

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA CURSO DE DOUTORADO

USO DE PROTETOR SOLAR PARA MITIGAR ESTRESSES
ABIÓTICOS EM FRUTEIRAS NO SUBMEDIO DO VALE DO
SÃO FRANCISCO

GILMARIO NOBERTO DE SOUZA

CRUZ DAS ALMAS-BAHIA

2026

USO DE PROTETOR SOLAR PARA MITIGAR ESTRESSES ABIÓTICOS EM FRUTEIRAS NO SUBMEDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Gilmario Noberto de Souza

Engenheiro Agrônomo

Universidade do Estado da Bahia, 2015

Mestre em Agronomia: horticultura irrigada

Universidade do Estado da Bahia, 2019

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos)

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho

CRUZ DAS ALMAS-BAHIA

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

S729u

Souza, Gilmaro Noberto de.

Uso de protetor solar para mitigar estresses abióticos em fruteiras no Submédio do Vale do São Francisco / Gilmaro Noberto de Souza. _ Cruz das Almas, BA, 2026.
102f.; il.

(TESE) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Doutorado em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho.

1.Fruticultura – Manga – Manejo. 2.Fruticultura – Condições hídricas. 3.Regões Áridas – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 634

Ficha elaborada pela Biblioteca Central da UFRB. Responsável pela
Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA CURSO DE DOUTORADO

USO DE PROTETOR SOLAR PARA MITIGAR ESTRESSES
ABIÓTICOS EM FRUTEIRAS NO SUBMEDIO DO VALE DO
SÃO FRANCISCO

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Gilmario Noberto de Souza

Aprovada em 02 de março de 2026

 Documento assinado digitalmente
MAURICIO ANTONIO COELHO FILHO
Data: 04/05/2026 21:52:43-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB

(orientador)  Documento assinado digitalmente
LIGIA BORGES MARINHO
Data: 04/05/2026 16:30:38-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Ligia Borges Marinho

Universidade do Estado da Bahia /UNEB

(Examinador externo)

 Documento assinado digitalmente
CATIA APARECIDA SIMON
Data: 04/05/2026 17:55:59-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr^a Cátia Aparecida Simon

Litho Plant

(Examinador externo)  Documento assinado digitalmente
IUMI DA SILVA TOYOSUMI LORDELO
Data: 04/05/2026 16:38:00-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr^a Iumi da Silva Toyosumi

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB

(Examinadora Interna)  Documento assinado digitalmente
FRANCISCO AIRDESSON LIMA DO NASCIMENTO
Data: 05/05/2026 08:08:33-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr^o Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB

(Examinador Interno)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, por sempre ser presente em minha vida, aos meus familiares e ao meu grande amigo Evandro Azevedo (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter misericórdia de minha vida;

Ao meu amado pai Mario por todo incentivo;

À minha mãe Maria por todos os conselhos e amor;

Aos meus irmãos;

À Isa, Pedro e José por todo apoio;

À grande amiga Valdenice Batista;

À professora Ligia Marinho;

Ao meu orientador Maurício Antônio Coelho Filho;

A todos que contribuíram direta e indiretamente.

USO DE PROTETOR SOLAR PARA MITIGAR ESTRESSES ABIÓTICOS E AUMENTAR A EFICIENCIA DE USO DE ÁGUA DE FRUTEIRAS EM REGIÃO SEMIÁRIDA

Resumo:

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo. Sua produção é predominantemente exportada *in natura*, muito exigente nos aspectos qualitativos para comercialização, especialmente nos aspectos visuais. Entre os polos frutícolas do país, destaca-se o Submédio do Vale do São Francisco, considerado o maior. Por estar localizado em uma região semiárida, torna-se essencial a atualização e o aprimoramento de tecnologias voltadas ao manejo de irrigação e o uso de protetores solares, visando à manutenção da produção em níveis elevados, aumento da eficiência de uso de água e a qualidade dos frutos. Um dos principais destaques da fruticultura regional é a mangicultura, cuja produção apresenta elevado valor econômico e é destinada tanto ao mercado interno quanto ao externo. Na produção de manga, a prática de proteger os frutos expostos ao sol é comum. Contudo, o produto comercial à base de pó de rocha, amplamente utilizado para esse fim, deixa a superfície dos frutos esbranquiçada, reduzindo sua aceitabilidade em determinados mercados. Além da manga, outras frutas vêm sendo cultivadas na região e necessitam de proteção contra adversidades ambientais decorrentes do excesso de radiação solar e do estresse hídrico, como a atemoia, híbrido entre a ata e a cherimoia, que possui grande aceitação comercial devido ao seu sabor, e que é muito sensível a injúrias solares quando exposta a altas intensidades de radiação. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um protetor solar à base de carbonato de cálcio nanoparticulado como mitigador de estresses em plantas de mangueira e atemoieira em uma região de alta incidência solar. O estudo foi conduzido nos municípios de Juazeiro (Bahia) e Petrolina (Pernambuco), em condições de campo, envolvendo um pomar experimental para o caso da atemoia e um pomar comercial para os estudos com a cultura da manga. O propósito foi de mitigar estresses ambientais das plantas e os danos diretos da irradiância solar nos frutos, em condições distintas de disponibilidade de água no solo, alteradas com manejo de irrigação com déficit hídrico. Foram analisadas a eficiência do uso da água, as características morfológicas, e produtivas das plantas, bem como a qualidade dos frutos de manga e atemoia. Ao final do estudo, observou-se a eficiência do uso do

protetor solar na potencialização do processo produtivo, com aumento de produtividade de 13,51% e 18,41% para a mangueira no primeiro e segundo ciclos de cultivo, respectivamente, e de 7,13% para a atemoieira. Além disso, foram registrados incrementos de 12,89% e 18,53% na eficiência do uso da água para a mangueira nos ciclos um e dois, respectivamente, e de 7,58% para a atemoieira, quando comparadas à média geral dos tratamentos no Submédio do Vale do São Francisco.

Palavras-chave: fruticultura; injúria solar; déficit hídrico; manejo de irrigação, resiliência climática, Sombryt BR.

USE OF SUNSCREEN TO MITIGATE ABIOTIC STRESSES AND INCREASE WATER USE EFFICIENCY IN FRUIT CROPS IN A SEMIARID REGION

Abstract:

Brazil is the third largest fruit producer in the world. Its production is predominantly exported fresh, with high quality requirements for commercialization, especially regarding visual aspects. Among the country's fruit-producing regions, the Sub-middle São Francisco Valley stands out as the largest. Because it is located in a semi-arid region, the updating and improvement of technologies related to irrigation management and the use of sunscreens are essential to maintain high production levels, increase water use efficiency, and ensure fruit quality. One of the main highlights of regional fruit production is mango cultivation, which has high economic value and is destined for both domestic and international markets. In mango production, the practice of protecting fruits exposed to the sun is common. However, the commercial product based on rock powder, widely used for this purpose, leaves the fruit surface whitish, reducing its acceptability in certain markets. In addition to mango, other fruits have been cultivated in the region and require protection against environmental adversities caused by excessive solar radiation and water stress, such as atemoya, a hybrid between sugar apple and cherimoya, which has high commercial acceptance due to its flavor but is very sensitive to sunburn when exposed to high radiation intensity. Given this context, the present study aimed to evaluate the efficiency of a sunscreen based on nanoparticulated calcium carbonate as a stress mitigator in mango and atemoya plants in a region with high solar incidence. The study was conducted in the municipalities of Juazeiro (Bahia) and Petrolina (Pernambuco), under field conditions, involving an experimental orchard for atemoya and a commercial orchard for mango. The objective was to mitigate environmental stress on plants and the direct damage caused by solar irradiance on fruits under different soil water availability conditions, modified through deficit irrigation management. Water use efficiency, morphological characteristics, productive performance of the plants, and fruit quality of both mango and atemoya were evaluated. At the end of the study, the efficiency of the sunscreen in enhancing the production process was observed, with yield increases of 13.51% and 18.41% for mango in the first and second production cycles, respectively, and 7.13% for atemoya. Additionally, increases of 12.89% and 18.53% in water use efficiency were recorded for mango in the first and second cycles,

respectively, and 7.58% for atemoya, compared to the overall average of treatments in the Sub-middle São Francisco Valley.

Keywords: fruticulture; sunburn injury; water deficit; irrigation management; climate resilience; Sombryt BR.

SUMÁRIO

1. Introdução Geral	11
2. Revisão de Literatura	13
3. Hipótese a ser testada	20
4. Objetivo geral	20
5. Referências	21
6. Capítulo 1.	26
7. Capítulo 2.	67
8. Conclusões gerais	102

1.Introdução Geral

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial da fruticultura, figurando entre os principais exportadores de frutas. Esse desempenho está diretamente associado à consolidação de polos produtivos estratégicos, como o Submédio do Vale do Rio São Francisco, considerado o maior polo irrigado em atividade no país (CODEVASF, 2020). Nesse contexto, a cultura da manga destaca-se pela elevada relevância econômica e pelo expressivo volume de exportações. Paralelamente, observa-se a crescente inserção de novas fruteiras no mercado, a exemplo da atemoia, ainda pouco difundida em algumas regiões, mas valorizada por suas características sensoriais, como sabor e doçura (MAPA, 2024), o que reforça a tendência de diversificação da fruticultura nacional.

O Submédio do São Francisco, localizado entre os municípios de Juazeiro-BA e Petrolina-PE, insere-se no semiárido nordestino e apresenta condições edafoclimáticas marcadas por elevadas temperaturas, alta incidência de radiação solar, baixa amplitude térmica e reduzidos índices pluviométricos, com precipitações médias anuais inferiores a 500 mm, concentradas entre novembro e abril (SILVA et al., 2010). Tais características tornam a irrigação um fator indispensável para a viabilidade produtiva das culturas, ao mesmo tempo em que intensificam a exposição das plantas a diferentes estresses abióticos.

Nesse cenário, a eficiência produtiva assume papel central no cultivo da mangueira (*Mangifera indica* L.), por representar a capacidade das plantas em converter recursos produtivos, como água, nutrientes e práticas de manejo, em rendimento e qualidade de frutos. Trata-se de um indicador integrador do desempenho agrônomo, mais robusto do que parâmetros isolados de crescimento vegetativo, e diretamente relacionado à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Em regiões de agricultura intensiva, como o Submédio do Vale do São Francisco, a maximização da eficiência produtiva é determinante para a otimização do uso de insumos, redução de custos e aumento da competitividade da cadeia produtiva.

A disponibilidade hídrica destaca-se como um dos principais fatores limitantes à produção agrícola em ambientes semiáridos. De acordo com Kapoor et al. (2020), o déficit hídrico compromete processos fisiológicos essenciais, afetando negativamente o crescimento e a produtividade das plantas. Nesse sentido, estratégias de manejo da

irrigação, como o uso controlado de déficit hídrico, têm sido amplamente investigadas. Alhashimi et al. (2023), por exemplo, demonstraram a eficácia da técnica de secagem parcial das raízes (PRD) na cultura da mangueira, evidenciando seu potencial na melhoria da eficiência do uso da água.

Adicionalmente, a elevada radiação solar incidente na região constitui outro fator crítico, especialmente durante a fase de desenvolvimento e maturação dos frutos. Shaban et al. (2021) relataram que a combinação entre radiação solar excessiva e limitação hídrica pode comprometer o crescimento, a frutificação e a produtividade da mangueira 'Keitt', além de intensificar a ocorrência de danos fisiológicos, como queimaduras solares na casca dos frutos. Esses danos afetam diretamente atributos de qualidade, como coloração e integridade da casca, reduzindo o valor comercial dos frutos destinados ao consumo *in natura*.

Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade de adoção de estratégias que minimizem os efeitos adversos das condições ambientais sobre a produção e a qualidade dos frutos. Tecnologias como o uso de telas de sombreamento têm sido empregadas com esse propósito; contudo, seu elevado custo de implantação e a limitada disponibilidade no mercado local podem restringir sua adoção. Como alternativa, o uso de protetores solares à base de compostos minerais e/ou orgânicos, aplicados via pulverização, tem se destacado como uma estratégia promissora para a mitigação de estresses térmicos e luminosos em frutíferas.

Apesar dos avanços no manejo de irrigação e na proteção contra estresses abióticos, ainda são limitados os estudos que avaliam, de forma integrada, os efeitos de estratégias de proteção solar sobre a eficiência produtiva e a qualidade dos frutos em condições semiáridas. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de protetores solares sobre a copa e os frutos como estratégia para atenuar estresses ambientais e reduzir danos diretos em mangueiras e atemoiras cultivadas em regiões de clima quente e seco.

2.Revisão de Literatura

2.1Cultivo de manga e atemoia no submédio do vale do São Francisco

A fruticultura brasileira tem importante função socioeconômica no agronegócio, sendo a terceira maior exportadora desse segmento no mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia, em 2023 as exportações de fruticultura brasileira foram de US\$ 1,35 bilhão, o maior da série histórica. As frutas com maiores destaques foram a manga, melão, uva, lima e limões com um aumento de 52,7%, 20,9%, 62,2% e 13,7%, respectivamente, em comparação ao ano anterior (MAPA, 2024).

Segundo o MAPA (2024), em 2023 as exportações de manga totalizaram 266 mil toneladas. A maior parte dessas exportações foi destinada à União Europeia, que adquiriu 65,5% do valor exportado (US\$ 205,82 milhões). Em seguida, destacam-se os Estados Unidos (US\$ 58,61 milhões; +100,9%) e o Reino Unido (US\$ 20,57 milhões; +26,9%). Entre as regiões brasileiras, o Nordeste se destaca como uma das principais produtoras de manga, especialmente o polo do Submédio do Vale do São Francisco.

No Nordeste, o estado da Bahia se destaca na produção de frutas. No último censo agropecuário publicado pelo IBGE (IBGE, 2017), esse estado foi o maior produtor de manga e o terceiro maior produtor de atemoia do país. A produção de atemoia foi de 186 toneladas concentrada nos municípios de Presidente Dutra (BA), Uibaí (BA) e Urandi (BA). Apesar de ser uma cultura com pouca expressão no submédio do vale do São Francisco, introduzida na região em 1997, o cultivo de atemoia possui boa adaptabilidade as características edafoclimática da região e toda produção é destinada aos mercados das capitais e da região Sudeste.

A atemoieira é uma fruteira perene de origem australiana resultante de uma hibridação natural intencional do cruzamento da cherimóia (*Annona cherimola* Mill.) e ata (*Annona squamosa* L.), (POPENOE, 1974 ; LIM, 2012). Suas frutas, as atemoias, apresentam polpa de coloração esbranquiçada, com pouca quantidade de sementes, facilmente separáveis da polpa, sabor e aroma adocicado (SANTOS et al., 2001).

Grande parte das cultivares de atemoia apresenta elevada produtividade em temperaturas amenas (PEREIRA et al., 2019), desenvolvendo-se vegetativamente entre 22 °C e 28°C (máxima) e 10° C e 20 °C (mínima) (TOKUNAGA, 2000). A temperatura ideal para maturação dos frutos situa-se entre 20 °C e 26 °C (TOKUNAGA, 2000). Frutos de atemoia cultivar African Pride e Gefner tem ponto ideal

de consumo entre cinco e sete dias após a colheita, dependendo da temperatura de armazenamento (MANICA et al., 2003).

As plantas, quando expostas a condições ambientais adversas, ativam diferentes mecanismos de proteção, destaque para o acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular, como: aminoácido prolina, proteína e carboidratos, o que permite mensurar o estresse vegetal através da quantidade desses produtos e de radicais livres que induzem o estresse oxidativo (MARIJUAN & BOSCH, 2013; TRIPATHI et. al., 2020).

Para a sobrevivência das frutíferas, as plantas estabeleceram adaptações fisiológicas para conseguir a germinação da semente através de uma maior absorção de água, e adaptações como maior floração para conseguir estabelecer meios de garantir a maturidade das sementes, sendo que em grande parte dos casos a duração do estresse é de acordo com as condições climáticas e físicas do solo. Já na etapa de frutificação os frutos da maioria das plantas submetidos ao estresse são menores e em muitos casos há a presença de abscisão. (CAMPOS et al., 2021).

Dentre todos os estresses biológicos, a deficiência hídrica é o principal fator responsável por limitar a produtividade de espécies agrícolas, estando envolvida na redução da atividade fotossintética (CINTRA et al., 2020). A falta de água traz efeitos no desenvolvimento das plantas, nos fechamentos dos estômatos, murchamento de folhas, baixo índice de fotossíntese, a não germinação das sementes, aumento do comprimento das raízes, abortamento de flores e frutos nas plantas pecioladas. As plantas resistentes que passam por adaptação para sobreviver ao período de seca se encontram com ajustes em sua morfologia e fisiologia, tendo folhas com presença de pelos ou espinhos, raízes maiores e ramificadas (CAMPOS et al., 2021).

O estresse em plantas é causado quando as condições do ambiente são alteradas, deixando de serem ótimas. Estas condições impedem que as plantas alcancem o potencial máximo de crescimento e reprodutivo. Em consequência destas alterações, as plantas podem desenvolver respostas permanentes ou reversíveis, dependendo do nível de dano sofrido (LARCHER, 2006; TAIZ et al., 2017).

A radiação solar é de suma importância para o bom desenvolvimento das frutas. A luz incidida sobre as plantas de mangueira favorece a mudança de cor verde das frutas para vermelho amarelada, entretanto, o excesso de energia

diretamente sobre a superfície do fruto pode causar injúrias irreversíveis, inviabilizando a comercialização das mangas para mercados mais exigentes. Na atemoia o mesmo problema pode acontecer. Se a incidência foi excessiva, os frutos podem apresentar rachaduras em sua superfície. Além do dano imediato, o excesso de radiação pode trazer problemas posteriores no período de armazenamento, como ocorre em outras culturas, a exemplo dos estudos de Ruiz et al. (2023), que afirmam que radiação acumulada no campo, como resultado de uma maior exposição à radiação solar é um fator crítico que afeta a suscetibilidade a danos causados pelo frio pós-colheita de tomate.

2.3 O estresse hídrico no vegetal

Entre os tratos culturais empregados nas mangueiras cultivadas no município de Petrolina-PE, o estresse hídrico é indispensável, essa prática é feita de forma controlada, reduzindo a lâmina de irrigação gradualmente, o que permite a maturação de ramos que direcionará a planta a entrar em fase reprodutiva em qualquer época do ano.

Mesmo controlado, o déficit hídrico pode trazer consequências danosas para o desenvolvimento do vegetal. A falta de disponibilidade de água para a planta provoca fechamento dos estômatos, diminuição da taxa fotossintética e redução da entrada de gás carbônico, causando superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS), levando as plantas a ativarem sistemas de defesa enzimáticos e não enzimáticos (HASANUZZAMAN et al., 2020).

Os impactos causados pelo estresse hídrico nas células vegetais podem ser mitigados por substâncias osmorreguladoras, proteína solúvel, aminoácidos e açúcares solúveis, bem como pelo sistema enzimático composto principalmente de superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase para proteger os componentes celulares dos impactos do estresse (HOU et al., 2021; MANJAVACHI et al., 2022).

O sistema de defesa antioxidante pode ser potencializado com o uso de substâncias como o triacontanol, um álcool graxo conhecido como álcool melissílico,

que tem a capacidade de regular os genes envolvidos no processo fotossintético e aqueles relacionados à percepção e sinalização do estresse, permitindo o aumento da atividade de peroxidase (PERVEEN et al., 2011).

Além dessas substâncias, produtos comerciais a base de cálcio e silício, são pulverizados de forma foliar, visando reduzir as queimaduras nos tecidos vegetais, causados pela desidratação e forte carga energética fornecida pelo sol em regiões semiáridas.

2.4 O uso de protetores solares no cultivo agrícola

Uma importante ferramenta de baixo custo para minimizar o estresse abiótico e melhorar as características de frutas cultivadas sob estresses pode ser o uso de protetor solar contra queimaduras solares (SILVA et al., 2022). Comercialmente existem vários produtos com essa função, no entanto, o mais utilizados pelos produtores de Juazeiro-BA no cultivo de mangueira é o caulinita, um tipo de silicato de alumínio hidratado.

A aplicação do caulinita é realizada em diferentes fases de desenvolvimento do fruto, iniciando normalmente quando os frutos possuem um diâmetro de aproximadamente 3 cm, fase de ovo. A aplicação deve ser homogênea em todo o fruto formando uma fina camada, visando unicamente evitar a queimadura e garantir formação de cor na casca.

Abd-Allah et al. (2013) observaram efeitos positivos com a pulverização de caulim ou carbonato de magnésio a 5%, com redução da área queimada na casca dos frutos pelo sol e diminuição na porcentagem de queda de frutos, em estudos realizados com a variedade 'Keitt'. O caulim, como uma abordagem econômica para prevenir queimaduras solares em mangas na Bacia do Mediterrâneo, foi testado por Bellitti et al. (2025), e seu estudo de campo com as cultivares 'Glenn' e 'Maya' mostrou que, aplicando o produto na forma líquida ou em pó, foi possível reduzir em até 68% a incidência de queimaduras solares nas cascas dos frutos em condições de campo.

Além do cultivo da manga, em outras fruteiras o uso de protetores solares também se mostra eficiente para melhorar o desempenho produtivo, como

demonstrado por Mosa et al. (2025), que observaram redução de queimaduras solares, aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos frutos de tangerina ‘Murcott’ com diferentes formulações de caulim. Copp (2025) avaliou a aplicação de caulim em videiras e observou redução de danos por queimaduras solares em bagas, além de efeitos positivos no manejo de pragas, reduzindo populações na região do Columbia Basin, nos Estados Unidos.

Apesar dos efeitos positivos, o uso de caulim apresenta alguns efeitos negativos no cultivo. Estudos mostram que ele pode reduzir o peso dos frutos e a intensidade da coloração vermelha em maçãs, além de não atuar apenas como um filme passivo, podendo influenciar a expressão gênica e alterar a fisiologia da planta, o que pode ter implicações para a qualidade e o metabolismo dos frutos, especialmente em uvas (SCHUPP et al., 2004; DENIS et al., 2024).

Vários estudos são desenvolvidos para buscar alternativas técnicas e economicamente viáveis como substitutos do Caulim, pois, apesar de muito utilizado, os frutos que recebem esse protetor não adquirem cores intensas, permanecendo com casca esverdeada mesmo após atingirem elevado grau de maturação, reduzindo o seu valor e limitando as possibilidades de comercialização.

Os estudos de Silva et al. (2022), com o objetivo de avaliar a efetividade de diferentes protetores solares para aliviar o estresse abiótico de mangueiras “Palmer” cultivadas em regiões semiáridas, indicam uma clara ação do protetor solar em atenuar o estresse abiótico da manga, com efeito persistente com o passar do tempo, considerando o intervalo avaliado. A produtividade da manga é afetada pelo protetor solar com um aumento de 4,2 t ha⁻¹ do tratamento com protetor solar em relação ao tratamento sem uso do protetor.

Nos últimos anos, têm sido disponibilizados no mercado nacional insumos classificados como protetores solares vegetais. Entre eles destaca-se o Sombryt BR, produzido pela empresa Litho Plant em parceria com a Embrapa. Esse produto é formulado a partir de nanopartículas de carbonato de cálcio e óxido de zinco em suspensão aquosa e destina-se à mitigação dos efeitos fisiológicos da escaldadura induzida por radiação solar. Após a aplicação foliar, o material forma uma película contínua e foto-refletiva sobre folhas e frutos, atuando na atenuação da carga térmica

incidente e contribuindo para a manutenção da eficiência fotossintética e do balanço energético das plantas (LITHO PLANT, 2022).

2.5 Influência do manejo hídrico na qualidade de frutas

Por ser uma espécie típica de regiões tropicais úmidas, originária da Malásia e da Índia (LOPES, 2025), a mangueira, quando cultivada em áreas semiáridas, necessita do uso de tecnologias de irrigação para completar seu ciclo produtivo de forma eficiente em pomares comerciais. Com a adoção da irrigação, surgem indagações quanto aos métodos mais adequados e às formas mais apropriadas de manejo da água, de modo a atender às necessidades hídricas da cultura para seu adequado desenvolvimento e produção.

Entre os sistemas de irrigação utilizados no Submédio do Vale do São Francisco, a irrigação localizada, nas modalidades de gotejamento e microaspersão, destaca-se como a mais empregada, por proporcionar o fornecimento de água em baixos volumes e em alta frequência à cultura. À medida que a água disponível no solo se torna limitada, a planta reduz sua taxa transpiratória, de modo a minimizar a perda hídrica e conservar a umidade remanescente no solo (SALISBURY e ROSS, 2012).

O manejo da lâmina de irrigação utilizado em pomares comerciais de mangueira leva em consideração as características climáticas e, comumente, a quantidade de água aplicada visa suprir a evapotranspiração máxima da cultura, especialmente na fase de produção. O estresse hídrico, por sua vez, é normalmente identificado por meio de diagnóstico visual do comportamento da planta, como o grau de turgidez das folhas, alterações na coloração ou o aparecimento de folhas amareladas.

Nos estudos de Campos et al. (2008), que avaliaram a evapotranspiração e a produtividade da mangueira cultivada na região do Submédio do Vale do São Francisco sob diferentes lâminas de irrigação, concluiu-se que a evapotranspiração do pomar é maior no final do ciclo produtivo e menor no estágio fenológico de queda

de frutos. Além disso, o aumento do volume de água aplicado ao pomar por meio da irrigação não implica, necessariamente, em elevação dos parâmetros de produtividade.

Com a crescente redução da disponibilidade hídrica em áreas agrícolas, o uso de técnicas que reduzam o consumo de água no cultivo de frutas vem ganhando importância. Spreer et al. (2009) compararam diferentes regimes de irrigação: controle (100 % ET_c), déficit (RDI), PRD (50 % ET_c alternando lados do sistema radicular) e ausência de irrigação. Os autores mostraram que a PRD pode manter uma produtividade semelhante à da irrigação total, além de melhorar a eficiência no uso da água no cultivo de mangueiras.

