2002. Disponível em: <https://nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/Effect-of-Surround-Particle-Film-on-Fruit-Sunburn-Maturity-and-Quality-of-Fuji-and-Honeycrisp-Apples.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2026.

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. *Particle films and their applications in horticultural crops*. **Applied Clay Science**, Amsterdã, v. 116–117, p. 54–68, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131715300776>. Acesso em: 28 mar. 2026. DOI: 10.1016/j.clay.2015.08.005.

SHARMA, R. R.; DATTA, S. C.; VARGHESE, E. *Kaolin-based particle film sprays reduce the incidence of pests, diseases and storage disorders and improve postharvest quality of ‘Delicious’ apples*. **Crop Protection**, Amsterdã, v. 130, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219419302960>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SINGH, R. P. et al. *The impact of climate change variability on horticultural productivity: a review*. **International Journal of Advanced Biochemistry Research**, s.l., v. 8, n. 9, p. 329–333, 2024. Acesso em: 03 abr. 2026. DOI: <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i9e.2157>.

SUWANNARUT, A.; VIALET-CHABRAND, S.; KAISER, E. *Diurnal decline in photosynthesis and stomatal conductance in several tropical species*. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, 1273802, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2023.1273802/full>. Acesso em: 20 mar. 2026.

TEKER, T.; TURCAN, M.; YILMAZ, H.; KARADEMİR, E. *A study of kaolin effects on grapevine physiology and its ability to protect grape clusters from sunburn damage*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 311, 111824, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423822009335>. Acesso em: 07 mar. 2026.

TOSIN, R. C. C. et al. *Kaolin particle film mitigates supra-optimal temperature stress effects at leaf scale and increases bean size and productivity of Coffea canephora*. **Experimental Agriculture**, v. 59, e13, 2023. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/kaolin-particle-film-mitigates-supraoptimal-temperature-stress-effects-at-leaf-scale-and-increases-bean-size-and-productivity-of-coffeea-canephora/>. Acesso em: 26 mar. 2026.

UNITED STATES. **US Patent 2009-0186768 A1**. *Sunscreen formulations for use in the production of organic crops*. Inventor: Daniel T. ACREE. 16 jul. 2009. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20090186768A1/en>. Acesso em: 21 mar. 2026.

UNITED STATES. **US Patent 2014-0044862 A1**. *Sunscreen compositions for application to plants*. Inventor: Daniel T. ACREE. 13 fev. 2014. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20140044862A1/en>. Acesso em: 05 mar. 2026.

WABER, J. et al. *Minimising sunburn necrosis on Vitis vinifera L. 'Riesling' grapes by defoliation, photo- and thermal protection*. **OENO One**, v. 59, n. 3, p. 589–609, 2025. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/9357>. Acesso em: 23 mar. 2026.

WAND, S. J. E.; THERON, K. I.; ACKERMAN, J. *Fruit sunburn in South African apple orchards: causes, impacts and management with kaolin particle films*. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 636, p. 551–558, 2004. Acesso em: 18 mar. 2026.

WAND, S. J. E.; THERON, K. I.; ACKERMAN, J.; MARAIS, S. J. S. *Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African orchards*. **Scientia Horticulturae**, v. 107, p. 271–276, 2006. Acesso em: 09 abr. 2026. DOI: 10.1016/j.scienta.2005.11.002.

XU, H. et al. *Characteristics of sunburn browning fruit and rootstock-dependent damage-free yield of Ambrosia™ apple after sustained summer heat events*. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 4, 964, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9100062/>. Acesso em: 14 mar. 2026.

ZHANG, S. et al. *Variation of photosynthetic induction in major horticultural crops is mostly driven by differences in stomatal traits*. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, 860229, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.860229/full>. Acesso em: 28 mar. 2026.