Nos estudos de Dos Santos et al. (2020), realizados com variedades de mangueira e sistemas de irrigação localizada, observou-se que a produtividade e a eficiência do uso da água em mangueiras 'Palmer' são maiores sob irrigação por gotejamento. Além disso, as estratégias de irrigação com secamento parcial da zona radicular (PRD), utilizando 100%, 80% e 60% da ET_c, bem como a irrigação com déficit regulado com 50% da ET_c na fase de maturidade fisiológica, proporcionam maiores produtividades para essa cultivar. Por outro lado, o secamento parcial da zona radicular com 60% e 40% da ET_c resulta em maior eficiência no uso da água em mangueiras Palmer.

Simrandeep et al. (2022) investigaram os efeitos da irrigação com déficit controlado e da secagem parcial da zona radicular (PRD) sobre a vida de prateleira da manga (*Mangifera indica* L.), cultivar Dashehari. Realizado ao longo de dois anos, o estudo analisou perdas pós-colheita e evidenciou que a adoção desses regimes hídrico-controlados exerce um efeito positivo na conservação dos frutos, mostrando o potencial da gestão eficiente da água para melhorar a qualidade pós-colheita em pomares comerciais.

Gotur et al. (2018), ao avaliarem diferentes frutíferas, concluíram que a aplicação de irrigação deficitária, como o secamento parcial da zona radicular (PRD) utilizando o método de gotejamento, pode reduzir o uso de água de irrigação em até 50% em relação à irrigação convencional, além de aumentar a eficiência do uso da água em até 80–92%. Na mangueira, o tratamento com PRD a 50% aumenta a proporção de mesocarpo dos frutos, eleva o peso dos frutos e reduz a quantidade de

frutos não comercializáveis por planta, sendo, portanto, uma prática recomendada para regiões áridas e semiáridas.

No estudo de El-Sayed et al. (2023), intitulado “Melhoria da produção de manga usando a técnica de secagem parcial das raízes e fertilização orgânica: estudo de campo e modelagem”, os autores avaliaram a combinação da técnica PRD com adubação orgânica em pomares de manga. Os resultados indicaram que, com o uso de compostagem, a PRD aumentou a produtividade, melhorou a qualidade dos frutos e elevou a eficiência hídrica, reduzindo o volume de água aplicado em cerca de 50%.

Apesar dos comprovados benefícios da técnica de secagem parcial da zona radicular (PRD) na produção de fruteiras, há poucas informações disponíveis sobre sua integração com sistemas de proteção solar, especialmente em regiões semiáridas. Nessas áreas, caracterizadas por limitada disponibilidade hídrica e alta intensidade de radiação solar, estratégias combinadas de manejo hídrico e proteção ambiental podem ser fundamentais para otimizar a produtividade e a qualidade dos frutos.

3. Hipótese a ser testadas

A prática de proteção solar em frutos e plantas submetidas a déficit hídrico e estresses ambientais pode mitigar os danos físicos em frutos de mangueira e atemoiera, prevenindo queimaduras solares sem prejudicar a comercialização, além de alterar positivamente o balanço energético das copas, aumentando a resiliência das plantas frente às condições ambientais adversas.

4. Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo verificar o rendimento produtivo de mangueiras e atemoieras submetidas a pulverizações de protetor solar e à irrigação deficitária pela secagem parcial da zona radicular (PRD) em uma região semiárida quente e seca.

4.1 Objetivos Específicos

Determinar a eficiência de um protetor solar na atenuação dos efeitos de queimaduras solares em frutos de mangueira;

Avaliar a eficiência do uso de água em plantas submetidas à secagem parcial da zona radicular (PRD) e à proteção solar no cultivo comercial de manga em regiões semiáridas;

Verificar o efeito de um protetor solar na ocorrência de rachaduras em frutos de atemoia.

5. Referências:

ABD-ALLAH, A. S. E., EL-RAZEK, E. A., AND SALEH, M. M. S. Effect of sun-block materials on preventing sunburn injury of Keitt mango fruits. **Research Journal of Applied Sciences**, v.9, n.1, p.567–571, 2013.

ALHASHIMI, A., AL-HUQAIL, A. A., HASHEM, M. H., BAKR, B. M., FEKRY, W. M., ABDEL-AZIZ, H. F., ... & FATHY, M. Using deficit irrigation strategies and organic mulches for improving yield and water productivity of mango under dry environment conditions. **Agriculture**, v.13, n.7, p.1415, 2023.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rome, 1985.

BELLITTI, S., MEZZANO, M., MASSAAD, M., GUGLIUZZA, G., SCUDERI, D., FARINA, V. Kaolin as a Cost-Effective Approach for Sunburn On Mango in the Mediterranean Basin.. **Applied Fruit Science** (2025) 67:3780123456789.

CAMPOS, J. H. B. C. ; SILVA, V. P. R. ; AZEVEDO, P. V. ; BORGES, C. J. R. ; SOARES, J. M. ; MOURA, M. S. B. ; SILVA, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. 2008, v. 12, n. 2 [Acessado 13 Janeiro 2023], pp. 150-156. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200007>>. Epub 29 Fev 2008. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200007>.

CAMPOS, A. J. de M. .; SANTOS, S. M. .; NACARATH, I. R. F. F. . Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 15, p. e311101523155, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.23155. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23155>. Acesso em: 22 sep. 2024.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P. de; MENEZES, J. O. S. de; PADILHA, R. C.; REZENDE, A. G.; MATOS, E. dos R. Análise de fluorescência da clorofila em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico / Analysis of chlorophyll a fluorescence in coffee seedlings under water stress. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 28006–28014, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-301. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10116>. Acesso em: 22 sep. 2024.

CODEVASF.COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. *Vale do São Francisco: desenvolvimento regional e agricultura irrigada*. Brasília, DF: CODEVASF, 2020.

COPP, C. R. (2025). Kaolin Clay Reduces Western Grape Leafhopper (*Erythroneura elegantula* Osborn) Abundance and Fruit Sunburn in Warm-climate Vineyards. **HortTechnology**, 35(3), 353–362. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05633-25>.

DENIS, L. T.; PEREIRA, S.; FRAGA, I.; ROCHA S. M.; COSTA C.; MARTINS, C. VILELA, A.; ARROBAS, M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin foliar spray induces positive modifications in volatile compounds and fruit quality of Touriga-Nacional red wine. **OENO One** Vol. 58 No. 2 (2024):. 2024.DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2024.58.2.7945>.

DOS SANTOS, M. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. F.; MESQUITA, N. S.; DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F. (2020). Yield and water use efficiency in'Tommy Atkins' and'Palmer'mango trees under localized irrigation with water deficit. **SEMINA: CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, v. 41, n. 6, p. 2509-2522, 2020.

EL-SAYED, A., MUSTAFA, H. H., BAKR, B. M. M., ABDELRAOUF, R. E., RAGAB, R., & MANSOUR, N. E. Improving mango production using partial root drying technique and organic fertilisation: Field and modeling study. **Water Science**, v. 37, n. 1, p. 371-388, 2023.

Gotur, M.; Sharma, D. K.; Joshi, C. J.; Rajan, R. Partial root-zone drying technique in fruit crops: a review paper. **International Journal of Chemical Studies**, 6(2), 900-903, 2018. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/6c4e/699b012c2622a8c0445d15a11f364e7a87c3.pdf>

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M. B.; ZULFIQAR, F.; RAZA, A.; MOHSIN, S. M.; MAHMUD, J. A.; FUJITA, M.; FOTOPOULOS, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, v.9, p.1-52, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.

HOU, P.; WANG, F.; LUO, B.; LI, A.; WANG, C.; SHABALA, L.; AHMED, H. A. I.; DENG S.; ZHANG, H.; SONG, P.; ZHANG, Y.; SHABALA, S.; CHEN, L. Antioxidant enzymatic activity and osmotic adjustment as components of the drought tolerance mechanism in *Carex duriuscula*. **Plants**, v.10, p.1-20, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10030436>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em : 22 set 2024.

KAPOOR, D.; BHARDWAJ, S.; LANDI, M.; SHARMA, A.; RAMAKRISHNAN, M.; SHARMA, A. The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. **Applied Sciences**. 2020; 10(16):5692. <https://doi.org/10.3390/app10165692>.

LARCHER W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006, 550p.

LIM, T. K. Edible **Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Londres: Springer, 2012.

LITHO PLANT. Produtos e tecnologias. Disponível em: . Acesso em: 02 fev. 2022.

MAREK, Janaina; AZEVEDO, Dione de. Estresse térmico e déficit hídrico no tomateiro – O que fazer? 2018. Disponível em: . Acesso em: 01 fev. 2022.

LOPES, Diana Maria de Almeida. *Mangifera indica* L (Mangueira):: potencialidades terapêuticas. **Medicinae Plantae**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2025. DOI: 10.36517/mp.v1i3.95337. Disponível em:

<https://periodicos.ufc.br/medicinaeplantae/article/view/95337>. Acesso em: 27 nov. 2025.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, K.P; OLIVEIRA, M.A.S.; CUNHA, M.M., OLIVEIRA Jr., M.E.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ALVES, R.T. **Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemóia, cherimóia e graviola**: Tecnologia de produção, colheita, mercado. Porto Alegre: Cinco continentes, 2003. 596p.

MAPA-Ministério da Agricultura e Pecuária. **Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras**. 2024. Disponível em : <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras#:~:text=As%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20de%20fruticultura%20em,%2C5%25%20no%20ano%20passado..> Acesso em 23 set 2024.

MANJAVACHI, M. K. DE P.; SILVA, T. A.; SILVA, E. A. A. DA; GUIMARÃES, C. C.; SARTORI, M. M. P. Physiological and biochemical responses of osmo-primed parsley seeds subjected to saline stress. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.44, p.1-11, 2022. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54364>.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, ed. 12, p.660-666, 2013.

MOSA, W. F. A., ALSAKKAF, W. A., SAS-PASZT, L., & ALI, H. M. . Influence of Kaolin, Calcium Oxide, and Boron Trioxide Sprays to Reduce Sunburn and Enhance Fruit Productivity and Quality in Murcott Mandarin. **BioResources**, 20(4), 9606–9624, 2025.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCH, S.; JOSÉ, A. R. S.; LEMOS, E. E. P. de; MIZOBUTSI, E. H.; CORSATO, C. D. A. (org.). **Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annonasquamosa* L. x *Annona cherimola* Mill) e Graviola (*Annonamuricata* L.)**. In: TRAZILBO JOSÉ DE PAULA JÚNIOR (Minas Gerais). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Livro 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2019. Cap. 14. p. 111-123.

PERVEEN, S.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Modulation in activities of antioxidant enzymes in salt stressed and non-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants raised from seed treated with mtriacntanol. **Pakistan Journal of Botany**, v.43, p.2463-2468, 2011.

POPENOE, W. **Manual of tropical and subtropical fruits: the annonaceous fruits: the cherimoya**. Nova Iorque: Hafner Press, 1974.

RUIZ, V. E., REUTEMANN, A. G., DERITA, M. G., FERRERO, L., MARTÍNEZ, G. A., & BOUZO, C. A. (2023). Radiation and temperature conditions during crop determine tomato fruit susceptibility to postharvest chilling injury. **Horticultura Brasileira**, 41, e2434. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-2023-e2434>.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das Plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SANTOS, C. R. MELO NETO, M. L.; NOGUEIRA, P. S.C., HAJI, F. N. P. **Produção de atemóia no Submédio São Francisco**. 2001. Disponível em : <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/151160/1/COT103.pdf>. Acesso em : 22 set 2024.

SHABAN, A. E., RASHEDY, A. A., & EL-BANNA, M. I. Mitigation of excessive solar radiation and water stress on 'Keitt'mango *Mangifera indica* trees through shading. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v.20, n.4, p.77-88, 2021. Acesso 10 set 2024. Disponível em : <https://czasopisma.up.lublin.pl/asphc/article/view/1967>.

SILVA, A. R. L.; CAVALCANTE, I. H. L.; SILVA, M. A.; PAIVA NETO, V. B.; AMARIZ, R. A.; AMORIM, L. Y. A. Does the sunblock alleviate abiotic stress in mango trees grown in the tropical semiarid? **Folia Horticulturae**. v.34, n.2, p.1–11, 2022. DOI: 10.2478/fhort-2022-0016.

SILVA, P. C. G. da; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. 2010. cap. 1 SBN: 978-85-7405-012-6, p. 18-48.

SCHUPP, J. R., FALLAHI, E., & CHUN, I.-J. Effect of particle film on fruit sunburn, maturity and quality of 'Fuji' and 'Honeycrisp' apples. **Acta Horticulturae**, 636, 70, 2004.

SIMRANDEEP, K., ARTI, S., ABHIJIT, S., AMIT, J., & MAHITA, J. Effect of regulated deficit irrigation and partial root zone drying regimes on shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Dashehari. **Journal of Applied Horticulture**, v. 24, n. 1, 2022.

SPREER, W., ONGPRASERT, S., HEGELE, M., WÜNSCHE, J. N., & MÜLLER, J. Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) under different irrigation regimes. **Agricultural water management**, v. 96, n. 4, p. 574-584, 2009.

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER I, MURPHY A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TOKUNAGA, T. **A cultura da atemóia**. 233. 1.ed. Campinas: Cati, 2000. 80 p.

TRIPATHI, D. K., SINGH, V. P., CHAUHAN, D. K., SHARMA, S., PRASAD, S. M., DUBEY, N. K., AND RAMAWAT, N. **Plant life under changing environment: responses and management**. New York, USA: Academic Press, 2020.

6. Capítulo 1- Filme de partículas refletivas combinado com irrigação deficitária modula a produtividade e as respostas fisiológicas de mangueiras sob condições semiáridas

Reflective particle film Combined with Deficit Irrigation Modulates Yield and Physiological Responses of Mango Trees under Semi-Arid

Resumo: O Brasil está entre os principais produtores mundiais de frutas, com destaque para a manga no Nordeste, região marcada por elevada radiação solar e limitação hídrica, sobretudo no semiárido. Este estudo avaliou o desempenho produtivo de mangueiras da cultivar Palmer submetidas à restrição hídrica e à aplicação foliar de filme de partículas de carbonato de cálcio. O experimento foi conduzido em pomar comercial no município de Petrolina, Pernambuco, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial três por dois, com três manejos de protetor solar (aplicação mensal a dois por cento, aplicação quinzenal a dois por cento e ausência de aplicação) e duas lâminas de irrigação (cem por cento e sessenta e seis por cento da evapotranspiração da cultura). O manejo da irrigação deficitária foi realizado por secagem parcial da zona radicular, alternando-se o lado irrigado em intervalos de quinze dias. Foram avaliados atributos do dossel, produtividade e variáveis associadas ao estresse das plantas. A aplicação do protetor solar a um litro e meio por hectare de concentração aumentou a produtividade e reduziu a ocorrência de injúrias por queimadura solar nos frutos. A redução da lâmina para sessenta e seis por cento da evapotranspiração da cultura diminuiu a produtividade em comparação à irrigação plena, indicando efeito negativo do déficit hídrico sobre o rendimento de frutos no Submédio do Vale do São Francisco. Os resultados demonstram que a aplicação foliar de filme de partículas refletivas é uma estratégia eficiente para mitigar danos por radiação e sustentar o desempenho produtivo da mangueira em ambiente semiárido, inclusive sob restrição hídrica.

Palavras-chaves: déficit hídrico; proteção foliar; Sombryt BR; resiliência climática

Abstract: Brazil is among the world's main fruit producers, with emphasis on mango in the Northeast, a region marked by high solar radiation and water limitation, especially in the semi-arid region. This study evaluated the productive performance of mango trees of the Palmer cultivar subjected to water restriction and foliar application of alciun carbonate particle film. The experiment was conducted in a commercial orchard in the municipality of Petrolina, Pernambuco, in a completely randomized design, in a three-by-two factorial scheme, with three sunscreen managements (monthly application at two percent, biweekly application at two percent, and absence of application) and two irrigation depths (one hundred percent and sixty-six percent of crop evapotranspiration). Deficit irrigation management was carried out by partial drying of the root zone, alternating the irrigated side at fifteen-day intervals. Canopy attributes, yield, and variables associated with plant stress were evaluated. The application of the sunscreen at one and a half liters per hectare increased productivity and reduced the occurrence of sunburn injuries on the fruits. Reducing the irrigation depth to sixty-six percent of crop evapotranspiration decreased productivity compared to full irrigation, indicating a negative effect of water deficit on yield in the Middle São Francisco Valley. The results demonstrate that foliar application of reflective particle film is an efficient strategy to mitigate radiation damage and sustain the productive performance of the mango tree in a semi-arid environment, including under water restriction.

Keywords: water stress; sun protection; Sombryt BR; climate resilience

6.1 Introdução

O Brasil, figura entre os principais exportadores de frutas e a mangicultura, tem papel relevante na pauta agrícola, especialmente no Nordeste (MAPA, 2024). Em 2024, a produção nacional de manga foi de 1.838.706 toneladas, em aproximadamente 84.487 hectares, com a Bahia como principal estado produtor (IBGE, 2026).

Apesar desse potencial, o ambiente semiárido impõe restrições devido à elevada irradiância e alta disponibilidade energética, que contribuem para o aumento

da temperatura do ar e do dossel, afetando o desempenho produtivo e a qualidade comercial dos frutos, com ocorrência de injúrias como queimadura solar e escaldadura (FISCHER et al., 2022). Sob alta carga térmica e radiativa, frutos expostos tendem a apresentar descoloração e escurecimento, podendo evoluir para necrose, reduzindo o aproveitamento comercial. Uma das estratégias para minimizar esse efeito depreciativo dos frutos é a utilização de protetores solares que refletem a radiação incidente quando pulverizados sobre a epiderme dos órgãos produtivos. Em caqui 'Fuyu', Shin et al. (2024) relataram elevada incidência de injúrias por radiação no tratamento controle e forte redução com o uso de caulim, isolado ou associado à cera de carnaúba, indicando mitigação relacionada à alteração do microclima na superfície do fruto. Em manga protegida com caulim, Bellitti et al. (2025) observaram aumento da queimadura solar ao longo do ciclo e destacaram que danos severos foram restritos a falta de proteção, sem alterações relevantes em parâmetros físico-químicos do fruto. Apesar da proteção dos frutos, a permanência do produto reduz a aceitabilidade comercial.

Além da carga radiativa, a disponibilidade hídrica é determinante para a termorregulação do dossel. O cenário de elevada irradiância pode ser agravado por manejo hídrico ineficiente, uma vez que o déficit de água compromete o resfriamento evaporativo e intensifica a interação entre estresse térmico e radiação (LUAN & VICO, 2021). Em pomar irrigado de manga Kent no Vale do São Francisco, Da Silva et al. (2019) estimaram a partição do balanço de energia e observaram predomínio do fluxo de calor latente, porém com participação expressiva do fluxo de calor sensível. Os autores também discutem que, em condições atmosféricas mais exigentes, a demanda hídrica da cultura pode não acompanhar a demanda atmosférica, sugerindo limitações fisiológicas associadas à alta temperatura e à baixa umidade relativa do ar, em conjunto com redução da água no solo.

Em paralelo, protetores solares agrícolas aplicados à copa podem modificar o balanço de energia do dossel ao aumentar a refletância, contribuindo para a mitigação do estresse térmico e para a redução de perdas por queimadura solar em diferentes culturas (MUDO et al., 2024; SHABAN et al., 2021).

Paralelamente, a escassez hídrica impõe limites ao uso da irrigação, tornando a racionalização da água central para a produção sustentável. Nesse contexto,

estratégias de déficit controlado têm sido desenvolvidas e avaliadas, com destaque para a irrigação deficitária regulada (RDI), baseada na redução da lâmina em fases fenológicas específicas, e para a secagem parcial da zona radicular (PRD), que alterna o lado irrigado do sistema radicular com aplicação de fração da lâmina requerida, visando elevar a produtividade da água e qualidade de frutos. Amorim et al. (2021) mostraram que PRD e RDI podem manter produtividade e atributos de qualidade semelhantes à irrigação plena, com aumento expressivo na eficiência do uso da água sob PRD. Evidências adicionais indicam que o PRD pode melhorar indicadores de eficiência hídrica em diferentes culturas e ambientes, com respostas dependentes da intensidade do déficit e das condições climáticas (SANTOS et al., 2021; HUTTON & LOVEYS, 2011). Entre as diferentes estratégias de manejo de irrigação disponíveis para aumento da produtividade da água em pomares irrigados, estudos de Andrade et al., (2024) e Kamal et al., (2024) reforçam a relevância do déficit controlado como alternativa em condições de escassez.

Nesse contexto, o uso integrado de irrigação deficitária controlada e fotoproteção na copa surge como alternativa para ampliar a resiliência de pomares em ambientes semiáridos. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o rendimento produtivo de plantas de mangueira submetidas à secagem parcial da zona radicular (PRD) e à aplicação foliar de protetor solar, em condições de ambiente semiárido.

6.2 Metodologia

O estudo foi conduzido em um pomar comercial de mangueira, localizado no município de Petrolina, PE, sob as coordenadas geográficas 9°20'40,06"S e 40°38'31,38"W, a 403 m de altitude, durante as safras de 2024/2025 (ciclo 1) e 2025/2026 (ciclo 2). O clima da região é classificado como BSh, com temperatura média anual de 26,0 °C e precipitação anual de 481,7 mm (Alvares et al., 2013). O solo da área é classificado como Neossolo Flúvico, de textura arenosa, baixa profundidade e reduzido teor de matéria orgânica..

As plantas apresentavam espaçamento de 6×3 m, idade de 12 anos e pertenciam à variedade Palmer, conduzidas sob sistema de irrigação localizada por gotejamento. Os emissores estavam espaçados a cada 0,50 m, com vazão de

2,0 L h⁻¹. Cada linha de plantio possuía três mangueiras gotejadoras espaçadas a cada 0,50m, formando uma faixa molhada com largura aproximada de 1,5 m.

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c), utilizando valores de evapotranspiração de referência (ET_o) provenientes da estação meteorológica automática da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada em Petrolina, PE. A ET_c foi estimada pelo produto entre a ET_o, o coeficiente de cultivo (K_c) e o coeficiente de redução (K_r), adotando-se K_r=0,4., sendo expressa em milímetros.

Os valores de K_c utilizados nas diferentes fases fenológicas da mangueira variaram entre 0,71 e 0,95, conforme Silva Júnior et al. (2023), que recomendaram, para a mangueira 'Palmer' cultivada em Petrolina, PE, os seguintes valores: 0,81 para crescimento vegetativo; 0,76 para repouso e maturação de ramos; 0,85 para indução floral; 0,90 para floração; 0,95 para desenvolvimento dos frutos; e 0,91 para maturação dos frutos.

No tratamento com 100% da ET_c, as três linhas laterais de gotejamento de cada linha de plantio permaneceram em funcionamento durante as irrigações. No tratamento com PRD, uma das três linhas laterais de gotejamento foi temporariamente interrompida por meio do fechamento de um registro de união no início da ramificação do sistema de irrigação, direcionando o fluxo de água apenas para as duas linhas laterais restantes. Dessa forma, reduziu-se a área molhada promovendo a secagem parcial de um dos lados da zona radicular. A linha lateral com irrigação interrompida era reativada após 15 dias sem funcionamento, enquanto a linha lateral oposta era interrompida pelo mesmo período, promovendo a alternância quinzenal da irrigação.

A irrigação foi realizada quando a precipitação acumulada no período de manejo foi inferior à evapotranspiração da cultura estimada para o mesmo intervalo..

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas principais foram compostas por aplicação de protetor solar, com 3 níveis (T1_A – aplicação de protetor solar na dosagem de 1,5 L por hectare, conforme recomendação do fabricante, com intervalo mensal; T2_A – aplicação de protetor solar quinzenal a 1,5 L por hectare; T3_A – tratamento controle, sem aplicação de protetor solar), enquanto as subparcelas foram constituídas por manejo de irrigação, com dois níveis (correspondia à lâmina de irrigação: T1_B – 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c) e T2_B – 66% da ET_c

com secagem parcial da zona radicular (PRD). As aplicações tiveram início após a fase fenológica de floração (Tabela 1).

Tabela 1- Intervalos de aplicação de protetor solar em mangueiras variedade Palmer, Petrolina-PE, 2026.

Ciclos	Tratamento	Número de aplicações					Total do produto
Ciclo 1	Aplicação	1º	2º	3º			4,5 kg/ha
	Mensal	(0 DAF)	(30 DAF)	(60 DAF)			
	Aplicação	1º	2º	3º	4º	5º	7,5kg/ha
	Quinzenal	(0 DAF)	(15 DAF)	(30 DAF)	(45 DAF)	(60 DAF)	
Ciclo 2	Aplicação	1º	2º	3º			4,5 kg/ha
	Mensal	(0 DAF)	(30 DAF)	(60 DAF)			
	Aplicação	1º	2º	3º			4,5kg/ha
	Quinzenal	(15 DAF)	(30 DAF)	(45 DAF)			

DAF- Dias após a florada plena.

O experimento contou com 120 plantas, distribuídas nas combinações entre os três manejos de aplicação do protetor solar e os dois manejos de irrigação. Cada combinação entre aplicação do protetor solar e manejo hídrico foi representada por 20 plantas, totalizando 40 plantas por manejo de aplicação e 60 plantas por manejo de irrigação.

Foram avaliados os efeitos principais dos fatores protetor solar (P) e lâmina de irrigação (L) e bem como a interação $L \times P$, pelo teste F a 5% de probabilidade. O efeito de protetor foi testado utilizando o erro da parcela (Erro A), enquanto os efeitos de lâmina de irrigação e da interação foram testados utilizando o erro da subparcela (Erro B). Quando significativa a interação, procedeu-se ao desdobramento dos fatores, analisando-se o efeito de um fator dentro de cada nível do outro. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR.

6.2.1 Análises em dossel

Albedo: foi estimado a partir da razão entre a luminosidade medida refletida na copa e a luminosidade incidente sobre a planta, expressa em valores decimais. Para

tal, utilizou-se um luxímetro portátil digital, modelo MLM-1011, com capacidade de medição de até 200.000 Lux e acurácia de aproximadamente 4%. As leituras foram realizadas durante o período da manhã, próximas ao meio-dia.

Temperatura do dossel: a temperatura da copa, expressa em °C, foi medida ao meio-dia utilizando um termômetro de infravermelho, modelo TIV 6500, com potência de saída inferior a 1 mW, comprimento de onda de 630–670 nm e laser classe II. Cada planta foi medida 10 vezes, totalizando 100 leituras por tratamento.

Comprimento e largura da folha: determinados com o auxílio de um paquímetro, medindo-se a maior largura e o maior comprimento das folhas. Para a análise, foram medidas 20% das folhas presentes em cada planta (COELHO et al., 2005).

Área da lâmina foliar (LA): foi determinada pela metodologia Da Silva, et al (2015), com uso da equação polinomial quadrada (R^2 de 0,97), conforme equação 1:

$$LA = 4,7677 + 0,6934x - 0,0001x^2 \quad (1)$$

Onde, LA é a área da folha em cm^2 , x é o produto entre o comprimento médio e a largura média das folhas em centímetros.

Área foliar total da planta: estimada como resultado da multiplicação da LA pelo número total de folhas na planta, com o resultado expresso em m^2 .

6.2.3 Rendimento e qualidade dos frutos

A produtividade total dos frutos: expressa em quilogramas por hectare, foi determinada pela multiplicação da massa média dos frutos pelo número médio de frutos colhidos ao final do ciclo produtivo.

Eficiência produtiva (kg m^{-3}): foi calculada pela razão entre a produção média anual e o volume do dossel (V) nos respectivos anos de avaliação do estudo. O volume do dossel foi calculado com base na fórmula de volume de um prisma, onde:

Volume do dossel = [(comprimento da base menor + comprimento da base maior) / 2] $\times$ altura da copa $\times$ largura da copa.

Eficiência no uso da água de irrigação (EUA): foi calculada como a razão entre a produtividade total de frutos (kg ha^{-1}) e o volume de água aplicado via irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), conforme definido por Sinclair, Tanner e Bennett (1984). Para a quantificação

do volume de água, foram utilizados hidrômetros tangenciais de 1/2" instalados em cada mangueira de gotejamento (Figura 1).



Figura 1. vista de hidrômetro (A) e tensiômetros (B) instalados na área experimental, Petrolina-PE, 2025.

Os atributos de qualidade dos frutos foram determinados utilizando uma amostra de 10 frutos de tamanho semelhante, colhidos na periferia do dossel das plantas, para cada tratamento.

Comprimento longitudinal e diagonal dos frutos: foram determinados com o uso de um paquímetro, medindo-se a maior extensão de cada fruto e expressando os resultados em centímetros (cm).

Massa média dos frutos: expressa em gramas, foi determinada pela pesagem dos frutos em uma balança semianalítica.

Número de frutos: obtido pela contagem do total de frutos colhidos por planta ao final do ciclo produtivo.

Perda de massa: determinada por pesagem semanal dos frutos com a subtração do peso atual com o peso anterior.

Sólidos solúveis total (SS), medidos em °Brix, por meio de leitura direta em refratômetro digital, com valores corrigidos para 20°C.

Potencial hidrogeniônico da polpa (pH): verificado com o uso de um pHmetro digital, introduzido diretamente na polpa dos frutos macerados, sem adição de água.

A injúria nos frutos foi determinada por avaliação visual, considerando a presença ou ausência de injúrias caracterizadas por queimaduras na superfície dos

frutos. Para cada planta, foram avaliados 10 frutos, e a incidência de injúria foi expressa em porcentagem, considerando a razão entre o número de frutos injuriados e o número total de frutos avaliados, conforme a equação 2, proposta por Bellitti et al. (2025):

$$I = \left(\frac{N_q}{N_t} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que I é a incidência de injúria nos frutos, em %; N_q o número de frutos com queimadura e N_t o número total de frutos avaliados.

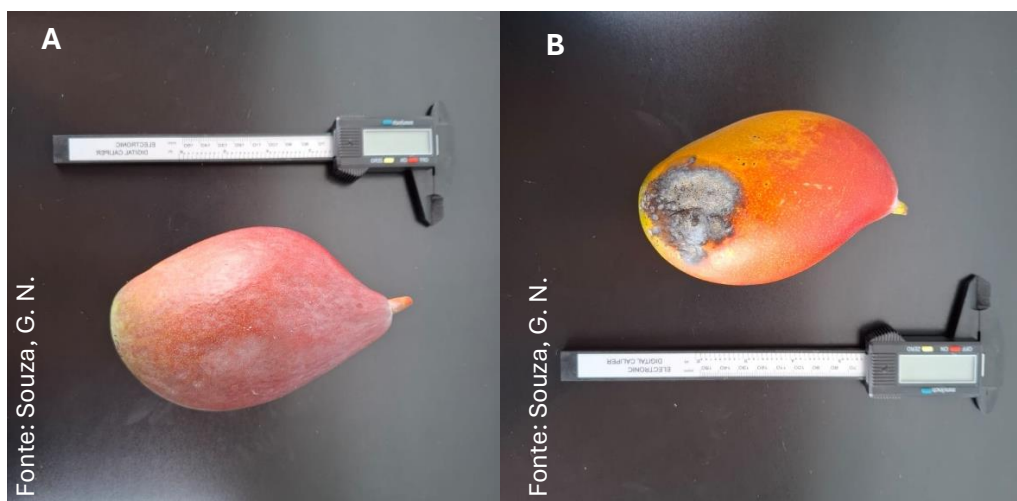


Figura 2. vista de frutos de mangueira variedade Palmer sem lesão(A) e com lesão (B) causada por queimadura solar. Petrolina-PE, 2025.

6.2.4 Dados climáticos e monitoramento do potencial matricial da água no solo

Os dados meteorológicos foram utilizados para caracterizar as condições climáticas durante o período experimental e subsidiar o manejo da irrigação. A precipitação pluviométrica foi monitorada na área experimental. As demais variáveis meteorológicas utilizadas no manejo da irrigação, incluindo a evapotranspiração de referência (ETo), foram obtidas da estação meteorológica automática da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada em Petrolina, PE.

Os dados de precipitação foram utilizados para acompanhar a contribuição das chuvas durante os ciclos avaliados e auxiliar na definição das irrigações. Os dados de

ET_o foram utilizados para estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c), enquanto os dados de temperatura do ar auxiliaram na caracterização das condições térmicas do período experimental e na interpretação das respostas das plantas ao ambiente semiárido. Os dados meteorológicos observados durante o período de condução do estudo estão apresentados na Figura 3.

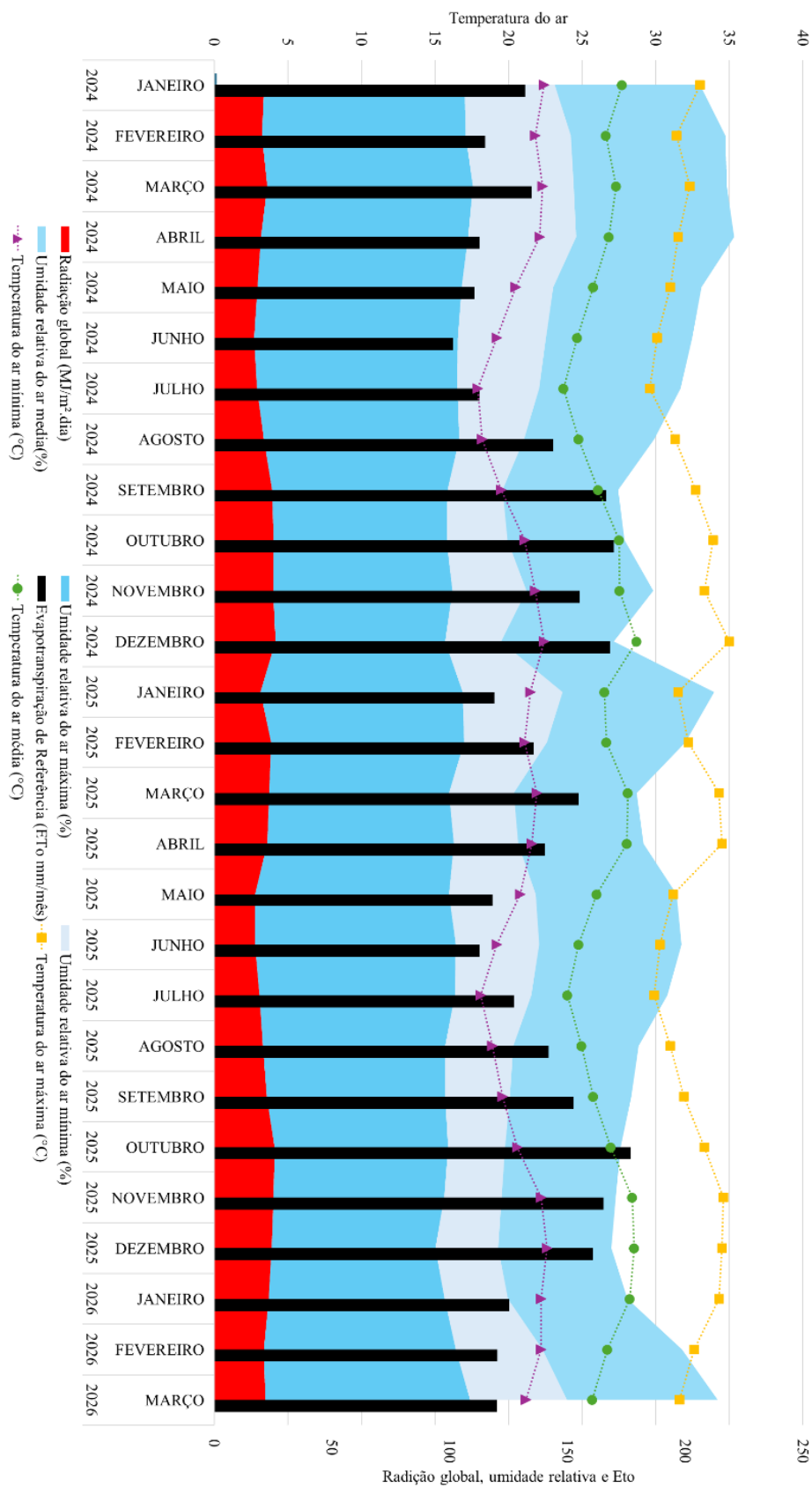


Figura 3. Dados climáticos observados próximos a área experimental. Petrolina PE 2025.

Os potenciais matriciais da água no solo (KPa) foram monitorados diariamente apenas no segundo ano de condução do estudo (Figura 2). As leituras tiveram início na fase fenológica de plena floração e se estenderam até o período próximo à colheita. Para a determinação dos potenciais, foram utilizadas duas baterias de tensiômetros (punção), instaladas nas profundidades de 20 e 40 cm. Uma bateria (Ψ_m PRD) foi instalada na projeção da copa de planta submetida ao manejo com PRD, enquanto a outra bateria (Ψ_m IP) foi instalada na projeção da copa de planta submetida à irrigação plena.

Os dados obtidos foram utilizados para acompanhar a dinâmica da água no solo nos dois manejos de irrigação e auxiliar na interpretação das respostas das plantas ao PRD e à irrigação plena.

6.3 Resultados e discussão

A produção de manga em regiões semiáridas requer a adoção de estratégias sustentáveis, eficientes e inovadoras, a fim de assegurar a manutenção da competitividade comercial da fruta no mercado. O uso de protetor solar em pomares da variedade 'Palmer', associado ao manejo de irrigação com 100% da ETc e à secagem parcial da zona radicular (PRD) com 66% da ETc, alternados quinzenalmente, apresentou efeitos sobre as características de albedo e temperatura foliar, comprimento e diâmetro de folhas e frutos, área foliar, produtividade, injúrias por queima solar, eficiência do uso da água, eficiência produtiva e perda de massa dos frutos após a colheita, os quais são apresentados e discutidos a seguir em itens específicos.

Consumo hídrico e monitoramento das tensões de água no solo

Durante a realização do experimento, no período de maio de 2024 a março de 2026, os maiores volumes de precipitação foram observados entre os meses de janeiro e fevereiro, com valor máximo acumulado de 445 mm em janeiro de 2025. Para a irrigação plena, foi registrado um total de 372,6 mm no ciclo 1 e 380,93 mm no ciclo

2. Já sob o PRD, o montante aplicado foi de 297,98 mm no ciclo 1 e 313,16 mm no ciclo 2 desconsiderando as chuvas ocorridas (Figura 4).

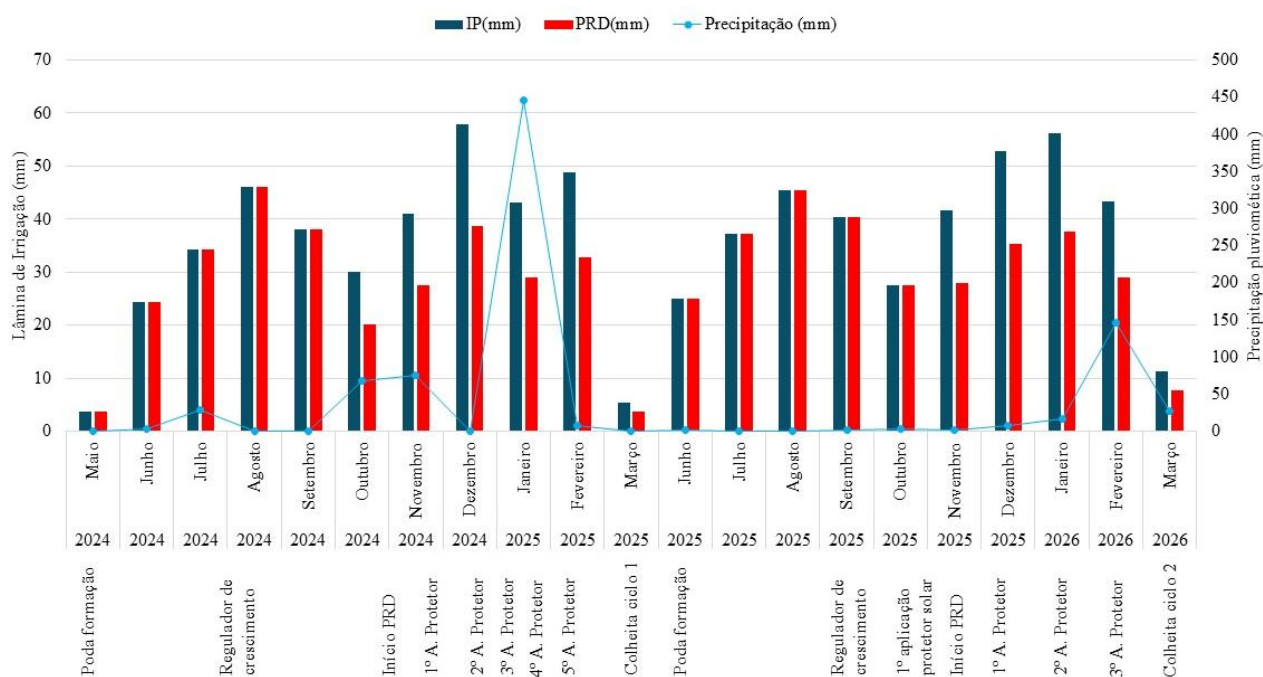


Figura 4. Gráfico com o consumo mensal da água e precipitação pluviométrica durante a realização do experimento, Petrolina-PE.

Diferenças entre as estratégias de manejo de irrigação podem ser verificadas pelas observações dos potencial mátricos do solo no tempo. Os menores valores de tensão de água no solo foram observados até a profundidade de 20 cm, com valores máximos não superado a tensão de -26 Kpa. Para as camadas mais profundas as tensões ficaram próximas a capacidade de campo (-10 KPa), muito em função da lâmina ser reduzida em 34% em plantas com déficit, da elevada frequência de irrigação, com turno de rega diário e leitura realizadas após eventos de irrigação, no turno matutino (Figura 5).

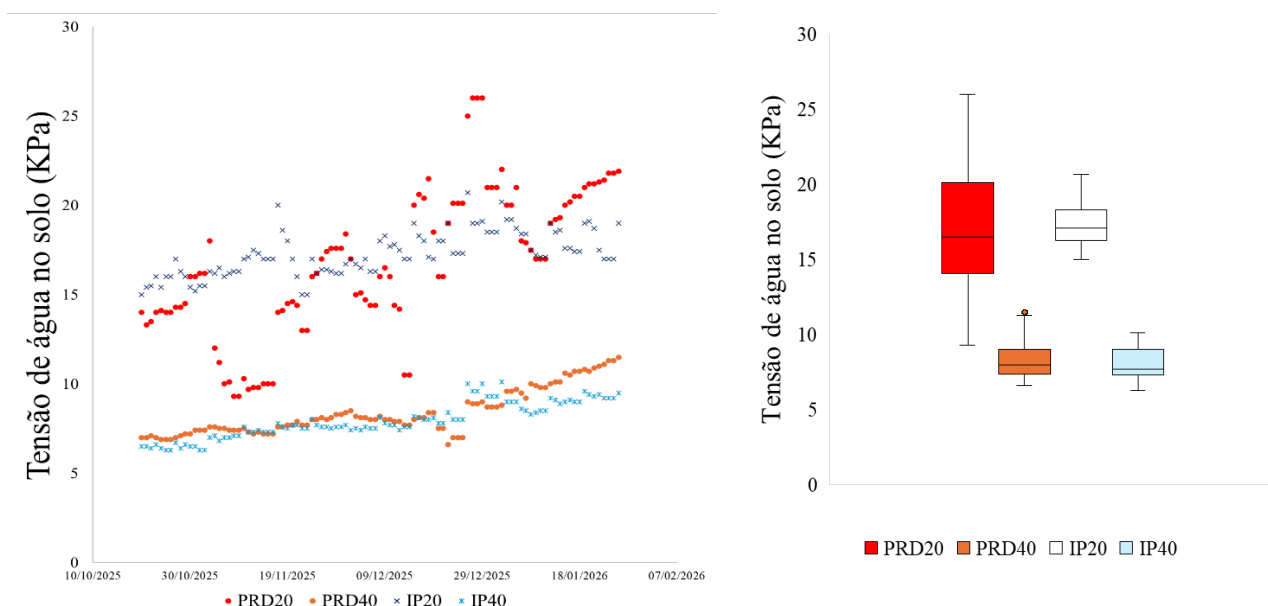


Figura 5. Tensão de da água no solo (KPa) nas profundidades de 20 e 40 cm na área experimental verificadas no período de setembro de 2025 a fevereiro de 2026. Petrolina-PE, 2025. PRD- Irrigação parcial da zona radicular; IP- irrigação plena.

A tensão da água do solo apresentou pouca variação na profundidade de 40 cm, possivelmente em razão do maior teor de argila presente nessa camada, que favorece a adsorção das moléculas de água, diminuindo as perdas hídricas ao longo do perfil do solo.

Respostas biofísicas relacionadas ao balanço de energia da planta das plantas

Após a análise de variância (ANOVA) dos dados da variável albedo, verificou-se efeito significativo para o fator proteção solar ($p = 0,0000$), mas não houve efeito para o manejo de irrigação ($p = 0,0515$) nem para a interação entre manejo e proteção solar ($p = 0,1261$). As plantas que receberam a aplicação de partículas de carbonato de cálcio mensalmente e com maior dose total apresentaram valores médios gerais de albedo significativamente superior aos observados nos demais tratamentos, com aumento de 9,34% em relação à média da testemunha (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de albedo e temperatura de folhas de mangueira cv Palmer, Petrolina-PE, 2025

Fator de Variação	Albedo	Temperatura foliar(°C)
Mensal	0,117 a	37,880 b
Quinzenal	0,098 c	37,276 b
Testemunha	0,107 b	41,078 a
PRD	0,110 a	39,753 a
Irrigação Plena	0,104 a	37,736 b
Análise da variância do quadrado médio		
Aplicação protetor (A)	0,003665*	834,821*
Manejo hídrico (B)	0,00891 ^{ns}	610,243*
A x B	0,00485 ^{ns}	39,762*
Média	0,107	38,744
CV 1 (%)	15,78	7,86
CV 2 (%)	12,16	8,53

Ns- não significativo; * significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação; PRD, secagem parcial da zona radicular. (n = 150).

Com relação à temperatura do dossel vegetativo, houve efeito significativo para o fator proteção solar, manejo de irrigação e para a interação de fatores ($p = 0,000$; $p = 0,000$ e $p = 0,020$, respectivamente). As plantas sem proteção solar apresentaram maiores médias de temperatura foliar, 8,4% a mais que o tratamento mensal e 10,2% a mais que o tratamento quinzenal. No caso do manejo de água, as plantas submetidas ao déficit de irrigação alteraram as trocas de vapor planta e atmosfera ao ponto de elevar a temperatura comparado a plantas plenamente irrigadas em 5,3%. Para a interação dos fatores, observaram-se respostas diferenciadas quanto ao uso do protetor solar, independentemente do manejo de água aplicado. Tanto sob condição de irrigação quanto sob déficit hídrico, as plantas que não receberam o protetor apresentaram maiores médias (Figura 6).

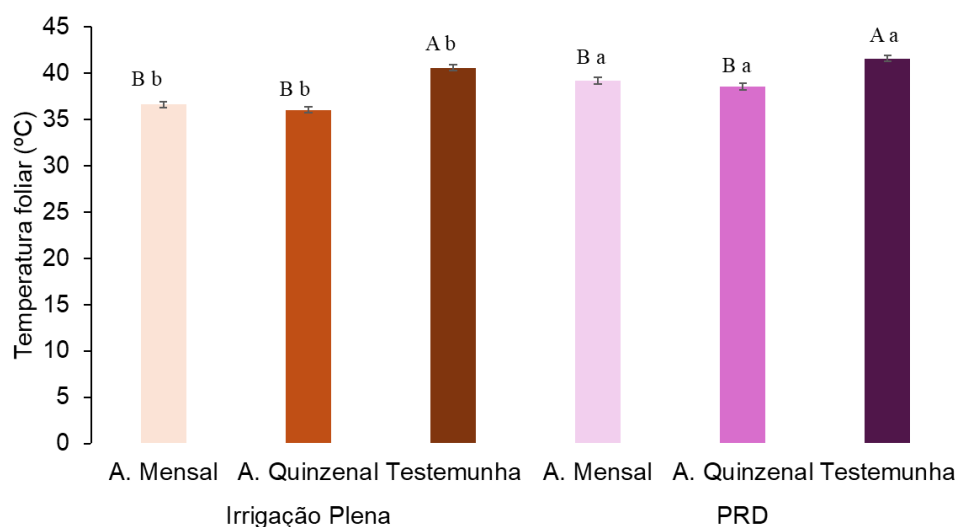


Figura 6. Médias da interação entre o manejo hídrico e a aplicação do protetor solar para a temperatura foliar. Petrolina-PE, 2025. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando o manejo hídrico em cada tratamento de proteção) e maiúscula (comparando a aplicação do protetor solar dentro de cada manejo de irrigação), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Como não houve interação entre fatores para o albedo, as respostas da aplicação do protetor solar independeram do manejo de água. O aumento dos valores de albedo pode estar associado à presença da película protetora sobre a superfície foliar, a qual modifica as propriedades ópticas das folhas e a refletância da radiação solar incidente sobre a copa das mangueiras (Tabela 2).

Bezerra et al. (2019), ao avaliarem o balanço de radiação em um pomar de mangueira da variedade Kent no Submédio do Vale do São Francisco, observaram um valor médio de albedo de 0,16, superior ao encontrado no presente estudo. Os valores inferiores observados podem ser justificados pelo horário de mensuração desse parâmetro, realizado próximo ao meio-dia. De acordo com André et al. (2010) e Souza et al. (2010), em horários próximos ao meio-dia, os raios solares incidem de forma quase perpendicular à superfície, promovendo maior penetração e retenção da radiação no interior do dossel vegetativo. Essa condição favorece a ocorrência de menores valores de albedo nesse período do dia.

Esses resultados indicam que o uso de protetor solar vegetal altera o balanço de energia na copa das plantas, potencialmente contribuindo para a mitigação do estresse térmico e para maior eficiência no uso da radiação, o que pode ser

corroborado pelos resultados de temperatura do dossel (Tabela 2, Figura 6). Souza et al. (2024) afirmam que a aplicação de protetores foliares geralmente forma um filme na superfície das folhas ou frutos, reduzindo a perda de água e a entrada de CO₂. Conforme relatado por Santos et al. (2024), em experimentos conduzidos com citros, a ausência de aplicação de protetor solar no dossel resultou em resposta direta das plantas ao déficit hídrico do solo, evidenciada por redução linear da transpiração foliar e da condutância estomática. Observou-se também que a concentração interna de carbono aumentou sob condições de estresse hídrico, porém manteve-se em níveis inferiores quando o protetor solar foi aplicado. Adicionalmente, a utilização do protetor solar contribuiu para o incremento da assimilação de CO₂.

Sob PRD, foi observada maior média de temperatura foliar, sendo 7,9% superior em relação às plantas protegidas na mesma condição de manejo hídrico, com aplicação quinzenal do protetor. A aplicação do filme protetor, mesmo que com intervalo mensal não afetou fisiologicamente a planta ao ponto de interferir negativamente nas taxas de crescimento e produção.

Mesmo nas condições ótimas de água no solo (Irrigação plena) houve efeito positivo da proteção solar no balanço energético resultando em valores 36.5°C e 36°C, para aplicação mensal e quinzenal, respectivamente, o que implica em melhor ambiência e ganhos relacionados a mitigação dos estresses fisiológicos citados anteriormente. Os valores médios temperatura das plantas protegidas ficaram próximos de 37°C valor inferior as plantas sem proteção 41C, valores potencialmente elevados para o correto desempenho fisiológico da cultura.

Embora a mangueira seja uma cultura que aprecia calor e esteja bem adaptada aos trópicos monçônicos, subtropicos quentes e regiões semiáridas, seu potencial produtivo diminui quando submetida a condições extremas de calor, seca e alta demanda evaporativa (RAJAN et al., 2012). A faixa de temperatura do ar considerada ideal para o cultivo da mangueira situa-se entre 24 °C e 30 °C, sendo que valores superiores a 38 °C comprometem a produção (LIMA FILHO ; TEIXEIRA, 2021). Entre agosto e dezembro dos anos de 2024 e 2025, a temperatura máxima média do ar permaneceu acima de 30 °C, alcançando picos de 35 °C em dezembro (Figura 4).

Scuderi et al. (2023), encontram temperaturas máximas absolutas registradas de 47,7 °C em estufa e 40,2 °C a céu aberto, sem que fossem observados danos

visuais nas plantas após esses episódios de calor extremo. Quando exposta por curtos períodos, a mangueira pode tolerar uma ampla faixa de temperatura, de 0 °C a 48 °C, sem efeitos adversos aparentes; contudo, danos ao aparato fotossintético podem ocorrer já a 45 °C (RAJAN, 2012; NORMAND et al., 2015).

Quase todos os processos biológicos de uma planta, desde as fases fenológicas e as relações hídricas são afetados pelo estresse térmico, impactando significativamente a fotossíntese e a fotorrespiração por diferentes mecanismos (BERNACCHI et al., 2023). A mangueira possui um sistema fotossintético C3 e, de acordo com Bernacchi et al. (2023), a maioria das plantas C3 apresenta um ótimo térmico entre 20 e 30 °C. Acima desse intervalo, as perdas no potencial fotossintético decorrem principalmente de uma menor taxa de carboxilação em relação à oxigenação. Além disso, temperaturas mais elevadas provocam uma diminuição relativa da concentração de CO₂ em relação ao O₂ nos cloroplastos, à medida que a temperatura aumenta, a solubilidade de O₂ e CO₂ diminui, sendo que a redução é mais pronunciada para o CO₂ do que para o O₂.

Em altas temperaturas, os estômatos se fecham para reduzir a perda de água, limitando a entrada de CO₂, uma resposta comum ao calor que diminui a fotossíntese (MAHAJAN et al., 2025). A Rubisco e outras proteínas envolvidas no transporte de elétrons começam a perder a funcionalidade em temperaturas acima de 35 °C e podem sofrer danos estruturais sob calor extremo, comprometendo o PSII e outros componentes fotoquímicos. Zeng et al. (2021) destacam que o estresse térmico pode afetar a fotossíntese e gerar um desequilíbrio no estado energético intracelular, principalmente devido ao dano das membranas tilacoides, que altera o estado redox no cloroplasto.

Além dos efeitos diretos sobre PSI, PSII, citocromo b6f e Rubisco, o estresse térmico pode interromper diversas reações redox e metabólicas. O fotossistema é especialmente sensível a altas temperaturas, sendo o PSII a parte mais vulnerável do cloroplasto e o principal alvo do estresse térmico (ZENG et al., 2021).

Na condição de secagem parcial da zona radicular, o aumento da temperatura foliar pode ser explicado pela alteração na abertura estomática e pelo desequilíbrio no balanço de energia da folha. Em condições de déficit hídrico, as plantas tendem a fechar os estômatos para reduzir a perda de água por transpiração, o que resulta em

aumento da temperatura foliar, uma vez que o fluxo de calor latente (transpiração) diminui e a energia líquida é redirecionada para o fluxo de calor sensível, elevando a temperatura da folha e do ar ao redor (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os valores de temperatura foliar foram sempre superiores para plantas submetidas ao déficit de irrigação, independente do manejo de proteção solar (Figura 3). Levando em consideração as plantas sem proteção solar, a temperatura foliar foi de 40,6 °C na condição de irrigação plena e 41,6 °C na condição de PRD, valores superiores aos limites críticos para cultura, citado anteriormente (LIMA FILHO ; TEIXEIRA, 2021) e aos observados por Andrade et al. (2024), que, ao avaliarem a temperatura foliar de plantas de manga da cultivar Kent em Petrolina sob déficit hídrico controlado, verificaram temperatura de 30,5 °C com lâmina de irrigação correspondente a 60% da ETc. Litz (2009), em seus estudos com mangueiras, afirma que a fotossíntese, o crescimento vegetativo e a frutificação são ótimos com temperaturas do dossel em torno de 25 a 32 °C, e que condições superiores a 35 °C acarretam estresse, com redução do desenvolvimento vegetativo e produtivo da cultura (Tabela 2 e Tabela 7).

Os resultados de balanço de radiação e temperaturas de dossel indicam que a proteção solar é especialmente importante para melhoria da ambiência e mitigação dos estresses e independe do manejo de irrigação adotado.

Variáveis biométricas de plantas de manga

Para o comprimento da folha, houve efeito para proteção solar ($p = 0,0246$) e para o manejo de irrigação ($p = 0,0224$); no entanto, não foi observado interação dos tratamentos ($p = 0,8583$). As plantas que não receberam aplicação do protetor apresentaram a maior média de comprimento, com 20,14 cm, diferindo do tratamento quinzenal (Tabela 3). Para o manejo de irrigação, o maior comprimento de folha foi observado nas plantas submetidas à irrigação plena, com 20,08 cm, diferindo das plantas submetidas a PRD. A largura da folha não foi afetada pelos fatores proteção solar ($p = 0,8637$) e manejo de irrigação ($p = 0,7924$), bem como não houve interação entre os fatores ($p = 0,5576$).

Tabela 3. Dados de comprimento foliar (CF) e largura foliar (LF), área da lâmina foliar (AF) e área foliar total da planta (AFP), Petrolina-PE, 2025

Fator de Variação	CF (cm)	LF(cm)	AF(cm ²)	AFP(m ²)
Mensal	19,935 ab	7,923 a	124,65 ab	5,327 a
Quinzenal	19,855 b	8,007 a	121,798 b	5,202 a
Testemunha	20,140 a	7,906 a	125,492 a	5,326 a
PRD	19,868 a	7,924 a	121,858 b	5,216 b
Irrigação Plena	20,086 a	7,966 a	126,102 a	5,354 a
Análise da variância do quadrado médio				
Protetor solar (A)	6,4908 *	0,8750 ^{ns}	1124,5661*	1,5621 ^{ns}
Manejo hídrico (B)	10,7147*	0,4138 ^{ns}	4052,8080*	4,2987*
A x B	0,3132 ^{ns}	3,4902 ^{ns}	70,4094 ^{ns}	2,3954*
Média	19,977	7,945	123,98	5,285
CV 1 (%)	8,63	31,86	17,65	17,57
CV 2 (%)	5,32	29,60	10,33	10,37

Ns- não significativo; * significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação; PRD, secagem parcial da zona radicular. (n = 150).

Para AF, semelhante ao comprimento da folha, houve efeito isolado dos fatores avaliados: proteção solar ($p = 0,0298$) e do manejo de irrigação ($p = 0,0004$), sem efeito da interação ($p = 0,8018$). Ao comparar a aplicação do protetor com a testemunha, observou-se que a maior média de AF ocorreu na testemunha (125,49 cm²), diferindo do tratamento quinzenal (121,79 cm²). Quando submetidas ao PRD, as plantas apresentaram menor média de área da folha (121,85 cm²), comparativamente às plantas sob irrigação plena, com uma redução de 3,48%.

Houve efeito significativo do manejo da água ($p = 0,0067$) e da interação aplicação x manejo ($p = 0,0166$), mas não da proteção solar isoladamente ($p = 0,0687$) sobre a variável área foliar total da planta. Na condição de PRD, as plantas apresentaram menor área foliar total (5,26 m²), correspondendo a uma redução de 2,68% quando comparadas às plantas que receberam aplicação do filme de partículas refletivas. A maior área foliar foi observada nas plantas submetidas à irrigação plena com aplicação quinzenal do filme, apresentando média de 5,371 m² (Figura 7).

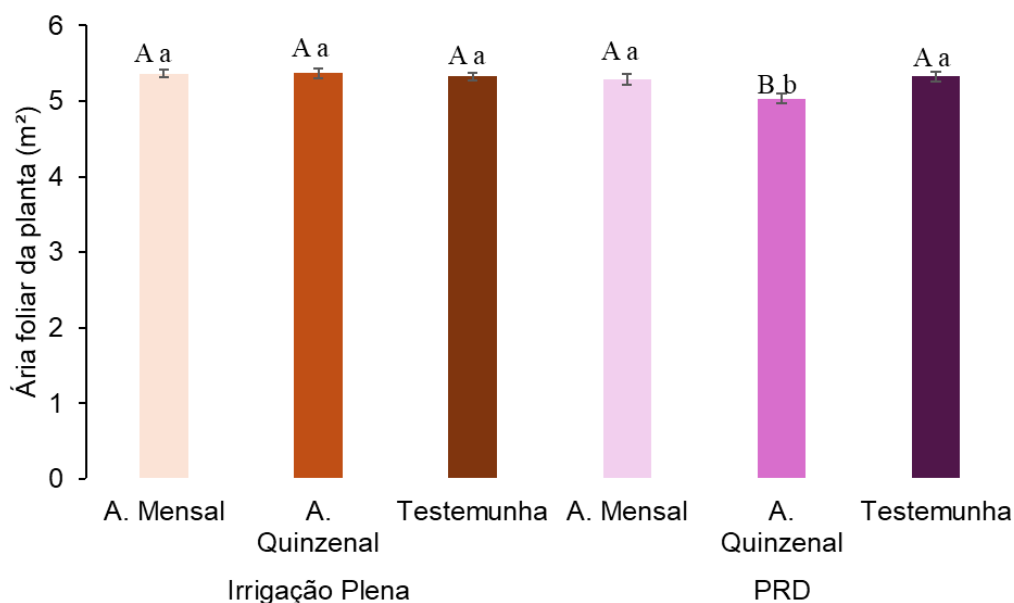


Figura 7. Médias da interação entre o manejo hídrico e a aplicação do protetor solar para a área foliar da planta. Petrolina-PE, 2025. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando o manejo hídrico) e maiúscula (comparando a aplicação do protetor solar), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os valores encontrados para o comprimento, largura e área da folha são coerentes para a variedade Palmer corroborando os valores encontrado por Da Silva Junior et al., (2019) com comprimento médio 21.3cm, largura média 6.1cm e área foliar média de 90cm². Thakur et al. (2025) comparando 25 variedades de manga encontraram grande variabilidade das características morfológicas para essa cultura. Os achados confirmam que fatores genéticos são os principais responsáveis pela diversidade morfológica foliar da manga, embora a adaptação ao ambiente também contribua, fornecendo informações valiosas para melhoramento e seleção de cultivares (ARORA et al, 2024).

Apesar da menor média de AF sob aplicação do protetor no intervalo quinzenal, não foi possível detectar efeitos negativos da proteção solar no crescimento e no rendimento produtivos das plantas de mangueira. Indicando que não houve efeitos negativos na fisiologia de crescimento nos tratamentos de proteção e possivelmente nas trocas gasosas das plantas, fato observado por Santos et al. (2024)

A AFP está relacionada com a perda de água, tendo em vista que as folhas são os principais órgãos responsáveis pelo processo fotossintético, por transpiração e pelas trocas gasosas (DA SILVA JUNIOR et al., 2019). Plantas com menor área foliar total podem apresentar menor consumo de água o que pode explicar a adaptação ao manejo com déficit e redução das necessidades de práticas de poda afetando positivamente os ganhos líquidos da produção.

A poda é uma prática cultural fundamental no cultivo da mangueira para garantir frutos de melhor qualidade, pois envolve a remoção seletiva das partes vegetativas. Árvores muito vigorosas podem obstruir a penetração da luz no interior do dossel, resultando em menor brotação foliar, atividade fotossintética reduzida e maior incidência de pragas e doenças devido à elevada umidade relativa. Além disso, a luz solar não apenas estimula a floração e a frutificação, como também contribui para a melhoria da qualidade e da coloração dos frutos (ASREY et al., 2013).

Mesmo quando realizada com implementos mecanizados em pomares de alta densidade, a prática da poda exige investimento de recursos para sua execução. Os resultados encontrados neste estudo mostraram que, sob irrigação deficitária e aplicação quinzenal de filme protetor, as plantas de mangueira apresentaram menor vigor (área foliar reduzida). Isso indica que essa estratégia pode ser considerada em futuros trabalhos como uma prática recomendada para reduzir custos operacionais com poda em pomares comerciais.

Qualidade de frutos colheita e pós-colheita

Com relação a qualidade química de frutos, os sólidos solúveis, não foram afetados pela proteção solar ($p = 0,6102$), pelo manejo de irrigação ($p = 0,3870$) e interação de fatores ($p = 0,6412$). O teor médio de sólidos solúveis de 16.031 °Brix encontrado no estudo está compatível com os valores-padrão da variedade (LIMA, 2021). Apesar de não expressar efeitos significativos neste estudo, o manejo PRD pode até melhorar a qualidade de frutos em algumas condições, refletindo atributos desejáveis para o mercado, como mostram os estudos de Spreer et al. (2007).

O pH da polpa dos frutos não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos aplicação ($p = 0,3638$), manejo de irrigação ($p = 0,8576$) e a interação (p

= 0,1151), apresentando potencial hidrogeniônico médio da polpa de 4,758, independentemente dos fatores estudados.

Os valores de pH observados neste estudo são superiores aos encontrados por Souza et al. (2018), que relataram valores de pH próximos de 3,77 e 3,32 nos dois ciclos produtivos da cultura. O pH é um parâmetro importante para mensurar a qualidade pós-colheita dos frutos, sendo que frutos mais ácidos indicam uma fase de maturação menos avançada em comparação com frutos de maior pH.

Para massa do fruto, houve efeito do fator manejo de proteção solar ($p = 0,0500$), mas não houve para o manejo de irrigação ($p = 0,7595$) e para a interação ($p = 0,0950$). As plantas sem proteção, apresentaram maiores médias de massa do fruto, com 536 g, diferindo significativamente apenas das plantas que receberam aplicação de protetor solar em intervalo quinzenal (Tabela 4).

Tabela 4. Massa do fruto (MF), comprimento longitudinal (CL) e comprimento diagonal (CD), injúrias por queima solar e perda total de massa (PTM) de frutas de manga cultivar Palmer, Petrolina-PE, 2025

Fator de variação	MF(g)	CL(mm)	CD (mm)	Injúria (%)	PTM (g)
Mensal	498,70 ab	131,85 ab	83,25 a	1,0 a	60,55 a
Quinzenal	468,30 b	126,25 b	81,75 a	0 a	65,85 b
Testemunha	536,25 a	135,05 a	84,35 a	8,5 b	74,55 c
PRD	497,66 a	129,27 a	82,30 a	3,6 a	68,37 a
Irrigação Plena	504,50 a	132,83 a	83,93 a	2,6 a	65,60 b
Análise da variância do quadrado médio					
Protetor solar (A)	23171,22 *	369,80*	34,07ns	431,67*	999,26*
Manejo hídrico (B)	700,43 ^{ns}	190,82 ^{ns}	40,02 ^{ns}	15,00 ^{ns}	114,81*
A x B	18198,61 ^{ns}	165,27 ^{ns}	42,46 ^{ns}	130,00 ^{ns}	373,06*
Média	501,08	131,05	83,12	3,2	66,93
CV 1 (%)	17,04	5,46	5,71	87,17	3,19
CV 2 (%)	17,29	7,07	5,31	62,17	3,31

Ns- não significativo; * significativo ($p \leq 0,05$) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação; PRD, secagem parcial da zona radicular. (n = 60).

Os frutos avaliados apresentaram massa média superior a 430 g, podendo ser classificados na classe 350, que abrange frutos de manga com massa entre 351 e 550 g, de acordo com as normas de classificação de manga lançadas pelo Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura em 2005, o que lhes confere facilidade de comercialização tanto no mercado interno quanto no externo (LIMA, 2021).

Não houve efeito significativo para o fator manejo de proteção solar ($p = 0,2084$), manejo de irrigação ($p = 0,1741$) e para a interação ($p = 0,1435$) para a variável comprimento diagonal dos frutos. No entanto, para a variável comprimento longitudinal, foi observado efeito significativo da proteção solar ($p = 0,0053$), mas não para o manejo de irrigação ($p = 0,1010$) e para a interação entre fatores ($p = 0,0993$).

Os comprimentos longitudinais e diagonais dos frutos avaliados no presente estudo apresentaram menores valores nas plantas submetidas à secagem parcial da zona radicular. Conforme apresentado na Tabela 4, os frutos provenientes das plantas que receberam aplicação do protetor solar em intervalos quinzenais exibiram menores médias, com 121,4 mm de diâmetro longitudinal e 79,4 mm de diâmetro diagonal. Contudo, tais valores não comprometem a classificação comercial dos frutos, mantendo-os dentro dos padrões exigidos para comercialização. As menores médias dessas características morfológicas podem estar associadas ao acúmulo excessivo do produto sobre a superfície foliar, o que possivelmente ocasionou redução na taxa fotossintética e, por conseguinte, menor acúmulo de fotoassimilados nos frutos.

A injúria de frutos, quantificada por meio da porcentagem de frutos com sintoma de queimado solar em sua epiderme, foi mitigada com a prática da proteção solar ($p = 0,0000$), sem efeitos isolado do manejo de irrigação ($p = 0,5155$) e da interação de fatores ($p = 0,1660$). O uso de protetores solares minimizou as injúrias causadas por queimaduras solares, chegando a 0% a quantidade de frutos queimados em plantas que receberam aplicações quinzenais (Tabela 4).

Plantas que não receberam a aplicação da película protetora do produto (Sombryt BR) apresentaram maior média, com 8,5% de frutos queimados, diferindo significativamente dos demais tratamentos. A proteção solar mitigou completamente as injúrias nas plantas que receberam aplicações quinzenais, não foi observado o surgimento de frutos queimados (0% com injúrias). Para aplicação mensal foi verificado que 1,0% dos frutos analisados apresentaram queimaduras. Com base nos

resultados encontrados quanto maior frequência de aplicação do Sombryt BR melhor a proteção, independente do manejo de irrigação adotado.

A adoção de estratégias de proteção solar constitui uma prática relevante para a mitigação de perdas causadas por injúrias térmicas e foto-oxidativas em frutos de mangueira. No presente estudo, a frequência de aplicação mostrou-se determinante na redução da incidência dos danos, sendo a aplicação mensal a que apresentou maior eficiência na mitigação da queimadura solar.

A ocorrência de queimadura solar representa um problema recorrente em pomares comerciais do Submédio do Vale do São Francisco. Entretanto, ainda são escassas as informações na literatura que quantifiquem com precisão o impacto econômico desse distúrbio no custo total de produção na região. Estimativas empíricas indicam que as perdas podem ultrapassar 30% da produção total em condições de elevada radiação e temperatura, embora tais valores careçam de validação sistemática por meio de estudos regionais controlados.

Em estudo conduzido por Bellitti et al. (2025), na Itália, sob clima mediterrâneo típico (pluviosidade anual média entre 800 e 1000 mm e temperatura média anual de 17,5 °C), foi relatada incidência de aproximadamente 20% de frutos afetados por queimadura solar. Esses resultados evidenciam que, mesmo em condições climáticas menos extremas do que as observadas no semiárido brasileiro, o problema pode apresentar magnitude significativa, reforçando a necessidade de estratégias preventivas de manejo

Araújo e Brito (2021), ao avaliarem o efeito fotoprotetor de formulações filmogênicas aplicadas em frutos de manga, constataram que a formulação composta por galactomanana e bentonita foi eficaz na redução da ocorrência de queimadura solar. Além disso, destacaram que essa alternativa pode substituir a caulinita, uma vez que esta apresenta como limitação a dificuldade de remoção da superfície do fruto após a colheita.

Com relação à perda total de massa de frutos, houve efeito para o fator aplicação de protetor solar ($p = 0,0000$), para o manejo ($p = 0,0000$) e para a interação ($p = 0,0000$). Os frutos provenientes das plantas sem proteção perderam 23,12% a mais de massa do que os frutos das plantas que receberam a aplicação do filme protetor com intervalos mensais. No manejo hídrico, observou-se impacto na perda

total de massa dos frutos: sob o regime de irrigação com deficit (PRD), os frutos perderam 4,22% a mais de massa em comparação com as plantas submetidas à irrigação plena. A interação manejo × aplicação, revelou a maior perda total de massa nas plantas que não receberam a aplicação do protetor sob PRD, com um valor médio de 80 g, superior em 38,8% em relação à aplicação mensal. Este tratamento representou a menor perda de massa observada no experimento, 57,6 g. As plantas sob irrigação plena apresentaram perda de massa menor do que as plantas sem proteção, com uma redução de 7,81% (Figura 8).

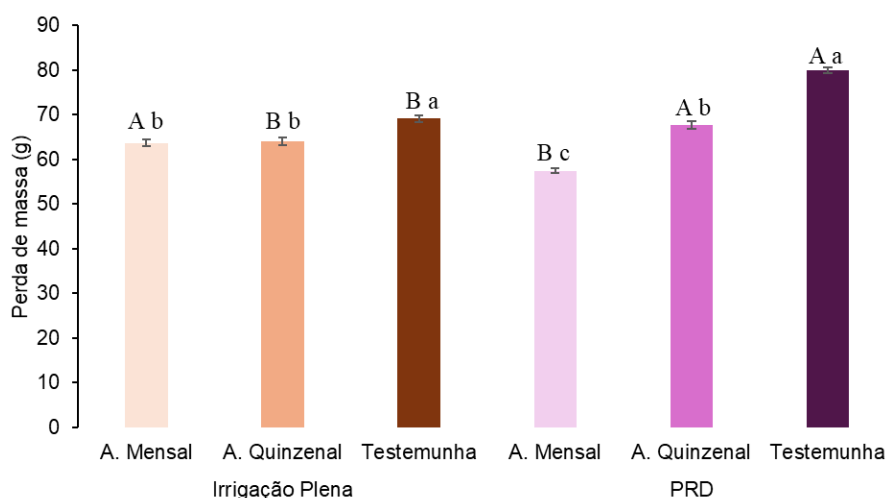


Figura 8. Médias da interação entre o manejo hídrico e a aplicação do protetor solar para a perda total de massa dos frutos. Petrolina-PE, 2025. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando o manejo hídrico) e maiúscula (comparando a aplicação do protetor solar), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A Figura 9 mostra que os frutos de manga da cultivar Palmer apresentam perda de massa ajustada por uma linha de tendência polinomial quadrática, com coeficiente de determinação (R^2) variando aproximadamente entre 0,84 e 0,94. As plantas que não receberam a aplicação do protetor solar apresentaram frutos com maior perda de massa ao longo dos dias de avaliação, especialmente quando as plantas foram submetidas ao manejo de irrigação com déficit. Corroborando, mais uma vez, a capacidade de aumento da resiliência da planta e frutos aos estresses ambientais que

afetam também a qualidade do fruto, pois a menor perda de massa resulta em maior vida útil do fruto no pós-colheita.

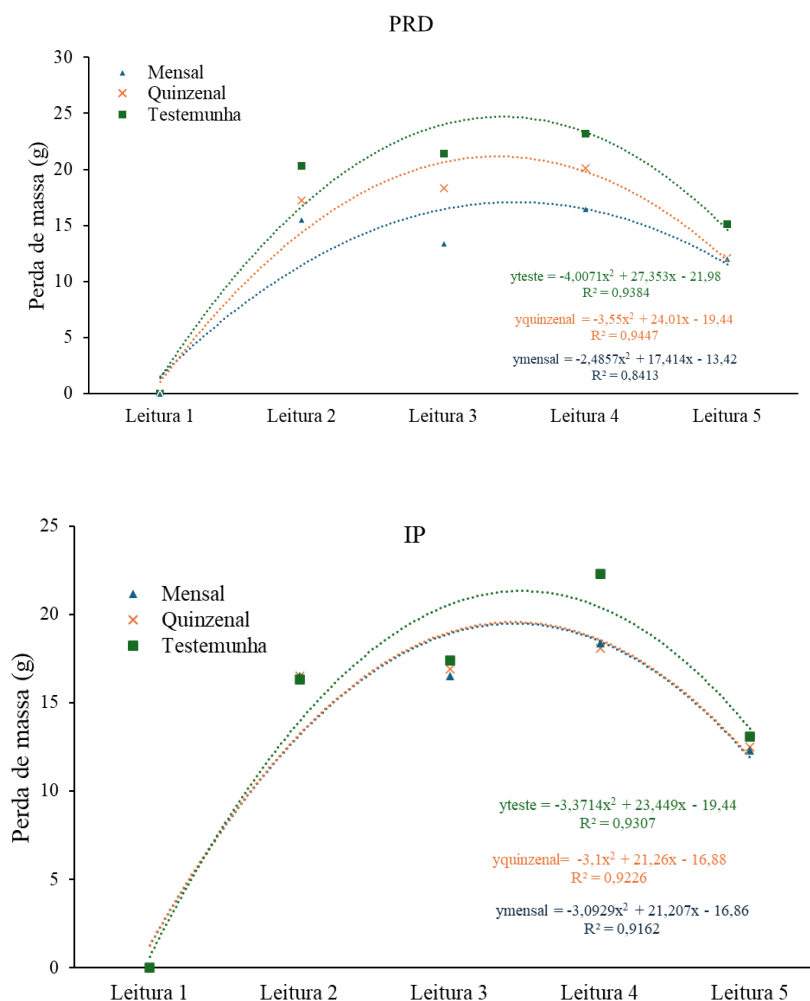


Figura 9. Perda de massa de frutos de manga cultivar Palmer submetidas a aplicação solar e manejo de irrigação avaliados a cada 3 dias. Petrolina-PE, 2025. IP-irrigação plena, PRD-secagem parcial da zona radicular.

A manga caracteriza-se como um fruto climatérico de alta perecibilidade, apresentando intensa atividade metabólica no período pós-colheita, o que contribui significativamente para a redução da massa fresca durante o armazenamento (COSTA et al., 2025). A perda de água decorrente dos processos respiratórios e transpiratórios está diretamente associada ao declínio da qualidade comercial.

Conforme relatado por Lufu et al. (2020), reduções superiores a 10% no peso fresco são consideradas críticas para a comercialização de frutas e hortaliças, uma vez que resultam em murchamento, perda de firmeza e alterações visuais que

comprometem a aceitação pelo consumidor. No presente estudo, as plantas submetidas ao manejo hídrico deficitário apresentaram perdas superiores ao limite considerado ideal, atingindo 15,53%.

Por outro lado, nos estudos de Costa et al. (2025) e Silva et al. (2017), foram verificadas perdas próximas a 10% em mangas ‘Palmer’ armazenadas sob condições ambientais por 15 dias. No presente trabalho, apenas as plantas sob irrigação plena apresentaram valores mais próximos do limite aceitável (12,3%), evidenciando a influência da disponibilidade hídrica na manutenção da qualidade pós-colheita.

Parâmetros produtivos da cultura e do uso da água em pomares irrigados de manga no semiárido

No primeiro ciclo produtivo, ciclo 1, o número de frutos foi afetado pela prática de proteção solar ($p = 0,000$), mas sem efeitos significativos para o manejo de irrigação ($p = 0,5332$) e interação de fatores proteção solar e manejo de água ($p = 0,4867$). Já no segundo ciclo produtivo, ciclo 2, para o número de frutos por planta houve efeito para o fator proteção ($p = 0,0000$) e manejo de irrigação ($p = 0,0000$), mas não houve para interação dos fatores ($p = 0,4118$).

Nos dois ciclos produtivos analisados, as plantas submetidas à aplicação do protetor solar, tanto no intervalo quinzenal quanto no mensal, apresentaram maior número de frutos, diferindo significativamente das plantas sem proteção, tanto na condição de irrigação plena quanto na de irrigação deficitária, indicando efeito benéficos da proteção solar no pegamento de frutos por conta da melhoria do balanço energético e ambiência na fase de pegamento (fixação) de frutos, ponto importante para os ganhos produtivos e relevante em futuros estudos científicos para cultura em ambiente semiárido.

No ciclo 1, plantas submetidas à aplicação do filme de partículas refletivas apresentaram incremento de 79,8% no número de frutos em comparação às plantas que não receberam a proteção solar. O maior número de frutos, com média de 88, frutos por planta, foi observado nas plantas que receberam aplicação mensal do protetor solar sob irrigação plena. O menor número de frutos foi verificado nas plantas

sob condição de PRD e sem proteção solar, com média de 46,4 frutos por planta (Tabela 5).

Tabela 5. Número de frutos (NF), produtividade, Eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água (EUA) de mangueira submetidas a aplicação de protetor solar e manejo hídrico deficitário. Petrolina-PE, 2026.

Fator de variação	NF		Produtividade (Kg.ha ⁻¹)		EP (Kg.m ⁻³)		EUA (Kg.m ⁻³)	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
Mensal	83,75 a	83,70 a	33384,35 a	32110,65 a	4,006 a	3,712 a	10,174 a	8,409 a
Quinzenal	75,60 a	58,70 b	28921,76 b	21626,34 b	3,407 a	2,500 b	8,665 a	5,646 b
Testemunh a	46,60 b	44,70 c	20030,82 c	14338,59 c	2,423 b	1,657 c	6,193 b	3,734 c
PRD	67,30 a	54,63 b	26365,78 b	18495,01 b	3,153 a	2,138 b	8,481 a	5,140 b
Irrigação Plena	70,00 a	70,13 a	28525,50 a	26888,71 a	3,405 a	3,108 a	8,207 a	6,719 a
Análise da variância do quadrado médio								
Protetor solar (A)	7625,15 *	7789,01 *	9242667860, 7*	15962596 3*	12,779 *	21,34 *	80,774 *	110,46 *
Manejo hídrico (B)	109,35 ⁿ s	3603,75 *	699965798,9 *	10568123* *	0,950 ⁿ s	14,12 *	1,122 ⁿ s	37,43* *
A x B	202,85 ⁿ s	32,55 ^{ns}	75353362,4* *	706286,7* *	0,847 ⁿ s	0,094 *	3,417 ⁿ s	0,070 ⁿ s
Média	68,65	62,38	27445,64	22691,86	3,279	2,623	8,344	5,929
CV 1 (%)	28,50	8,56	14,86	8,16	37,18	8,20	37,35	8,04
CV 2 (%)	19,17	9,65	14,11	6,26	23,42	6,25	23,67	6,05

Ns- não significativo; * significativo (p≤0.05) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação; PRD, secagem parcial da zona radicular. (n = 60).

No ciclo 2, as plantas apresentaram número de frutos semelhantes ao ciclo 1, com menor número de frutos observados nas plantas sem proteção solar (44,7 frutos por planta) e sob PDR (54,63 frutos por planta).

A produtividade total das mangueiras foi maior no ciclo 1, com média geral de 27.445,64 kg ha⁻¹, enquanto no ciclo 2 foi de 22.691,86 kg ha⁻¹. No ciclo 1, houve efeito da proteção solar ($p = 0,000$), do manejo de irrigação ($p = 0,0401$) e da interação entre aplicação de protetor e manejo hídrico ($p = 0,0124$) para a variável produtividade de mangueiras da cultivar Palmer. No ciclo 2, o comportamento da variável produtividade total foi semelhante ao observado no primeiro ciclo, com efeito da proteção solar ($p = 0,000$), do manejo hídrico ($p = 0,0000$) e da interação entre os fatores ($p = 0,0443$).

Independentemente da proteção solar, plantas com irrigação deficitária (PRD – 66% ETc) produziram, em média, 8,19% a menos que plantas irrigadas plenamente no ciclo 1 e 45,34% no ciclo 2. Com relação aos efeitos da proteção solar, foram observados ganhos produtivos de 66,66% e 44,38% em relação a plantas sem proteção solar, para as aplicações mensal e quinzenal, respectivamente no ciclo 1. Já no ciclo 2, os ganhos produtivos foram de 124,04% para aplicação mensal e 50,9% para aplicação quinzenal. A aplicação mensal permitiu a maximização da produtividade, sendo 15,42% superior à quinzenal no ciclo 1 e 48,51% no ciclo 2.

Avaliando os efeitos da proteção solar dentro de cada manejo de irrigação, houve queda de produção em função de estresse do ambiente atmosférico significativo para plantas sem proteção solar sob irrigação plena nos dois ciclos. O comportamento foi semelhante aos efeitos isolados da proteção, com produtividade superior para aplicação mensal do protetor, seguida pela aplicação quinzenal e inferior para plantas sem proteção, as quais ficaram 50% abaixo da máxima alcançada. No manejo com déficit, o resultado comprova o aumento da resiliência climática das plantas protegidas; nesse caso, não houve diferenças estatísticas entre as frequências de aplicação, mas verificou-se queda expressiva da produtividade para plantas sem proteção solar (31,14% e 23,41%, respectivamente no ciclo 1)

Independente da proteção solar, a redução da lâmina de irrigação impactou o rendimento das plantas em comparação à irrigação plena; entretanto, a aplicação de protetor solar, tanto em intervalos mensais quanto quinzenais, mitigou esse efeito adverso, especialmente nas plantas que receberam aplicação quinzenal do produto, com aumento da resiliência da planta. A média geral de produtividade foi de aproximadamente 27,5 t ha⁻¹ (ciclo 1) e 22,7 t ha⁻¹ (ciclo 2), valores superiores aos

encontrados por Santos et al. (2020) para a mesma variedade sob déficit hídrico semelhante (Figura 10).

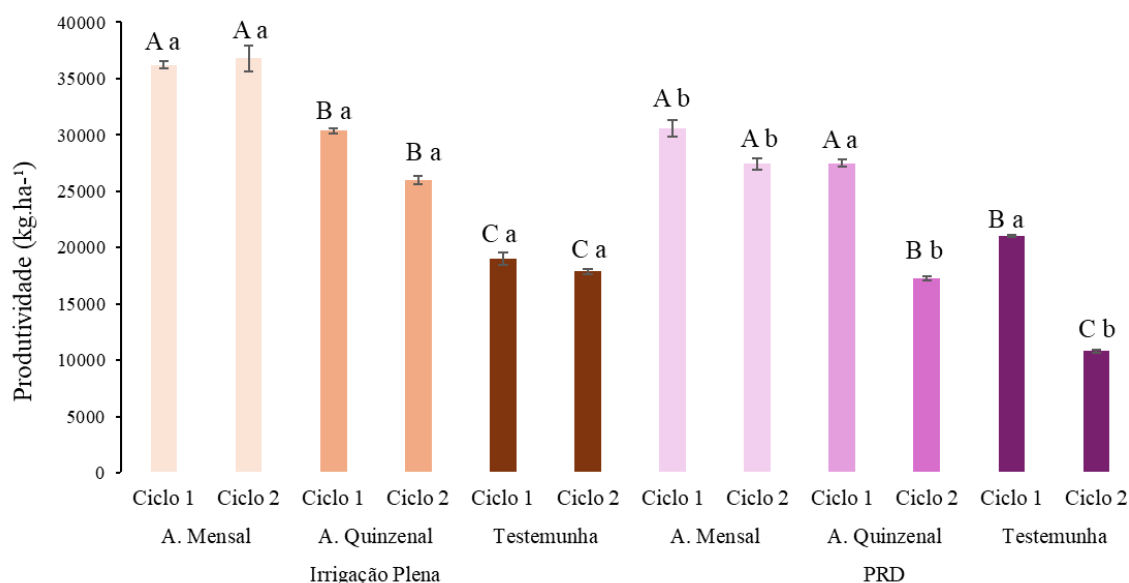


Figura 10. Médias da interação entre o manejo hídrico e a aplicação do protetor solar para a produtividade de mangueiras. Petrolina-PE, 2026. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando o manejo hídrico) e maiúscula (comparando a aplicação do protetor solar), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A eficiência produtiva das mangueiras foi afetada pelo fator proteção solar ($p = 0,0001$), mas não para o manejo de irrigação ($p = 0,3430$), não havendo interação entre fatores ($p = 0,4774$) no ciclo 1. No entanto, no ciclo 2, houve efeito para os fatores proteção solar ($p = 0,000$), manejo hídrico ($p = 0,0437$) e interação dos fatores ($p = 0,0000$). A maior eficiência produtiva, com média de 4,317 kg de manga por metro cúbico de copa, foi observada nas plantas que receberam aplicação mensal do protetor solar sob lâmina de irrigação plena (ciclo 1). Em contrapartida, a menor eficiência produtiva foi registrada nas plantas que não receberam aplicação do protetor solar, com média de 1,249 kg de manga por metro cúbico de copa (ciclo 2), diferindo significativamente dos tratamentos com aplicação mensal e quinzenal do protetor solar (Tabela 5, Figura 11). A eficiência produtiva sofre influência do manejo adotado e os valores encontrados são inferiores aos encontrados por Modesto (2013)

verificou eficiência produtiva para a Palmer de 3,49 kg.m⁻³ no ciclo agrícola de 2011/2012 e 10,24 kg.m⁻³ no ciclo 2012/2013.

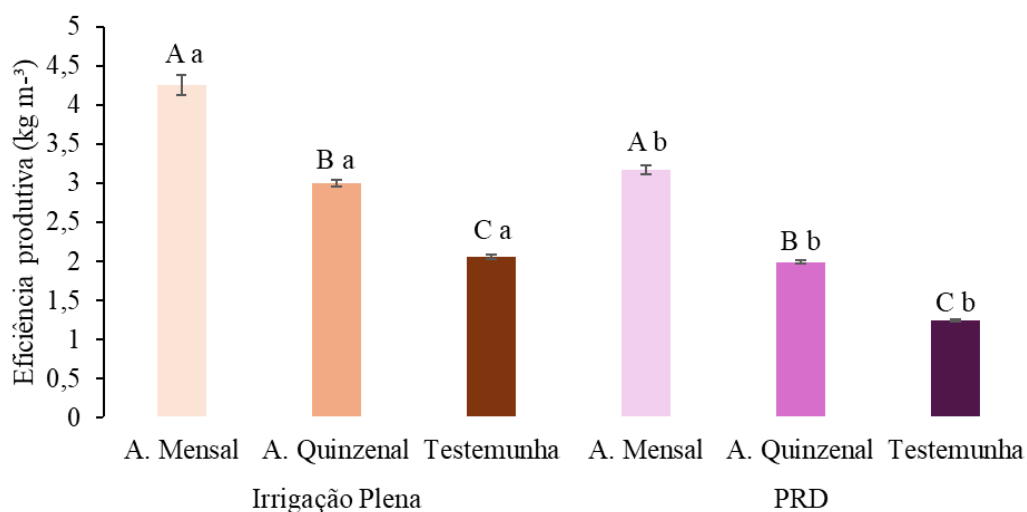


Figura 11. Interação entres os tratamentos para a variável eficiência produtivo no segundo ciclo do experimento. Petrolina-PE 2026. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando o manejo hídrico) e maiúscula (comparando a aplicação do protetor solar), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De forma semelhante à eficiência produtiva, no ciclo 1, houve efeito significativo da aplicação de protetor solar ($p = 0,0001$); mas não para o manejo de irrigação ($p = 0,6862$) nem da interação aplicação de protetor solar $\times$ manejo hídrico ($p = 0,6081$) para a variável eficiência de uso da água. No entanto, no ciclo 2, houve efeito para a proteção solar ($p = 0,0000$) e manejo hídrico ($p = 0,0000$), mas não houve para interação dos fatores ($p = 0,0538$).

A secagem parcial da zona radicular com 66% da ETc afetou a eficiência do uso da água em mangueiras da cultivar Palmer, quando comparada às plantas sob irrigação plena apenas no ciclo 2. A Tabela 6 mostra que houve efeito significativo da aplicação do protetor solar sobre a copa, sendo que a aplicação mensal do produto resultou em maior eficiência no uso da água, com média geral de 10,174 kg de frutos por m³ de água no ciclo 1. Com relação ao manejo hídrico, as plantas sob irrigação plena apresentar uma eficiência de uso de água 30,1% superior as plantas sob PRD. Esse valor é superior aos encontrados por Simões et al. (2021), que, em seus estudos

com redução da lâmina de irrigação aplicada em até 60% da ETc no cultivo da mangueira 'Kent', observaram valores médios entre 4 e 5 kg/m³. Para Santos e Coelho Filho (2024), a prática do uso de protetor solar, independentemente do manejo da água nos pomares, é recomendada.

Os menores valores de eficiência produtiva e de uso da água, observados nas plantas que não receberam aplicação de protetor solar, podem estar associados ao vigor não alterado em termos de área foliar. Ou seja, esses resultados refletem perdas na produção, principalmente pela redução do número de frutos, uma vez que a massa individual dos frutos foi maior em plantas sem proteção, indicando que a energia foi alocada em menos frutos, resultando em maior tamanho, devido à relação fonte-dreno (SINGH et al., 2017; FALCHI et al., 2020; ROSSOUW et al., 2024).

Andrade et al. (2024) avaliaram a produção e a viabilidade econômica da mangueira 'Kent' submetida à irrigação com déficit regulado no semiárido, observando que tratamentos com estresse hídrico durante o crescimento dos frutos apresentaram as menores produtividades, evidenciando alta sensibilidade da planta nessa fase. A irrigação com 40% da evapotranspiração da cultura (ETc) na floração e 80% da ETc durante crescimento e maturação dos frutos resultou em maior produção, eficiência no uso da água e melhor relação custo/benefício.

De maneira semelhante, Santos et al. (2016) verificaram em mangueiras 'Tommy Atkins' que a produtividade era maior quando o déficit era aplicado na maturação e menor durante a frutificação, embora a irrigação com déficit regulado (RDI) isoladamente não tenha apresentado diferenças significativas. Os autores também relataram que a secagem parcial da zona radicular com 40% da ETc reduziu condutância estomática, fotossíntese e eficiência da carboxilação, impactando negativamente a produtividade.

Diante desses efeitos, estratégias complementares de mitigação do estresse hídrico são essenciais, como verificado no presente estudo com os ganhos em produtividade (kg.ha⁻¹), eficiência produtiva (kg de fruto por m³ de copa) e eficiência de uso da água (kg de fruto por m³ de água), especialmente pelo aumento do número de frutos (Tabela 5). Abdel-Sattar et al. (2024) demonstraram que o déficit hídrico prejudica características fisiológicas de mangueiras 'Keitt', mas que a aplicação foliar de bromo (Br) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), isoladamente ou combinados, pode

atenuar esses efeitos, promovendo maior crescimento, translocação de nutrientes e resistência ao estresse. Entre os dois, o Br apresentou maior eficácia na mitigação dos danos relacionados à seca.

Portanto, a pulverização foliar de protetores solares constitui uma estratégia de baixo custo para aumentar a resiliência das mangueiras, preservando produtividade, qualidade dos frutos e eficiência no uso da água, contribuindo para maior retorno econômico em regiões áridas e semiáridas (Figura 12).

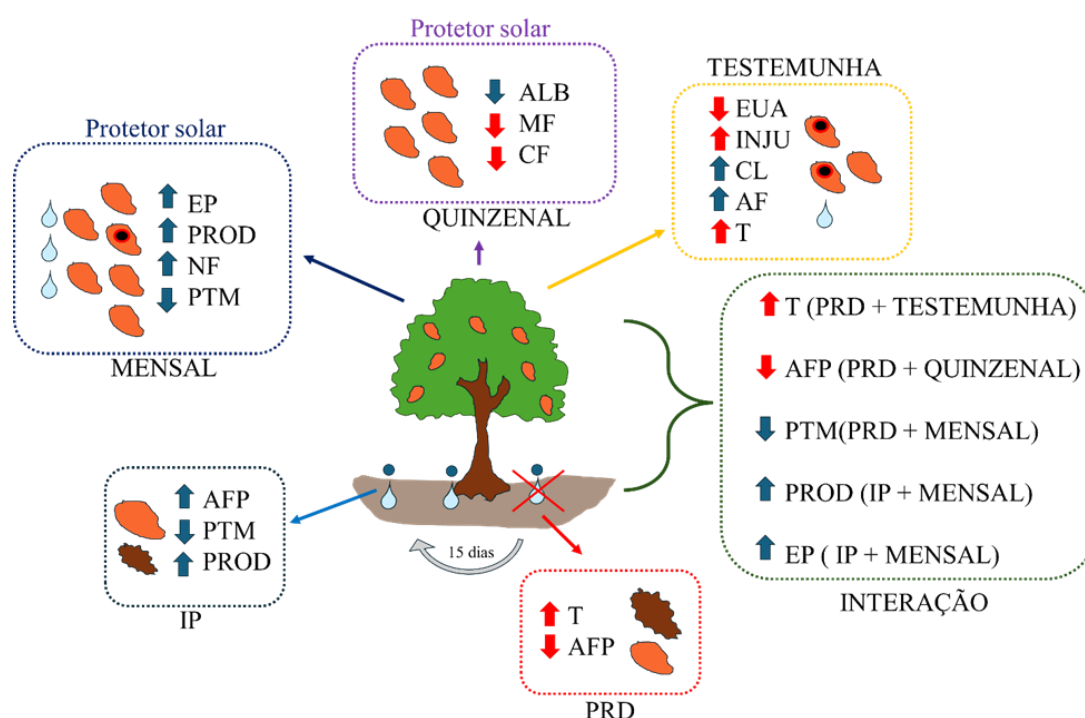


Figura 12. Ilustração dos principais resultados encontrados no cultivo de mangueiras submetida a aplicação de proteção solar e manejos de irrigação. Petrolina-PE, 2026. Legenda: EP- eficiência produtiva; PROD-produtividade; NF- número de frutos; PTM- perda de massa total do fruto; AFP- área foliar total da planta; T- temperatura foliar; ALB- albedo; MF- massa do fruto; CF-comprimento do fruto; EUA- eficiência de uso de água; INJU- injúrias; CL-comprimento longitudinal do fruto; AF-área da lâmina foliar; IP-irrigação plena e PRD- secagem parcial da zona radicular.

6.3 Conclusões

O uso de protetor solar na dosagem de 1,5L por hectare, com intervalo mensal, foi eficiente para potencializar o desempenho produtivo de mangueiras da variedade Palmer cultivadas no semiárido brasileiro, aumentando a resiliência das plantas às adversidades ambientais e minimizando as queimaduras em frutos expostos à radiação solar.

A aplicação de protetor solar em plantas de mangueira pode auxiliar o manejo da irrigação, promovendo ganhos em produtividade, bem como maior eficiência produtiva e de uso da água em regiões semiáridas.

O uso da proteção solar mitiga as perdas relacionadas ao uso da irrigação parcial da zona radicular da mangueira, com lâmina correspondente a 66% da evapotranspiração da cultura, impactou negativamente a temperatura foliar e melhora a produtividade de mangueiras cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco.

As injúrias causadas por queimadura solar podem ser evitadas quando os frutos de manga recebem aplicação de protetor solar em intervalo quinzenal. Frutos protegidos com protetor solar perderam menos massa, o que os torna mais resistentes no pós-colheita, tanto sob irrigação plena quanto sob o déficit hídrico estudado.

O uso do PRD associado à aplicação de filme protetor pode ser uma alternativa para o controle do vigor vegetativo em mangueiras, e pesquisas devem ser realizadas para avaliar a viabilidade econômica da prática, em comparação aos custos com poda e aplicação de reguladores vegetais.

6.4 Referências Bibliográficas

ABDEL-SATTAR, Mahmoud et al. Improving mangoes' productivity and crop water productivity by 24-epibrassinosteroids and hydrogen peroxide under deficit irrigation. **Agricultural water management**, v. 298, p. 108860, 2024.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANDRADE, V. P. M., SIMÕES, W. L., DA SILVA DIAS, N., DA SILVA, J. S., DA SILVA, W. O., BARBOSA, K. V. F., MOUCO, M. A. do C.; JUNIOR, V. G. T. Production and

economic viability of 'Kent'mango subjected to regulated deficit irrigation in the semi-arid. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 6, p. e4998-e4998, 2024.

AMORIM, M. DA S.; TOYOSUMI, I. DA S.; LOPES, W. DO A.; CAMILLO, L. R.; FERREIRA, L. N.; ROCHA JUNIOR, D. S.; SOARES FILHO, W. DOS S.; GESTEIRA, A. DA S.; COSTA, M. G. C.; COELHO FILHO, M. A. Partial rootzone drying and regulated deficit irrigation can be used as water-saving strategies without compromising fruit yield and quality in tropically grown sweet orange. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2021. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1900750>.

ANDRÉ, R. G. B.; MENDONÇA, J. C.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 375-382, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300009>.

ARAÚJO, A. L. F.; BRITTO, D. Rapid protocol to evaluate the photoprotective effect of film-forming formulations on mangoes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, p. e-118, 2021.

ARORA, Vidya et al. Taxonomical identification of mango (*Mangifera indica* L.) Varieties using leaf morphological characteristics. **Plant Archives**, v. 24, p. 983-990, 2024.

ASREY, R. et al. Pruning affects fruit yield and postharvest quality in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Amrapali. **Fruits**, v. 68, n. 5, p. 367-380, 2013.

BARRS, H.D. Determination of water deficits in plant tissues. In: Kozlowski, T.T. (ed.). **Water deficits and plant growth**. V. I: p. 235-368. 1968.

BERNACCHI, C. J. et al. Short-and long-term warming events on photosynthetic physiology, growth, and yields of field grown crops. **Biochemical Journal**, v. 480, n. 13, p. 999-1014, 2023.

BELLITTI, S.; MEZZANO, M.; MASSAAD, M.; GUGLIUZZA, G.; SCUDERI, D.; FARINA, V. Kaolin as a cost-effective approach for sunburn on mango in the Mediterranean Basin. **Applied Fruit Science**, v.67, e3780, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01615-0>.

BEZERRA, E., CARVALHO, H. D. S., ALMEIDA, K., da SILVA, M. J., & de MOURA, M. S. B. (2019). **Balanco de radiação em um pomar de mangueira Kent no Submédio do Vale do São Francisco**.FAO- disponível em: Balanco de radiação em um pomar de mangueira Kent no Submédio do Vale do São Francisco.

CAMPOS, A. D.; SILVEIRA, E.M. L. **Metodologia para determinação da peroxidase e do polifenol oxidase em plantas**. Embrapa Clima Temperado-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2003.

COELHO, M. A., ANGELOCCI, L. R., VASCONCELOS, M. R. B., & COELHO, E. F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti'usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

COSTA, M. G. O., DE ALMEIDA NETO, M. A., DOS SANTOS, J. R., & NASSUR, R. D. C. M. R. Caracterização física e qualidade pós-colheita de cultivares de manga durante o armazenamento. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 8, p. e4914849355-e4914849355, 2025.

DA SILVA, M. J., CARVALHO, H. D. S., da SILVA, G. D., de MOURA, M. S. B., & MARCELO, J. D. S. (2019). **Indicadores agrometeorológicos de desempenho produtivo da mangueira" Kent" no Submédio do Vale do São Francisco**.

DA SILVA, S. F., CABANEZ, P. A., DE MENDONÇA, R. F., PEREIRA, L. R., & DO AMARAL, J. A. T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 86-90, 2015.

DA SILVA JUNIOR, José Luiz Santos et al. Models for estimating leaf area in the 'Palmer'mango. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 13, p. 279-286, 2019.

FALCHI R, BONGHI C, DRINCOVICH MF, FAMIANI F, LARA MV, WALKER RP, VIZZOTTO G. Sugar Metabolism in Stone Fruit: Source-Sink Relationships and Environmental and Agronomical Effects. **Front Plant Sci.** 2020 Nov 13;11:573982. doi: 10.3389/fpls.2020.573982. PMID: 33281843; PMCID: PMC7691294.

FISCHER, G.; ORDUZ-RODRIGUEZ, J. O.; AMARANTE, C. V. T. DO. Sunburn disorder in tropical and subtropical fruits. A review. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v.16, n.3, e15703, 2022. <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15703>.

HUTTON, R. J.; LOVEYS, B. R. A partial root zone drying irrigation strategy for citrus- Effects on water use efficiency and fruit characteristics. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1485-1496, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.010>.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama Brasil**. Disponível em : <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/manga/br>. Acesso 16 fev 2026.

KAMAL, A. T.; EL-GINDY, A. G. M.; ELBAGOURY, K. F.; SAYED, B. M. Sustainable deficit irrigation technique to enhance "KEITT" mango productivity in a semi-arid climate region. **Arab Universities Journal of Agricultural Sciences**, v.32, n.2, p.189-198, 2024. <https://doi.org/10.21608/AJS.2024.300199.1576>.

LIMA, M. A. C. **Classificação**. Ageitec Manga. EMBRAPA. 2021. Disponível em : Classificação - Portal Embrapa.

LIMA FILHO, J. M. P.; TEIXEIRA, A. H.C. **TEMPERATURA DO AR**.in Ageitec Manga. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. Disponível em : Temperatura - Portal Embrapa acesso 21 fev 2026.

LITZ, R. E. **The mango: botany, production and uses**. CABI. 2ed. p.cm. ISBN 978-1-84593-489-7. 2009. 433p.

LUAN, Xiangyu; VICO, Giulia. Canopy temperature and heat stress are increased by compound high air temperature and water stress and reduced by irrigation—a modeling analysis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 25, n. 3, p. 1411-1423, 2021.

MAPA- Ministério da Agricultura e Pecuária. **A fruta mais exportada pelo Brasil é a manga**. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/a-fruta-mais-exportada-pelo-brasil-e-a-manga>. Acesso em 22 de abr de 2026.

MAHAJAN, Sagun et al. Impression of contemporary heat stress complexities in agricultural crops: a review. **Plant Growth Regulation**, p. 1-19, 2025.

MODESTO, J.H. **Produtividade, sazonalidade e análises tecnológicas de frutos de cultivares de mangueira em condições subtropicais**. 2013. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

MUDO, L. E. D., LINO, J. D. O. S., LOBO, J. T., SANTOS, S. E. R. D., PAIVA, V. B. D., CUNHA, J. G. D., SILVA, L. S.; CAVALCANTE, Í. H. L. Strategies for setting and development of fruit of the ‘Keitt’ mango tree cultivated in the semiarid. **Ciência Rural**, v. 55, n. 2, p. e20230180, 2024.

NORMAND, F.; LAURI, P.E.; LEGAVE, J. M. Climate change and its probable effects on mango production and cultivation. **Acta Hort** 1075:21–32. 2015. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1075.1>

LUFU, R., AMBAW, A., & OPARA, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. **Scientia Horticulturae**, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>

RAJAN, Shailendra. Phenological responses to temperature and rainfall: A case study of mango. **Tropical fruit tree species and climate change**, v. 71, 2012.

ROSSOUW, Gerhard C. et al. The roles of non-structural carbohydrates in fruiting: a review focusing on mango (*Mangifera indica*). **Functional Plant Biology**, v. 51, n. 4, p. FP23195, 2024.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R., COELHO, E. F., JUNIOR, P. R. F. C.,; DE CASTRO, I. N. Parâmetros fisiológicos e produtivos em mangueiras'tommy atkins'sob estratégias de déficit de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 173, 2016.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; CUNHA, F. F. DA; DONATO, S. L. R.; BERNARDO, W. DE P.; RODRIGUES, W. P.; Campostrini, E. Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v.243, e106421, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106421>.

SANTOS, M. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. F.; MESQUITA, N. L. S.; DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F. Yield and water use efficiency in 'Tommy Atkins' and 'Palmer' mango trees under localized irrigation with water deficit. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 41, n. 6, p. 2509–2522, 2020. DOI: 10.5433/1679-0359.2020v41n6p2509.

SANTOS, V. P.; COELHO FILHO, M. A. 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**, v. 46, p. e-612, 2024.

SCUDERI, Dario et al. Phenology and fruit growth dynamics of mango (*Mangifera indica* L.) in greenhouse and open air in Mediterranean climate. Proceedings of the

national academy of sciences, india Section B: **biological sciences**, v. 93, n. 3, p. 731-741, 2023.

SHABAN, A. E., El-Banna, M. I., & Rashedy, A. A. Mitigation of excessive solar radiation and water stress on 'Keitt' mango *Mangifera indica* trees through shading. **Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus**, v. 20, n. 4, p. 77-88, 2021.

SHIN, Y.; MUTHURAMALINGAM, P.; PARK, Y.; KIM, J.; JUNG, S.; KIM, T.; AHN, G.; SHIN, H. Temperature and light impacts on sunburn, and mitigation by chemical suppressants in 'Fuyu' sweet persimmons. **Scientia Horticulturae**, v.334, e113285, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113285>.

SINGH, Sanjay Kumar et al. Source-sink relationship in litchi verses mango: a concept. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 3, p. 500-509, 2017.

SILVA JÚNIOR, F. B. da; SILVA, M. J. da; CARVALHO, H. F. de S.; SANTOS, C. V. B. dos; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, L. S. B. de; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; MOURA, M. S. B. de. Water demand and water use efficiency in Palmer mango cultivation in the low-middle São Francisco Valle. **Engenharia Agrícola**, v. 43, n. 3, e20220189, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n3e20220189/2023>.

SILVA, G. M. C., SILVA, W. B., MEDEIROS, D. B., SALVADOR, A. R., CORDEIRO, M. H. M., DA SILVA, N. M., & MIZOBUTSI, G. P. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, 237, 372–378. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.106>

SIMÕES, Welson Lima; ANDRADE, Victor Pimenta; MOUCO, Maria Aparecida do Carmo; SOUSA, José Sebastião Costa de; LIMA, João Ricardo Ferreira de. Produção e qualidade da mangueira 'Kent' (*Mangifera indica* L.) submetida a diferentes lâminas

de irrigação no semiárido nordestino. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 305–314, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n2e7832. Disponível em:

<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/7832>. Acesso em: 8 nov. 2025.

SINCLAIR, T. R.; TANNER, C. B.; BENNETT, J. M. Water-use efficiency in crop production. **BioScience**, v. 34, n. 1, p. 36–40, 1984.

SOUZA, M. A.; SIMÕES, W. L.; MESQUITA, A. C.; MOUCO, M. A. C.; CAVALCANTE, B. L. S.; GUIMARÃES, M. J. M. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira ‘palmer’ no submédio do Vale do São Francisco. **IRRIGA**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 442–453, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2018v23n3p442-453. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2463>. Acesso em: 8 nov. 2025.

SOUZA, P. J. O. P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P.; LOUREIRO, R. S.; BISPO, C. J. C.; SOUSA, A. M. L. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p.65-73, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100009>.

SPREER, W.; M. NAGLE, M. S. NEIDHART, R. CARLE, S. ONGPRASERT, J. MÜLLER, Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Chok Anan’). **Agricultural Water Management**, Volume 88, Issues 1–3, 2007, Pages 173-180, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.012>.

THAKUR, G.; SINGH, P.; SHARMA, G. L.; PANIGRAHI, H. K; SINGH, D. A. Comparative evaluation of leaf morphological and quantitative traits in different mango

(mangifera indica L.) Varieties under the agro-climatic conditions of raipur, c.g., india..

Plant Archives, v. 25, p. 3019-3024, 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017. 888p.

ZENG, C., JIA, T., GU, T., SU, J., & HU, X. Progress in Research on the Mechanisms Underlying Chloroplast-Involved Heat Tolerance in Plants. **Genes**, 12(9), 1343. 2021.<https://doi.org/10.3390/genes12091343>

7. Capítulo 2- Uso de protetor como mitigador de estresses abióticos em plantas de atemoieira em fase de formação vegetativa e produção

Resumo: A atemoieira é uma frutadeira perene, resultante da hibridação natural entre a cherimoia e a fruta-do-conde. Seus frutos são muito apreciados para consumo in natura e para processamento, principalmente nas regiões Sudeste do país. No Nordeste, a produção de atemoia ainda é incipiente e ocorre em regiões com restrições hídricas. O estudo teve como objetivo verificar o efeito de um protetor solar aplicado via foliar como atenuador dos efeitos negativos das condições ambientais do semiárido em variedades de atemoieira nas fases fenológicas de formação e produção. As plantas em fase de formação, após a poda, foram submetidas à pulverização de um protetor solar na dose de 1,5 L por hectare, repetida três vezes, com intervalos de 30 dias. Quinze dias após a aplicação, foi avaliado o comportamento de duas variedades de atemoia quanto ao impacto do protetor solar sobre a área foliar, clorofila total, conteúdo relativo de água na folha, extravasamento de eletrólitos foliares e variáveis de rendimento produtivo. Houve efeito da proteção solar sobre as variáveis fisiológicas, como índice de clorofila total, conteúdo relativo de água, extravasamento de eletrólitos e temperatura foliar, além do comprimento foliar. A proteção solar também impactou positivamente os parâmetros comprimento longitudinal e diagonal dos frutos, massa do fruto, produtividade, eficiência produtiva e eficiência de uso da água. Foi observada interação entre variedade e manejo para índice de clorofila total, conteúdo relativo de água, largura da folha, temperatura foliar, eficiência produtiva e eficiência de uso da água. Entre as variedades, a Gefner apresentou melhor desempenho quando submetida à proteção solar, mostrando-se mais resistente às condições ambientais. A aplicação do protetor solar mostrou-se uma importante ferramenta para potencializar o desempenho produtivo e a eficiência no uso da água de atemoias em condições semiáridas do Brasil.

Palavras-chave: fruticultura; anonáceas; semiárido; filtro solar.

Abstract: Atemoya tree is a perennial fruit crop resulting from the natural hybridization between cherimoya and sugar apple. Its fruits are highly appreciated for fresh consumption and processing, especially in the Southeast regions of Brazil. In the

Northeast, atemoya production is still incipient and occurs in areas with water limitations. The aim of this study was to evaluate the effect of a foliar-applied sunscreen as a mitigator of the negative effects of semi-arid environmental conditions on atemoya varieties during the phenological stages of growth and production. Plants in the formation stage, after pruning, were subjected to spraying with a sunscreen at a rate of 1.5 L per hectare, applied three times at 30-day intervals. Fifteen days after application, the performance of two atemoya varieties was evaluated regarding the impact of the sunscreen on leaf area, total chlorophyll, relative water content in the leaf, electrolyte leakage, and yield-related variables. There was an effect of the sunscreen on physiological variables, such as total chlorophyll index, relative water content, electrolyte leakage, leaf temperature, and leaf length. The sunscreen also positively influenced fruit longitudinal and diagonal length, fruit mass, yield, production efficiency, and water use efficiency. An interaction between variety and management was observed for total chlorophyll index, relative water content, leaf width, leaf temperature, production efficiency, and water use efficiency. Among the varieties, Gefner showed the best performance when subjected to sunscreen application, demonstrating greater resistance to environmental conditions. The application of sunscreen proved to be an important tool to enhance productive performance and water use efficiency of atemoya under semi-arid conditions in Brazil.

Keywords: fruit growing; annonaceae; semiarid; sunscreen.

7.1 Introdução

A atemoeira é uma fruteira perene resultante de uma hibridação natural do cruzamento da cherimóia (*Annona cherimola* Mill.) e fruta do conde (*Annona squamosa* L.), originado da Austrália (POPENOE, 1974 ; LIM, 2012). Suas frutas, as atemoias, apresentam polpa de coloração esbranquiçada, com pouca quantidade de sementes, facilmente separáveis da polpa (SANTOS et al., 2001).

A atemóia é mais conhecida e comercializada no Sudeste do país, principalmente em São Paulo. Nas demais regiões, a fruta tem pouca presença no mercado, tanto pelo desconhecimento da fruta pelos consumidores, quanto pela

pequena oferta do produto no mercado. Os principais produtores dessa fruta são os estados de São Paulo, Minas Gerais e Bahia. Com base no último censo Agropecuário do IBGE, a Bahia produziu em 2017 aproximadamente 189 toneladas de atemoia principalmente nos municípios de Presidente Dutra e Uibaí, em região semiárida, que atende o mercado interno do país, preferencialmente as capitais do Nordeste (IBGE, 2017).

Grande parte das cultivares de atemoia apresenta elevadas produtividades sob temperaturas amenas (PEREIRA et al., 2019), desenvolvendo-se vegetativamente em faixas térmicas entre 22 °C e 28 °C (máxima) e entre 10 °C e 20 °C (mínima) (TOKUNAGA, 2000). A temperatura ideal para a maturação dos frutos situa-se entre 20 °C e 26 °C (TOKUNAGA, 2000). Os frutos das cultivares de atemoia African Pride e Gefner apresentam ponto ideal de consumo entre cinco e sete dias após a colheita, dependendo da temperatura de armazenamento (MANICA et al., 2003), além de demonstrarem boa adaptação às regiões semiáridas.

As plantas ativam diferentes mecanismos de proteção quando expostas a condições ambientais adversas. Destaca-se, o acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular, como o aminoácido prolina, além de proteínas e carboidratos. Isso pode ser crítico nas condições climáticas caracterizadas por umidade relativa do ar inferior a 60% e temperatura máxima do ar próxima de 35 °C, ocorridas com frequência nos meses de setembro a novembro em Juazeiro e em outras regiões do semiárido baiano (INMET, 2024). Esses compostos permitem mensurar o estresse vegetal por meio de sua concentração, bem como pela produção de radicais livres, os quais induzem o estresse oxidativo (MARIJUAN & BOSCH, 2013; TRIPATHI et al., 2020).

Os impactos causados pelos estresses ambientais nas células vegetais podem ser mitigados pela atuação de substâncias osmorreguladoras, proteínas solúveis, aminoácidos e açúcares solúveis (TAIZ et al, 2017; TRIPATHI et al., 2020), assim como pelo uso de produtos comerciais à base de cálcio e silício, aplicados via pulverização foliar, com o objetivo de reduzir a irradiância excessiva e a temperatura foliar, atenuando processos fotooxidativos, a inativação enzimática e o risco de fotoinibição, além de modular a fotorespiração em plantas C3 sob estresse. Também contribui para diminuir danos por escaldadura e necrose nos tecidos vegetais,

associados à desidratação e à elevada carga radiativa em regiões semiáridas (HAMDY et al., 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de um protetor solar aplicado via foliar como atenuador dos impactos negativos do estresse ambiental do semiárido em plantas de atemoieira nas fases fenológicas de formação e produção.

7.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS) da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), localizado no município de Juazeiro, BA (latitude 09°25'02" S; longitude 40°29'03" W; altitude de 368 m), na região do Submédio São Francisco. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo semiárido quente (BSh), com precipitação média anual de 540 mm (TEIXEIRA, 2010).

A realização do estudo ocorreu no período de setembro de 2023 a maio de 2025, em um pomar de atemoia com idade aproximada de vinte anos. As plantas estavam espaçadas em delineamento retangular de 6 m × 5 m e apresentavam duas variedades enxertadas sobre o porta-enxerto pinha (*Annona squamosa* L.).

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 × 2, sendo o primeiro fator duas variedades de atemoieira, Gefner e African Pride, e o segundo fator a aplicação ou não aplicação do protetor solar. Os dados foram coletados de seis plantas por tratamento, totalizando 24 repetições. As médias foram comparadas pelo teste de F, a 5% de significância, com o auxílio do software Sisvar, versão 5.8 (FERREIRA, 2019).

Dados meteorológicos foram obtidos utilizando uma estação meteorológica automática, instalada ao lado do pomar, aproximadamente 70 m do experimento. Os seguintes dados foram coletados diariamente: precipitação pluviométrica, temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade de vento (m.s⁻¹) e radiação solar global (MJ.m².dia⁻¹). A evapotranspiração de referência (ET_o, mm.dia⁻¹) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN, et al. 1998).

O sistema de irrigação adotado na área foi por microaspersão, com microaspersores não autocompensante, com um emissor por planta, com vazão de 50 L h^{-1} , apresentando um diâmetro molhado de 5m. Inicialmente todos os componentes danificados dos sistemas foram substituídos para melhoria do funcionamento.

O cálculo do consumo de água (ET_c , mm.dia^{-1}) foi determinado a partir de dados meteorológicos (ET_o) e parâmetros específicos da cultura, por meio do uso dos coeficientes de cultivo (K_c) (BERGAMSCHI & BERGONCI, 2017). O volume de água necessária para cada planta era fornecido com intervalo de dois dias.

As adubações foram realizadas seguindo as recomendações do Manual de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) utilizando adubos químicos, nitrato de cálcio, MAP purificado e sulfato de potássio, além do uso de esterco caprino como fonte de matéria orgânica e micronutrientes.

Para realização das análises químicas do solo, coletou-se amostra composta da área na camada de 0-40 cm, a qual foi encaminhada a um laboratório de análises de solo comercial, cujos valores médios foram: $\text{pH (H}_2\text{O)} = 7,2$; $\text{K}^+ = 0,07 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{P} = 12,4 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 1,43 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 0,37 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Na} = 0,01 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 0,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Al} = 0,00 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\% \text{ M.O.} = 1,2 \text{ g/Kg}$; $\text{T} = 2,67 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{V} = 70,0\%$.

Para uniformizar a copa e padronizar as plantas foi necessário realizar uma poda drástica. Após a brotação dos novos ramos, aos 60 dias após a poda, as plantas receberam pulverização com o protetor solar Sombryt BR, fabricado pela empresa Lithoplant e produto desenvolvido em parceria com a Embrapa, na dosagem de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$, conforme recomendação do fabricante. Para a aplicação, utilizou-se um pulverizador costal manual com capacidade para 20 L, equipado com bico modelo MGA 60° 01, de cone vazio. As plantas receberam uma aplicação na fase de formação vegetativa e duas aplicações na fase produtiva, com intervalo de trinta dias entre as aplicações, iniciando-se logo após a realização da polinização artificial.

A polinização das flores ocorreu em duas etapas. Inicialmente, flores abertas das pinheiras e da bordadura da área experimental foram coletadas para a retirada de suas anteras no final da tarde. Em seguida, as anteras eram misturadas com amido

de milho e introduzidas em um aspirador nasal infantil. Na manhã do dia seguinte, essa mistura era aplicada em cada flor de atemoieira, conforme ilustrado na figura 13.



Figura 13. Flores de atemoieira com anteras retiradas (A) e polinização manual das flores com auxílio de um aspirador nasal (B), Juazeiro-BA, 2024.

Para a verificação do efeito do protetor solar sobre a produção da atemoieira, foram avaliados parâmetros fisiológicos Índice de clorofila total, extravasamento de eletrólitos, conteúdo relativo de água da folha, largura da folha, área foliar e temperatura foliar durante as fases de formação, além dos parâmetros produtos como massa do fruto, diâmetro longitudinal e diagonal dos frutos, produtividade, eficiência produtiva e eficiência no uso de água durante a fase de produção, os quais são apresentados separadamente a seguir.

Avaliações na fase de formação vegetativa

Quinze dias após a aplicação do protetor solar, iniciaram-se as avaliações. Em campo, foi mensurado o teor de clorofila total utilizando um medidor eletrônico de clorofila, modelo ClorofiLog CFL1030, da Falker. A análise foi realizada no quinto par de folhas saudáveis de cada ramo, em cada quadrante da planta, totalizando 78 medições por variedade, tanto com quanto sem a aplicação do protetor solar.

Para a determinação do índice de clorofila total foi utilizado o ClorofiLOG, que utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da

banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660nm) e um outro no infravermelho próximo (880 nm). Da mesma forma um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar. A partir desses dados, o aparelho fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorbância das clorofilas sem destruição do material, de forma prática e com intervalo de medições variando entre 0 e 100 (FALKER, 2008).

Após a medição da clorofila, as folhas foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao Laboratório de Irrigação da UNEB. No laboratório, foram avaliados o comprimento e a largura máxima das folhas para determinação da área foliar da planta, o extravasamento de eletrólitos das células foliares (EE, %) e o conteúdo relativo de água na folha (CRA, %).

A área foliar da planta foi determinada pelo produto do número médio de folhas por planta e a área da folha. A área da folha foi determinada conforme equação 1 e 2, desenvolvida por Santos (2021) e a amostragem de 20% do número total de folhas com recomenda a metodologia de Coelho et al (2005).

Área foliar da variedade Gefner ($R^2= 99,9\%$):

$$AF = 0,7039 * C * L \quad (1)$$

Area foliar variedade African Pride ($R^2= 99,5\%$):

$$AF = 0,70305 * C * L \quad (2)$$

em que AF é área foliar em cm^2 , C = comprimento máximo da folha(cm) e L é a largura máxima da folha (cm).

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi determinado de acordo com Scotti-Campos et al. (2013). Para tanto, foram coletados, no 3º par de folhas a partir do ápice caulinar, 10 discos foliares de 151 mm^2 cada, os quais foram acondicionados em béqueres contendo 50 mL de água destilada e cobertos com papel alumínio.

Os beakers foram mantidos à temperatura de 25°C , por 24 horas, onde foi procedida a condutividade elétrica inicial (C_i). Posteriormente, os beakers foram conduzidos à estufa, com ventilação forçada de ar e submetidos à temperatura de 80°C por 90 minutos, onde novamente realizou-se a medição da condutividade elétrica

final (C_f) a temperatura ambiente, sendo obtido assim o percentual de extravasamento de eletrólitos conforme Equação 03:

$$EE\% = \frac{C_i}{C_f} * 100 \quad (3)$$

em que: $EE\%$ =Extravasamento de eletrólitos no limbo foliar; C_i = condutividade elétrica inicial (dS m^{-1}); C_f = condutividade elétrica final (dS m^{-1}).

A coleta para determinar o Conteúdo Relativo de Água na Folha (CRA) foi realizada em 24 plantas (6 plantas para cada tratamento), coletando para cada análise, a 3ª folha completamente expandida no período das 7:30 às 9:00 horas. Para isso, imediatamente após a coleta das folhas, determinou-se a massa fresca (MF); em seguida, as amostras foram colocadas em sacos plásticos, imersas em água destilada e acondicionadas por 24 horas. Depois, foi retirado o excesso de água com papel toalha, obtendo-se a massa túrgida (MT); posteriormente, as amostras foram levadas à estufa com circulação de ar (temperatura $\approx 65^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, até atingir massa constante) para obtenção da massa seca (MS) em balança analítica.

Para determinar o CRA utilizou-se a equação 04:

$$CRA(\%) = \left(\frac{MF - MS}{MT - MS} \right) * 100 \quad (4)$$

em que CRA é o conteúdo relativo de água (%), MF é massa fresca (g), MS-massa seca (g) e MT é amassa túrgida (g), conforme proposto por Smart & Bingham (1974).

Avaliação em fase reprodutiva

Temperatura do dossel: a temperatura da copa, expressa em $^\circ\text{C}$, foi medida ao meio-dia utilizando um termômetro de infravermelho, modelo TIV 6500, com potência de saída inferior a 1 mW, comprimento de onda de 630–670 nm e laser classe II. Em Cada planta foi medida 10 vezes, totalizando 240 leituras.

Medidas de comprimento e largura da folha foram utilizadas para cálculo da Área foliar média das folhas de uma planta (AFm, m^2). Medidas realizadas com o auxílio de um paquímetro, tomando-se como base amostragem de 20% das folhas presentes em cada planta (COELHO FILHO et al., 2005). Área foliar da planta foi

estimada como resultado da multiplicação da AFm pelo número total de folhas na planta, com o resultado expresso em m².

A Produtividade, expressa em quilogramas por hectare, foi determinada pela multiplicação da massa média dos frutos pelo número médio de frutos colhidos ao final do ciclo.

Eficiência produtiva (kg m⁻³) foi calculada pela razão entre a produção média anual e o volume do dossel (V) nos respectivos anos de avaliação do estudo. O volume do dossel foi calculado com base na fórmula de volume de um prisma, onde:

Volume do dossel = [(comprimento da base menor + comprimento da base maior) / 2] × altura da copa × largura da copa.

Eficiência no uso da água de irrigação (EUA) foi calculada como a razão entre a produtividade de frutos (kg ha⁻¹) e o volume de água aplicado via irrigação (m³ ha⁻¹), conforme definido por Sinclair, Tanner e Bennett (1984).

Os atributos de qualidade dos frutos foram determinados utilizando uma amostra de 10 frutos de tamanho semelhante, para cada tratamento. O Comprimento longitudinal e diagonal dos frutos foram determinados com o uso de um paquímetro, medindo-se a maior extensão de cada fruto e expressando os resultados em centímetros (cm) (Figura 14). A massa média dos frutos, expressa em gramas, foi determinada pela pesagem dos frutos em uma balança semianalítica. O número de frutos foi obtido pela contagem do total de frutos colhidos por planta ao final do ciclo produtivo. Sólidos solúveis total (SS), medidos em °Brix, por meio de leitura direta em refratômetro digital, com valores corrigidos para 20°C.

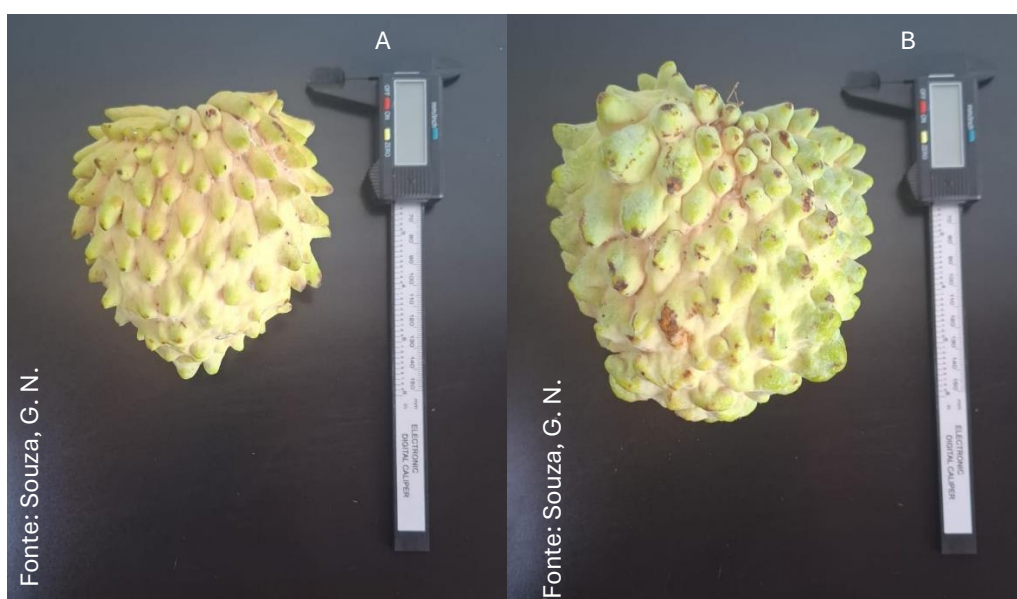


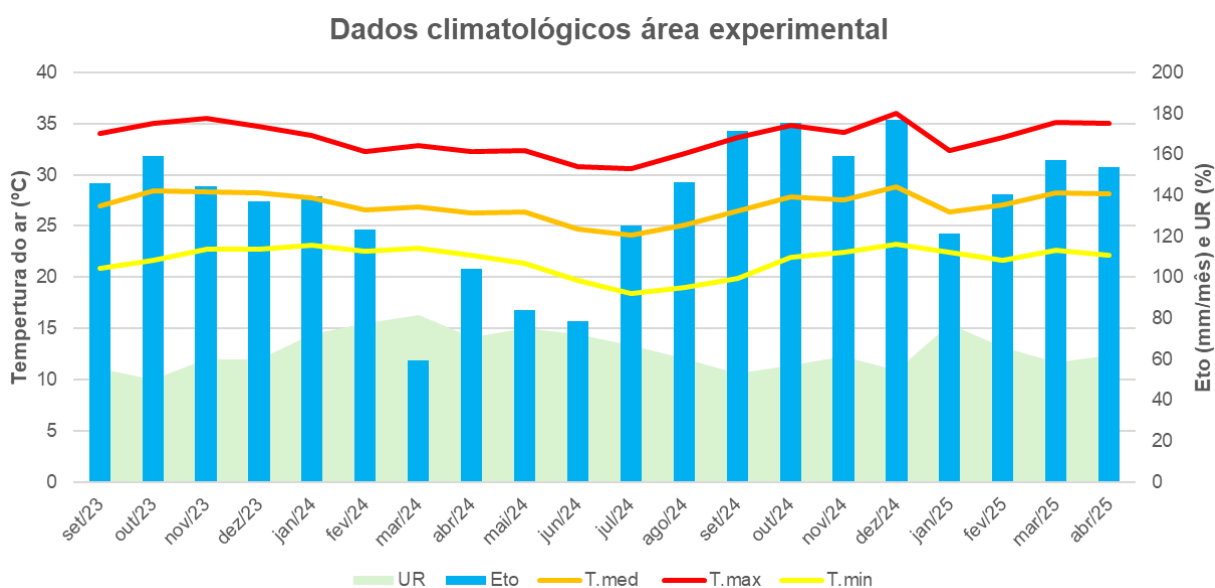
Figura 14. vista de frutos de atemoieiras variedade Gefner (A) e African Pride ao lado de paquímetro. Juazeiro Ba 2025.

7.3 Resultados

Em regiões semiáridas o sistema produtivo convive com desafios de produtividade frequentes, como a escassez de recursos hídricos e a elevada demanda evaporativa devido às condições de altas temperaturas e intensa radiação solar, tornando essencial a adoção de práticas que promovam maior eficiência no uso da água (Santos *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2024). O presente estudo foi possível verificar efeitos significativos da aplicação do protetor solar, das variedades e da interação entre aplicação e variedades na fase de desenvolvimento vegetativo (Tabela 6, Figura 17) e na fase produtiva (Tabela 7, Figura 18). Não foi observado a presença de rachaduras e queimaduras nos frutos de atemoia avaliados.

Dados climáticos e lâmina de irrigação acumulada durante o experimento

Para Bonaventure (1999), a atemoieira adapta-se bem a temperaturas do ar mais elevadas quando comparada a outras anonáceas. A temperatura ideal para o desenvolvimento dessa cultura situa-se entre 13 °C e 32 °C, com umidade relativa do ar entre 70% e 80%. Como pode ser observado na Figura 15, os valores registrados na área experimental permaneceram dentro dessas faixas consideradas ótimas para o desenvolvimento da cultura.



Fonte: dados obtidos na estação da UNEB.

Figura 15. Valores de umidade relativa do ar (UR); evapotranspiração de referência (Eto) e temperatura do ar (T.max-máxima, T.med-média e T.min-mínima) observada na área experimental de setembro 2023 a junho de 2024, Juazeiro-BA, 2024.

O período de menor evapotranspiração de referência ocorreu no mês de março, com um montante de 59,58 mm, coincidindo com a realização da poda de formação das atemoieiras (Figura 16).

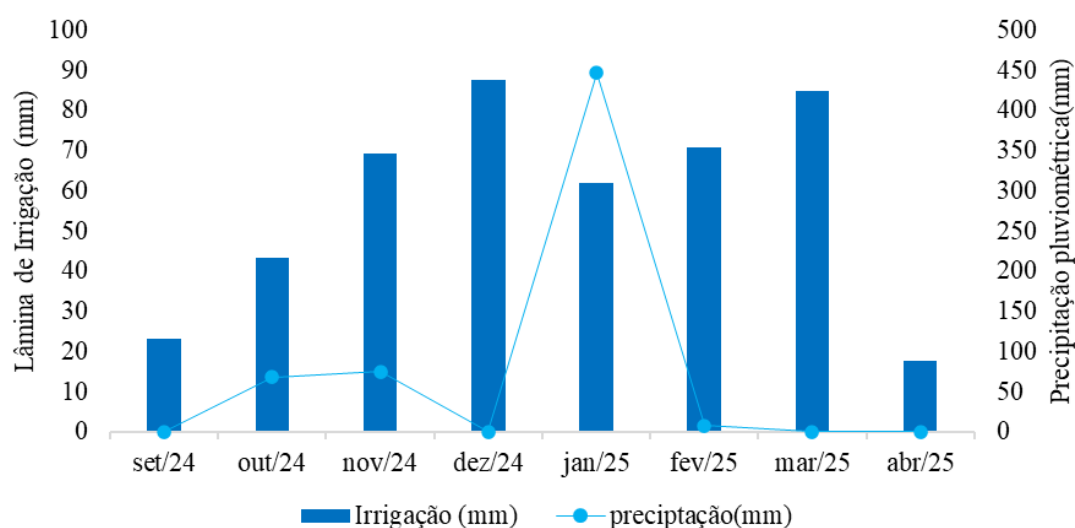


Figura 16. Valores da lâmina de irrigação e precipitação pluviométricas observados durante a realização do estudo. Juazeiro-BA, 2024.

Avaliação biométrica e fisiológica

Os resultados com a variável biométrica área foliar total da planta (m^2) evidenciaram distinção entre o vigor das variedades estudadas ($p=0,0000$) e interação entre os fatores aplicação de protetor solar e variedade de atemoieira ($p=0,0000$), mas não revelou efeito isolado do tratamento proteção solar ($p=0,3949$). Com menor vigor (28,83%) a variedade Gefner apresentou valores médios de $16,3 m^2$ comparativamente a $21,0 m^2$ da African Pride (Tabela 6). A interação revelou respostas diferenciadas para as variedades em resposta a proteção solar, a variedade Gefner quando apresentou menor média, quando as plantas não recebiam a aplicação solar, diferendo da African pride para a mesma condição de manejo, o que possivelmente mostra uma maior sensibilidade da Gefner ao reagir positivamente a proteção de suas folhas em condição extremas ambientais, visto que sob condição de proteção essa variedade apresentou um ganho de 23,5% na área foliar das plantas (Figura 17A).

Tabela 6. Médias de área foliar da planta (AFP); índice de clorofila total (ICT), extravasamento de eletrólitos (EE); conteúdo relativo de água na folha (CRA); comprimento da folha (CF); largura da folha (LF); área da folha/limbo (AF) e temperatura da folha(T). Juazeiro-BA, 2024.

Fator de Variação	AFP(m^2)	ICT	CRA(%)	EE(%)	CF(cm)	LF (cm)	AF(cm^2)	T($^{\circ}C$)
Protetor solar	18,951 a	49,734 a	84,26 b	32,615 b	15,30 a	7,46 2 a	83,318 a	30,645 a
Testemunha	18,309 a	46,097 b	85,120 a	40,382 a	14,839 b	7,48 8 a	80,883 a	33,314 b
African Pride	20,996 a	48,142 a	86,07 a	33,206 b	14,915 b	7,29 b	80,693 a	32,686 a
Gefner	16,264 b	47,689 a	83,315 b	39,790 a	15,224 a	7,66 a	83,508 a	31,273 b
Análise da variância do quadrado médio								
Proteção (A)	9,37 ^{ns}	817,76*	2,71*	362,00*	42,41*	0,13 ⁿ s	1186,08 ⁿ s	42,76*
Variedades (B)	1621,36 *	19,47 ^{ns}	45,78*	260,10*	19,03*	27,3 8*	1584,5 ^{ns}	11,98*
A x B	778,28*	1251,79 *	4,411*	1,93 ^{ns}	4,17 ^{ns}	7,06*	1367,38 ⁿ s	0,73*

Média	18,630	47,915	84,696	36,498	15,069	7,47 5	82,101	31,98
CV 1 (%)	19,28	8,42	0,22	4,05	14,07	16,3 6	28,82	12,5
CV 2 (%)	17,19	8,22	0,20	4,28	13,00	15,5 5	26,63	12,4

Ns- não significativo; * significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação. zona radicular.

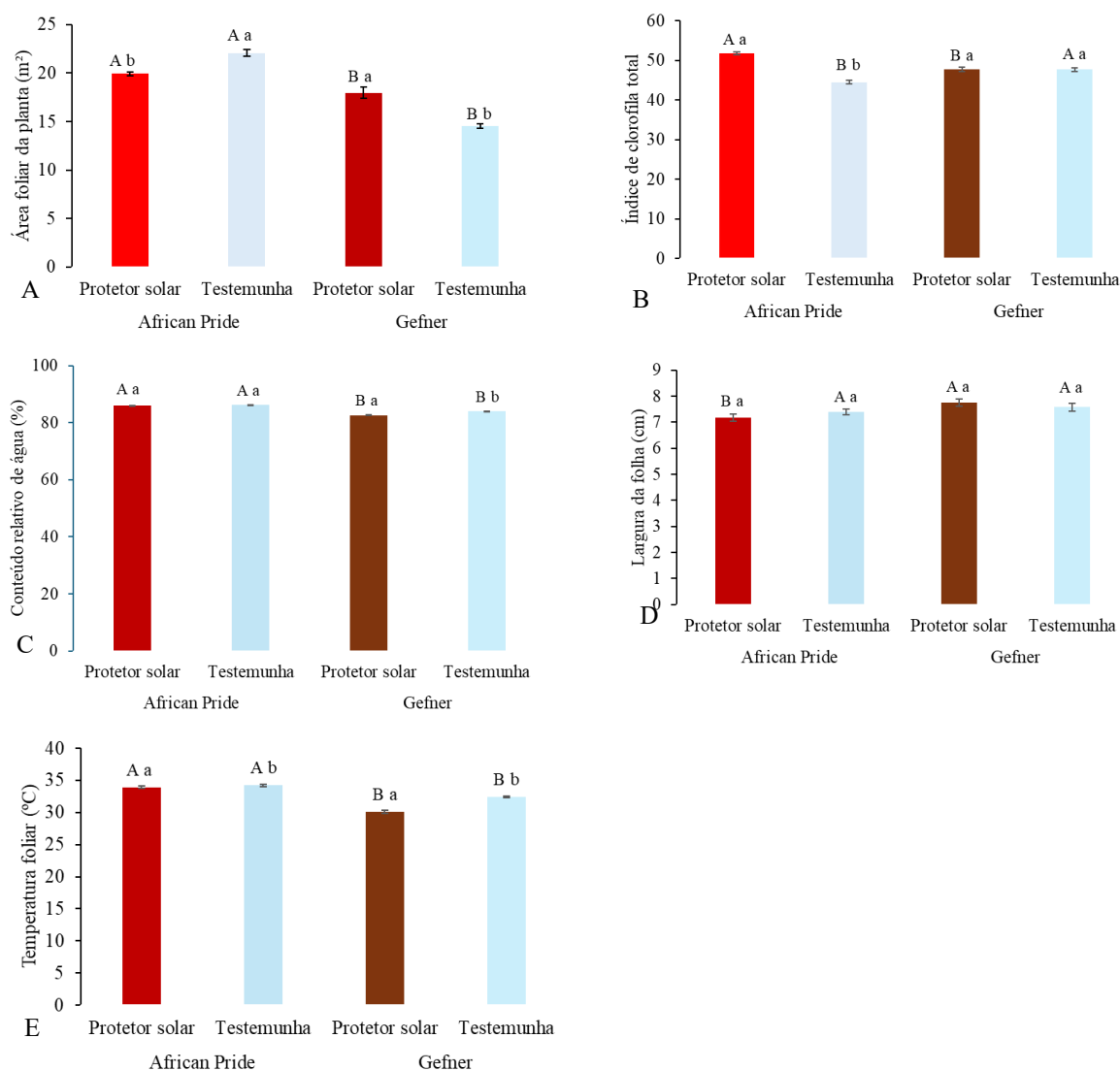


Figura 17. Interação para os fatores aplicação e variedade nas variáveis área foliar da planta (A); índice de clorofila total(B); conteúdo relativo de água (C); largura da folha (D) e temperatura foliar (E). Juazeiro-BA, 2024. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando a aplicação do protetor solar) e maiúscula (comparando a variedade), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Não houve efeito isolado do fator variedade ($p=0,2687$), mas a pulverização de partículas de carbonato de cálcio na superfície foliar de planta de atemoia afetou o índice de clorofila total ($p=0,0000$), havendo também interação entre fatores ($p=0,000$). O índice de clorofila total das folhas avaliadas apresentou médias de 47,689 para a variedade Gefner e 48,142 para a variedade African Pride. Para a variedade Gefner, a aplicação do protetor solar não apresentou efeito significativo sobre o índice de clorofila. No entanto, para a variedade African Pride, o uso do protetor solar resultou em maior índice de clorofila total comparativamente ao controle (um acréscimo de 16,75% no índice), explicando a interação entre fatores (Figura 17B).

Com relação a avaliação de índice que expressa o murchamento foliar, conteúdo relativo de água nas folhas, foi revelado efeitos isolados referente a aplicação do protetor solar ($p=0,0000$), de variedades ($p=0,0000$) e para uma interação entre os fatores ($p=0,0000$). As atemoieiras avaliadas apresentaram valores de conteúdo relativo de água nas folhas variando entre 82,55%, para a variedade Gefner, e 86,18%, para a variedade African Pride. As plantas da Gefner apresentaram maior interferência da aplicação do protetor solar, quando submetida a aplicação do protetor tiveram sutil redução em seu teor de umidade da folha, fato não verificado para a variedade African pride que teve o mesmo comportamento quando submetida ou não a aplicação do filme protetor (Figura 17C).

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de atemoieira, foi afetado isoladamente pelos fatores genótipos estudados ($p = 0,0000$) e para aplicação de filme protetor ($p = 0,000$), não sendo observado efeito significativo para a interação dos fatores ($p = 0,3714$). Observa-se que as plantas variedade Gefner apresentaram maior média de extravasamento de eletrólitos, com 39,7%, valor 19,85% superior a outra variedade estudada. Para o manejo de uso de proteção as plantas quando submetidas a condições ambientais sem proteção apresentaram um extravasamento de eletrólitos no limbo foliar médio aproximado de 40,4%, valor 23,5% superior quando comparado as plantas protegidas.

Para o comprimento da folha, houve efeito significativo isoladamente para os fatores variedade ($p = 0,0329$) e aplicação ($p = 0,0015$), não sendo observado efeito significativo para a interação entre esses tratamentos ($p = 0,3172$). A variedade Gefner

apresentou folhas com maior comprimento médio, de 15,22 cm. As plantas que não receberam a aplicação do protetor solar apresentaram médias menores para o comprimento da folha, com 14,83 cm, correspondendo a uma redução de aproximadamente 3,1% em relação às plantas que receberam a aplicação do protetor solar.

Com relação à largura média da folha, houve efeito significativo para o fator variedade ($p = 0,0000$) e para a interação variedade $\times$ aplicação ($p = 0,0261$). No entanto, não foi observado efeito significativo isolado para o fator aplicação ($p = 0,7580$). A variedade African Pride apresentou, em média, folhas com menor largura, de 7,2 cm, em comparação à variedade Gefner, que apresentou 7,66 cm. A maior largura média da folha foi observada nas plantas da variedade Gefner submetidas à aplicação do protetor solar, com média de 7,74 cm (Figura 17D).

Após a análise de variância, não foram verificados efeitos significativos dos tratamentos variedade ($p = 0,0809$), aplicação ($p = 0,1310$) e sua interação ($p = 0,1049$) sobre a AFm. Apesar disso, a variedade Gefner apresentou médias superiores à variedade African Pride para as características morfológicas foliares (Tabela 6).

Para a temperatura foliar da atemoieira, os efeitos significativos foram para os fatores estudados, variedades ($p = 0,0000$) e proteção solar ($p = 0,0001$), bem como para interação entre eles ($p = 0,0441$). As plantas submetidas à aplicação do protetor solar apresentaram médias menores em comparação com as plantas que não receberam a aplicação, sendo 30,6 °C e 33,3 °C, respectivamente. Entre as variedades a African Pride, diferiu da Gefner, e apresentou a maior temperatura com 34,4°C nas plantas que não receberam a aplicação do protetor solar (Figura 17E).

Produção, qualidade de frutos e eficiência no uso da água

Ao final do estudo, na fase de desenvolvimento reprodutivo, observou-se efeito significativo do uso do protetor solar e do comportamento das variedades avaliadas quando analisados isoladamente, assim como efeito da interação entre eles para as variáveis eficiência produtiva e eficiência do uso de água (Tabela 7, Figura 18)

Tabela 7. Médias de número de frutos (NF); sólidos solúveis totais (SS); comprimento longitudinal do fruto (CL); comprimento diagonal do fruto (CD); massa do fruto (MF); produtividade (PROD); eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso de água (EUA). Juazeiro-BA, 2024.

Fator de Variação	NF	SS (°Brix)	CL (cm)	CD (cm)	MF(g)	PROD (Kg/ha ⁻¹)	EP (kgm ⁻³)	EUA (kgm ⁻³)
Protetor solar	50,5 a	35,025 a	9,975 a	9,025 a	455,200 a	7036,4 a	0,942 a	1,532 a
Testemunha	52,583 a	35,175 a	9,272 b	8,410 b	367,375 b	6099,5 b	0,805 b	1,315 b
African Pride	27,916 b	34,208 b	9,997 a	9,025 a	474,275 a	4384,4 b	0,738 b	0,926 b
Gefner	75,166 a	35,991 a	9,250 b	8,410 b	348,300 b	8751,6 a	1,009 a	1,921 a
Análise da variância do quadrado médio								
Proteção (A)	26,04 ^{ns}	0,135 ^{ns}	9,87*	7,564*	154264,6*	17557335,5*	0,1112*	0,281*
variedades (B)	13395,37*	19,081*	11,17*	7,564*	317394,1*	381456586,5*	0,441*	5,936*
A x B	18,70 ^{ns}	0,806 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,180 ^{ns}	13132,1 ^{ns}	5219802,98 ^{ns}	0,030*	0,166*
Média	51,541	35,1	9,623	8,717	411,287	6567,98	0,874	1,424
CV 1 (%)	5,99	2,11	10,46	9,56	29,08	25,56	11,42	5,95
CV 2 (%)	6,10	3,74	11,04	7,87	26,36	22,88	6,69	5,90

Ns- não significativo; * significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância (teste-F). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação. zona radicular.

O número médio e frutos por planta, mostrou efeito significativo para o fator variedade ($p = 0,0000$), mas não foram observados efeitos significativos para o fator aplicação ($p = 0,1171$) nem para a interação variedade $\times$ aplicação ($p = 0,1841$). A variedade Gefner apresentou o maior valor médio, com aproximadamente 75 frutos por planta, independentemente da aplicação do protetor solar. Em contraste, a variedade African Pride apresentou o menor número médio de frutos, com cerca de 27 frutos por planta (Tabela 2).

A ANOVA mostrou efeito significativo para o fator variedade ($p = 0,0000$), mas não revelou efeito significativo para o fator aplicação de protetor ($p = 0,1171$) nem para a interação entre esses tratamentos ($p = 0,1841$) na variável sólidos solúveis dos frutos. Entre as variedades estudadas, a Gefner apresentou o menor valor, com 35,991 °Brix, diferindo significativamente da African Pride.

A análise de variância dos dados para o comprimento longitudinal da variedade mostrou efeito significativo para os fatores variedades ($p = 0,0018$) e aplicação ($p = 0,0033$), mas não foi observado efeito significativo para a interação entre esses fatores ($p = 0,2785$). Os maiores comprimentos foram observados para a variedade African Pride (9,997 cm) e para os frutos das plantas que receberam a aplicação do protetor solar com 9,975 cm.

O comprimento diagonal do fruto foi afetado pela variedade estudada ($p = 0,0006$) e manejo de proteção solar ($p = 0,0006$), mas não houve interação entre esses fatores ($p = 0,5795$). Os frutos da variedade African Pride apresentaram média de 9,997 cm, diferenciando-se da Gefner. Em relação às aplicações do filme protetor, as plantas submetidas ao tratamento apresentaram maior média, de 9,025 cm quando comparado as plantas sem proteção.

A massa média dos frutos foi afetada isoladamente pelos fatores variedade ($p = 0,0000$) e proteção solar ($p = 0,0009$), mas não foi verificado efeito significativo para a interação entre esses fatores ($p = 0,3186$). Entre os parâmetros físicos de qualidade dos frutos de atemoia, as maiores médias de massa foram observadas nas plantas submetidas à aplicação do protetor solar, com o incremento de 24% da testemunha. A variedade African Pride apresentou frutos com maiores calibres, o que facilita uma melhor classificação nas categorias de comercialização.

Houve efeito isolado dos fatores variedade ($p = 0,0000$) e proteção solar ($p = 0,0103$) para produtividade de atemoieiras; no entanto, a interação entre esses fatores não foi significativo ($p = 0,1557$). Plantas protegidas com filme de carbonato apresentaram uma produtividade 15,75% maior que plantas de atemoieiras desprotegidas em condição semiárida. Apesar de a variedade African Pride apresentar frutos de maiores calibres, o fato de possuir um menor número de frutos fez com que a variedade Gefner se destacasse em produtividade, apresentando média de 9,47 t/ha nas plantas protegidas e 8,02 t/ha nas plantas sem proteção solar.

Para a variável eficiência produtiva, houve efeito significativo para os tratamentos variedades ($p = 0,0000$), aplicação de protetor solar ($p = 0,0006$) e para interação variedades x proteção solar ($p = 0,0451$). Plantas submetidas a pulverização com protetor solar Sombryt BR se descaram quanto a eficiência produtiva quando comparadas a testemunha, com 17% de incremento. Entre as variedades a African

Pride se mostrou menos mais eficiente com 0,732 quilogramas de fruta produzidas por metro cúbico de copa. A maior eficiência produtivo foi observada para as plantas da variedade Gefner quando submetidas a aplicação do protetor solar via pulverização, com 1,118 quilogramas de fruta por metro cúbico de copa (Figura 18A).

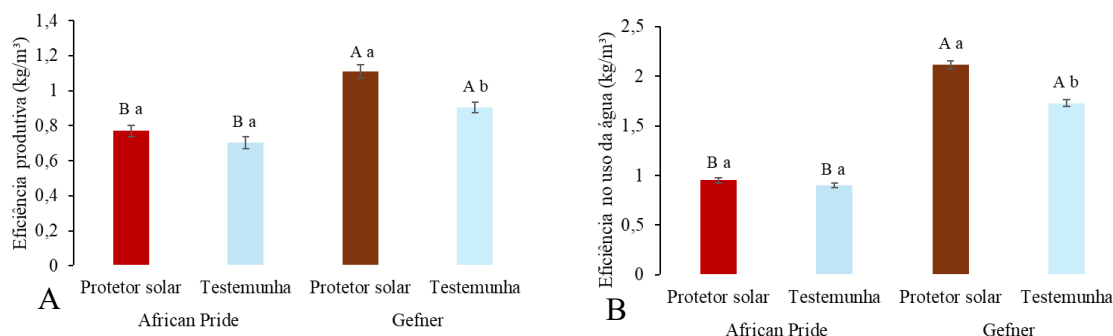


Figura 18. Interação para os fatores aplicação e variedade nas variáveis eficiência produtiva (A) e eficiência do uso de água de atemoieiras (B), Juazeiro-BA, 2025. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula (comparando a aplicação do protetor solar) e maiúscula (comparando a variedade), indicam que não há diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A eficiência de uso de água (EUA, kg de fruto por m³ de água) foi sensível às variedades estudadas, ao manjo de proteção solar, havendo também interação entre os fatores estudados ($p=0,000$; $p=0,0000$ e $p=0,0001$, respectivamente). As plantas submetidas a aplicação do filme protetor em sua copa apresentam mais eficiência no uso de água quando comparadas as testemunhas, com um aumento de 15,5% nessa variável. A variedade Gefner apresentou média de 2,1 kg de fruto por metros cúbicos de água, diferindo significativamente da variedade African Pride. Além disso, observou-se efeito positivo da aplicação do protetor solar, resultando em um acréscimo de 22,2% na variedade Gefner, em comparação às plantas que não receberam o protetor nas copas (Figura 18B). Valores mais elevados desses índices favorecem a melhor tomada de decisão quanto à escolha da variedade mais adequada para a implantação de pomares comerciais, especialmente sob condições ambientais semelhantes às do presente estudo ou na análise de riscos para diferentes cenários climáticos e de disponibilidade de água.

7.4 Discussões

A aplicação do protetor solar foi eficaz na mitigação dos efeitos do estresse em plantas de atemoia cultivadas sob condições do semiárido brasileiro. As plantas submetidas à aplicação apresentaram maior vigor vegetativo, incremento no teor de clorofila e melhorias nas características morfológicas que, associadas aos parâmetros fisiológicos, proporcionaram maior eficiência no uso da água e maior desempenho produtivo. Entre as variedades avaliadas, a Gefner destacou-se por apresentar maior responsividade ao uso da proteção, mantendo resultados superiores sob condição de aplicação quando comparada à testemunha (Figura 19).

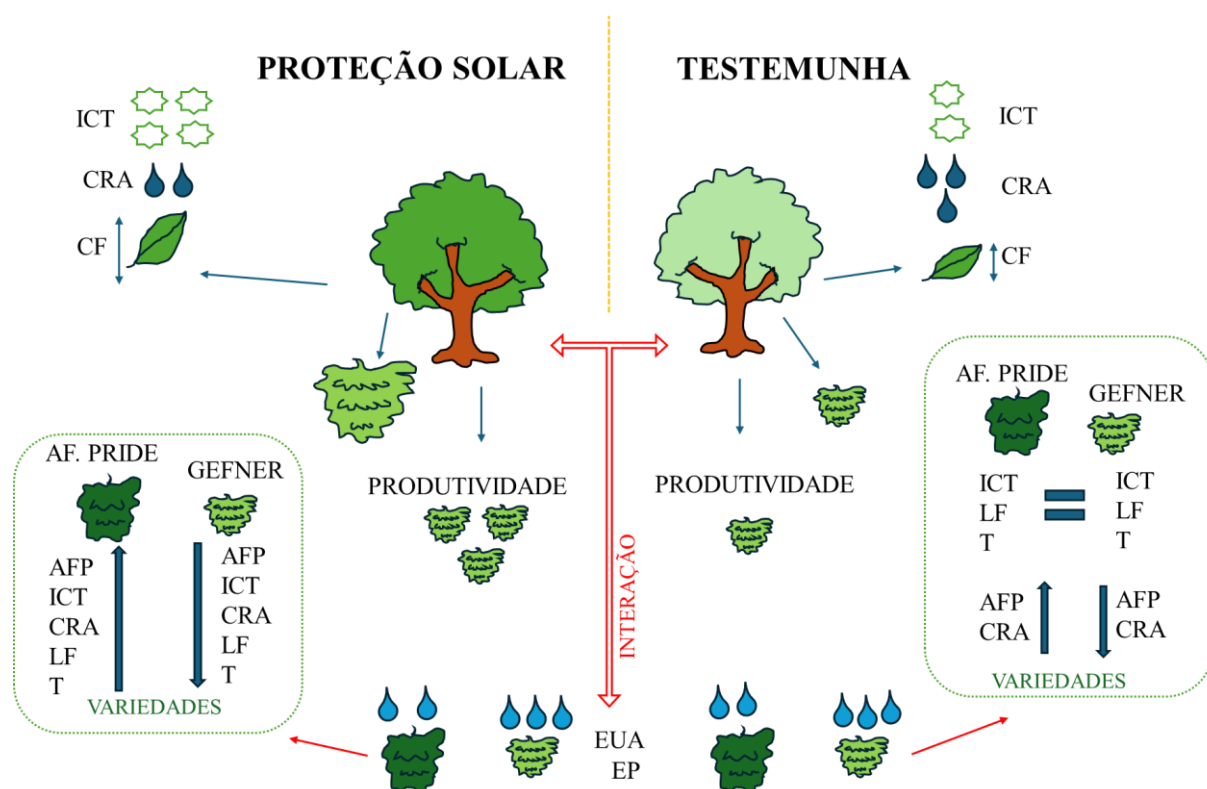


Figura 19. Respostas fisiológicas e produtivas de atemoieiras submetidas a aplicação de filme protetor solar, como mitigador das condições ambientais estressantes do semiárido brasileiro. ICT-índice de clorofila total; CRA- conteúdo relativo de água na folha; CF- comprimento foliar; AFP- área foliar da planta; LF-largura do fruto; Temperatura foliar; EUA-eficiência de uso de água; EP-eficiência produtiva.

Santos et al. (2021), em estudos com atemoeira com o objetivo de quantificar o consumo de água da cultura pelo método da sonda de dissipação, bem como sua relação com a área foliar e a demanda evaporativa da atmosfera, encontraram valores de área foliar de 22,4 m² e 23,0 m² para as variedades Gefner e African Pride, respectivamente, valores próximos aos encontrados neste estudo para a mesma fase de desenvolvimento vegetativo. De modo geral, plantas com copas mais desenvolvidas exibem maior eficiência na captação de energia luminosa, favorecendo o processo fotossintético (TAIZ et al. 2021), como observado na variedade African Pride. Contudo, o incremento da área de copa também pode intensificar as perdas de água para a atmosfera, devido ao aumento da transpiração total da planta, implicando em maior vulnerabilidade a estresses ambientais quando submetidas a condições adversas ao desenvolvimento produtivo (LAMBERS et al. 2008), especialmente em regiões com elevada temperatura do ar e baixa umidade relativa, como o semiárido brasileiro.

Considerando o menor vigor da Gefner em relação à outra variedade estudada, pode-se sugerir que ela se apresenta morfológicamente mais adaptada às condições adversas avaliadas, embora suas folhas, sob condição de exposição direta aos fatores abióticos ambientais, apresentassem menor índice de clorofila total (Tabela 6 e figura 17). Permitindo também o maior adensamento de plantas, alinhada a tendência da fruticultura atual (MENZEL & LE LAGADEC, 2017).

Silva et al. (2016) afirmam que existem controvérsias na literatura acerca do comportamento do índice de clorofila em função do estresse hídrico e/ou salino. De acordo com Mendes et al. (2011), enquanto alguns autores descrevem diminuição dos teores de clorofila, outros relatam incrementos, os quais podem ser interpretados como uma resposta adaptativa aos agentes estressantes e, possivelmente, indicam a ativação de mecanismos de proteção do aparato fotossintético. Esses incrementos aparentam ser uma implicação direta do próprio desenvolvimento dos cloroplastos, por meio da ampliação do número de tilacóides ou, até mesmo, do aumento no número de cloroplastos.

Nos estudos de Ferreira et al. (2021), pode-se concluir que pinheiras submetidas a estresse salino, com condutividade elétrica da água de irrigação de 3,0 dS m⁻¹ apresentaram redução nas concentrações de clorofila a e clorofila total.

O conteúdo relativo de água (CRA) na folha é uma variável de grande importância para compreender a resposta das plantas às condições ambientais e ao manejo, especialmente em estudos relacionados ao estresse hídrico e à adaptação fisiológica. A faixa desses valores pode variar de 70% a 90%, sendo que valores próximos a 70% correspondem a estresse hídrico significativo, enquanto valores superiores a 90% indicam tecido próximo à turgescência máxima (KRAMER & BOYER, 1995; TAIZ et al., 2021). Os valores observados no presente estudo, mantiveram-se acima de 80%, variando pouco entre os tratamentos, mesmo porque não houve limitação de água no solo. A variedade African Pride apresentou valores superiores a Gefner (Figura 17).

Para a Gefner, as plantas com proteção solar apresentaram menor o conteúdo relativo de água em comparação à testemunha, indicando que, nas condições climáticas observadas e do estudo, não se observou ganhos conservação do estado hídrico foliar. O CRA é amplamente utilizado como indicador do estado hídrico das plantas sob estresse, e variações moderadas nesse parâmetro podem refletir ajustes fisiológicos adaptativos sem, necessariamente, indicar danos severos ao metabolismo vegetal (JONES, 2007; SILVA et al., 2019). Isso implica em afirmar que mesmo não havendo limitação de água no solo, quando a disponibilidade de água estava ótima no solo e mitigando as diferenças entre e dentro das variedades estudadas, foi uma variável sensível aos tratamentos. Avanços nos estudos poderiam ser alcançados com associação a um outro fator, como déficit hídrico, que afeta diretamente a turgescência da planta (DA SILVA COSTA et al., 2025; DE OLIVERIA SOUZA et al., 2022), poderia enriquecer os estudos ao ponto de existir uma resposta mais clara quanto a tolerância das variedades, sendo recomendados em futuros estudos.

Torres, (2023), avaliando o conteúdo relativo de água no limbo foliar das plantas de pinheira observou valores máximos de 75,09% nas plantas cultivadas com turno de rega de um dia, valores superiores ao encontrado neste estudo. Para monitorar os efeitos da disponibilidade hídrica nas plantas, geralmente trabalhos que analisam esse tipo de estresse utilizam do conteúdo relativo de água na folha como indicativo de conservação do metabolismo celular (JONES, 2007).

Como o balanço hídrico é controlado pela transpiração foliar e captação de água do solo, plantas que apresentam tolerância ao estresse hídrico podem recuperar

o CRA quando o regime hídrico com disponibilidade de água é restabelecido (GRAÇA et al., 2010).

Wahid & Close (2007) observaram que plantas de *Saccharum officinarum*, em condições de alta temperatura, apresentam redução no conteúdo relativo de água nas folhas. No entanto, 72 horas após o início do déficit hídrico, as plantas estressadas apresentaram valores semelhantes aos das plantas em capacidade de campo, sugerindo que parte do teor de água é utilizada para minimizar os danos decorrentes da combinação de fatores, como déficit hídrico e altas temperaturas. Situação semelhante foi observada nos estudos de Graça et al. (2010) com cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico, em que a cultivar CTC15 apresentou redução mínima na quantidade de água disponível para absorção.

Como a água é o principal doador de elétrons para o fotossistema II, por meio do processo de oxidação, uma diminuição no conteúdo relativo de água pode reduzir o potencial eletroquímico da ATP sintase e do fotossistema I, comprometendo a formação de ATP e NADPH, respectivamente, e, conseqüentemente, afetando negativamente o aparato fotossintético (LAWLOR & UPRETY, 1993).

Para estimar a resiliência da planta a intempéries ambientais, a associação de fatores morfológicos, fisiológicos e produtivos deve ser considerada. Análises como o extravasamento de eletrólitos constituem uma ferramenta importante para avaliar a integridade das membranas celulares e o nível de dano fisiológico causado por estresses ambientais, que podem ser decorrentes da baixa disponibilidade hídrica, do excesso de temperatura, salinidade ou danos provocados por fitopatógenos no aparato foliar (HNILICKOVÁ et al., 2019; FERREIRA et al., 2025).

Os valores de extravasamento de eletrólitos encontrados nesse estudo são superiores aos relatados por Ferreira et al. (2021), que observaram maior extravasamento de eletrólitos no limbo foliar de pinheira de 18,19% quando as plantas foram cultivadas com água de irrigação com condutividade elétrica de 3,0 dS m⁻¹, enquanto o menor valor, de 14,82%, foi registrado nas plantas irrigadas com água de menor salinidade (0,8 dS m⁻¹).

Para Bonaventure (1999), a atemoieira adapta-se bem a temperaturas do ar mais elevadas quando comparada a outras anonáceas. A temperatura ideal para o desenvolvimento dessa cultura situa-se entre 13 °C e 32 °C, com umidade relativa do

ar entre 70% e 80%. Apesar da temperatura da folha está nessa faixa ótima, as plantas quando tratadas com o protetor solar mantiveram boas características produtivas, com o número de frutos, que é uma atividade que necessita de umidade relativa adequada e temperatura para garantia de boa frutificação.

Considerando o consumo de frutas *in natura* ou processadas, níveis elevados de sólidos solúveis constituem uma característica altamente desejável pelos consumidores. O teor de sólidos solúveis não foi influenciado pela aplicação do protetor solar, indicando que, nas condições avaliadas no experimento, o tratamento foliar não promoveu alterações consistentes no acúmulo de açúcares ou na concentração de solutos nos frutos. Entre as variedades analisadas a Gefner apresentou maior teor, diferindo significativamente da African Pride.

Esse comportamento está em consonância com resultados reportados na literatura, segundo os quais o uso de filmes particulados ou refletivos atua predominantemente na modulação da temperatura e na atenuação do estresse térmico, apresentando efeitos variáveis sobre atributos químicos dos frutos, como os sólidos solúveis, em função da cultura, das condições ambientais e do manejo hídrico adotado (ROTONDI et al., 2022). Em atemoia, o teor de sólidos solúveis é um atributo fortemente dependente de cultivar e do estágio de maturação, podendo variar consideravelmente entre materiais genéticos e condições de produção (CARDOSO et al., 2023).

Embora a aplicação do protetor não tenha alterado os teores de sólidos solúveis, a variedade Gefner apresentou valores superiores aos da African Pride, característica desejável para consumo *in natura* e processamento, uma vez que essa variável está diretamente associada à percepção de doçura e aceitabilidade do fruto. Resultados com híbridos de atemoia também indicam diferenças genéticas significativas em qualidade, incluindo maiores concentrações de sólidos solúveis em materiais relacionados ao grupo Gefner, reforçando que o genótipo é um determinante importante desse atributo (GOENAGA; RIVERA, 2016).

Apesar disso, os valores encontrados neste estudo são superiores aos observados por Dias et al. (2025), que registraram valor médio de 26,5 °Brix para a variedade Gefner. Segundo esses autores, o teor elevado de sólidos solúveis é um parâmetro indicativo do amadurecimento dos frutos, uma vez que tende a aumentar à

medida que ocorre a degradação de polissacarídeos, como o amido, e a síntese de açúcares solúveis.

A aplicação do protetor solar causou impacto positivo na produção de atemoieiras, independentemente da variedade avaliada. As plantas submetidas à aplicação do protetor solar apresentaram produtividade média de aproximadamente 15,36% superior às plantas que não receberam a aplicação. Esse incremento produtivo, sem alteração de sólidos solúveis, sugere que o protetor solar pode ter contribuído mais para a manutenção do desempenho fisiológico e do balanço energético da copa do que para mudanças na composição do fruto. Este é um padrão encontrado em estudos com filmes particulados em fruteiras, nos quais o efeito tende a ser mais consistente sobre variáveis ligadas a estresse e rendimento do que sobre características químicas (CONEJERO et al., 2020; ROTONDI et al., 2022).

As anonáceas, como a atemoia, têm origem em climas tropicais, caracterizados por elevada incidência luminosa, (MOSCA et al., 2006) e a interferência das condições ambientais podem impactar na frutificação. Apesar de apresentar um menor número de frutos, as plantas submetidas a proteção solar, apresentou maior massa médias dos frutos, o que resultou em maior produtividade quando comparadas as plantas sem proteção solar, uma vez que o produto utilizado para proteção solar também atua como fertilizante, melhorando aspectos fisiológicos e nutricionais da planta no processo de translocação de carboidratos

Esse fator também explicou a maior eficiência produtiva em plantas submetidas ao tratamento de proteção solar (Tabela 7), mesmo porque a área foliar também não foi afetada pela proteção solar (Tabela 6). A interação foi explicada pelos ganhos em eficiência de plantas com proteção solar dentro da variedade Gefner, estas por apresentarem menor vigor, com EP superior independentemente do fator proteção solar (Tabela 7, Figura 18). Eficiência produtiva da planta não depende apenas do potencial genético da variedade, mas também da resposta específica de cada genótipo quando submetido às condições ambientais. Parâmetros climáticos, como radiação solar e temperatura do ar, quando fora da faixa ideal para a cultura, podem impactar negativamente processos fisiológicos, resultando em menor rendimento (HATFIELD; PRUEGER, 2015).

Os resultados de EUA das plantas foram semelhantes à EP. A EUA é frequentemente avaliada sob condições de estresse hídrico. Ali et al. (2024)

concluíram, em estudos com fruteiras cultivadas em diferentes climas e sob distintos manejos de irrigação, que a produtividade e a eficiência de uso da água foram mais elevadas com a Irrigação com Déficit Regulamentado (RDI) em maçã, pêssego e cereja-doce. Suas análises também sugerem que o RDI deve ser adotado para otimizar a produtividade e melhorar a eficiência do uso da água em condições de escassez hídrica.

Embora as plantas de atemoia, no presente estudo, não tenham sido submetidas a diferentes lâminas de irrigação, observou-se valor de eficiência de semelhante ao relatado por Pires Costa et al. (2022) em cupuaçuzeiros irrigados com 100% da reposição da evapotranspiração de referência (ET_0), cuja média foi de $2,615 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Esses resultados indicam que a aplicação do protetor solar aumentou em 17% da EUA independente da variedade. Ou seja, contribuindo para melhorar o aproveitamento da água de irrigação, especialmente para variedade Gefner que apresentou diferenças significativas com ganhos de 22,6% com a proteção solar, que sob condições climáticas atípicas, mostrou-se mais sensível aos estresses ambientais (Tabela 7, Figura 13).

7.5 Conclusões

A aplicação do protetor solar foi eficiente para atenuar os efeitos dos estresses do ambientais na variedade Gefner, durante a fase vegetativa de formação, refletindo-se em melhor desempenho fisiológico, produtivo e maior eficiência no uso da água de irrigação.

A variedade African Pride apresentou menor resposta à aplicação do protetor solar, evidenciando comportamento distinto em relação à tolerância às condições ambientais impostas no semiárido, o que indica diferenças genotípicas na adaptação ao estresse ambiental durante a fase de formação vegetativa.

Os resultados indicam que a proteção solar é uma prática importante para produção da atemoia no ambiente semiárido.

Importante o aprofundamento do conhecimento dos efeitos da prática da proteção solar na fisiologia de plantas de atemoia, avaliando distintas condições climáticas e manejo de déficit hídrico.

7.6 Referências

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALI, Nawab; DONG, Younsuk; LVELY, Emily. Impact of irrigation scheduling on yield and water use efficiency of apples, peaches, and sweet cherries: A global meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 306, p. 109148, 2024.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As plantas e o clima: Princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352p.

BONAVENTURE, L. **A cultura da cherimóia e de seu híbrido a atemóia**, A. NBL Editora, 1999. 74p. Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1FoyuTtMcgUC&oi=fnd&pg=PA13&dq=atemoia&ots=G2DpqXTyct&sig=YIRts2xtqm5Xrlmzeblxogvmw9Q#v=onepage&q=atemoia&f=false>. Acesso em: 22 set 2024.

CARDOSO, Caroline P. et al. Modification of sugar profile and ripening in atemoya (*Annona* × *atemoya* Mabb.) fruits through copper hydroxide application. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 768, 2023.

COELHO, M. A., ANGELOCCI, L. R., VASCONCELOS, M. R. B., & COELHO, E. F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida ‘Tahiti’usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

CONEJERO, W.; MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J. J.; NORTES, P. A.; ARTÉS, F. Kaolin particle film improves water use efficiency and fruit quality in citrus trees under deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108991, 2020. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108991.

COSTA, D. L. P.; VIEIRA, I. C. O.; CARVALHO, E. O. T.; SILVA, M. Y. F.; VELAME, M. L. A.; SOUZA, P. J. O. P. Produtividade e eficiência do uso da água de cupuaçuzeiro irrigado nas condições climáticas de Castanhal-pa, Amazônia brasileira. **IRRIGA**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 1–15, 2022. DOI: 10.15809/irriga.2022v27n1p1-15. Disponível em:

<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4525>. Acesso em: 29 set. 2025

COSTA, J. O.; SILVA, M. R.; ALMEIDA, A. C.; SANTOS, D. B. Deficit irrigation strategies for fruit crops in semi-arid environments. **Agricultural Water Management**, v. 263, p. 107463, 2024.

DA SILVA COSTA, COELHO FILHO, M. A., ARAÚJO DA SILVA, M. A., MOREIRA, A. S., DOS SANTOS SOARES FILHO, W., FRESCHI, L., & DA SILVA GESTEIRA, A. Revisiting citrus rootstocks polyploidy as a means to improve drought resilience: sometimes less is more. **Plant, Cell & Environment**, v. 48, n. 1, p. 149-163, 2025.

DE OLIVEIRA SOUSA AR, RIBAS RF, COELHO FILHO MA, FRESCHI L, FERREIRA CF, DOS SANTOS SOARES FILHO, W., PÉREZ-MOLINA, J.P. AND DA SILVA GESTEIRA, A. Drought tolerance memory transmission by citrus buds. **Plant Science**, v. 320, p. 111292, 2022.. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111292>

DIAS, W. P. A., MARTINS, J. C., AGUIAR, F. S., SILVA, L. DE J., SILVA, L. DE J., SOUZA, M. A. T. DE S. E, SILVA, J. P. M. DA, & MIZOBUTSI, G. P. (2024). Conservação de atemoia ‘Gefner’ com uso de permanganato de potássio. **Caderno Pedagógico**, 21(12), e10308. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n12-062>

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)** Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: https://www.falker.com.br/download?product=cfl1030&file=MAN_CFL1030_D.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FERREIRA, F. N.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; SA, F. V. da S.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, F. W. A. Photosynthetic efficiency and production of *Annona squamosa* L. under salt stress and fertilization with NPK. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 25, no.7, p. 446-452, 2021.

FERREIRA, E., Lima, G. S. D., Soares, L. A. D. A., Silva, I. J. D., Gomes, V. R., Gheyi, H. R., ... & Silva, S. S. D. Morphophysiological responses of sour passion fruit seedlings to water salinity and hydrogen peroxide. **Revista Caatinga**, v. 38, p. e12582, 2025.

GOENAGA, R.; RIVERA, E. Yield and fruit quality traits of atemoya hybrids grown in Puerto Rico. **HortTechnology**, v. 26, n. 4, p. 547–552, 2016.

GRAÇA, J. P. DA ., RODRIGUES, F. A., FARIAS, J. R. B., OLIVEIRA, M. C. N. DE ., HOFFMANN-CAMPO, C. B., & ZINGARETTI, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 22(3), 189–197. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202010000300006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/NKx4gSXF87mMJbSF9Gcd88g/#>. Acesso em: 22 set 2024.

HAMDY, A.E.; ABDEL-AZIZ, H.F.; EL-KHAMISSI, H.; ALJWAIZEA, N.I.; EL-YAZIED, A.A.; SELIM, S.; TAWFIK, M.M.; ALHARBI, K.; ALI, M.S.M.; ELKELISH, A. Kaolin Improves Photosynthetic Pigments, and Antioxidant Content, and Decreases Sunburn of Mangoes: Field Study. **Agronomy** 2022, 12, 1535. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071535>

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. **Weather Clim Extrem** 10: 4–10 [em linha]. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2015.08.001>

HNILIČKOVÁ H., HNILIČK, F., Orsák, M., & Hejnák, V.. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. **Plant, Soil & Environment**, v. 65, n. 2, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em : https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em : 22 set 2024.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em : <https://bdmep.inmet.gov.br/>. ACESSO em set: 22 set 2024.

IPA, INSTITUTO AGRONÔMICO, DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª.** aproximação. Recife: IPA, p.212, 2008.

JONES, H. G. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, London, v.58, v.119-130, 2007. Disponível em <https://academic.oup.com/jxb/article/58/2/119/531950>. Acesso 22 set 2024.

KRAMER, P. J., & BOYER, J. S. (1995). **Water Relations of Plants and Soils**. Academic Press.

LABMET, UNIVASF. **Dados Climáticos Diários observados nas Estações Meteorológicas da UNIVASF de Petrolina e Juazeiro**. Disponível em : <http://labmet.univasf.edu.br/joomla/index.php/dados-climaticos>. Acesso em :22 set 2024.

LAWLOR, D. W.; UPRETY, D. C. Effects of Water Stress on Photosynthesis of Crops and the Biochemical Mechanism. **Photosynthesis: Photoreactions to Plant Productivity**, p.419–449, 1993.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Springer Science & Business Media. 2. 2008 ISBN0387783415, 9780387783413. 605.p

LIM, T. K. Edible **Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Londres: Springer, 2012.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, K.P; OLIVEIRA, M.A.S.; CUNHA, M.M., OLIVEIRA Jr., M.E.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ALVES, R.T. **Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemóia, cherimóia e graviola**: Tecnologia de produção, colheita, mercado. Porto Alegre: Cinco continentes, 2003. 596p.

MANJAVACHI, M. K. DE P.; SILVA, T. A.; SILVA, E. A. A. DA; GUIMARÃES, C. C.; SARTORI, M. M. P. Physiological and biochemical responses of osmo-primed parsley seeds subjected to saline stress. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.44, p.1-11, 2022. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54364>.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, ed. 12, p.660-666, 2013.

MENDES, B. S. da S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C. da; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; CAMARA, T. R. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71 - 77, 2011.

MOSCA, J. L., CAVALCANTE, C. E. B., DANTAS, T. M., CAVALCANTE, C. E. B., & DANTAS, T. M. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. 2006. 28 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 106). ISSN 1677-1915

PAULL, R. E.; DUARTE, O. **Tropical Fruits**. Cap. Annonas: cherimoya, atemoya and sweetsop. 2011. 2nd ed. CABI.p 123-152.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHE, S.; JOSÉ, A. R. S.; LEMOS, E. E. P. de; MIZOBUTSI, E. H.; CORSATO, C. D. A. (org.). **Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annonasquamosa* L. x *Annona cherimola* Mill) e Graviola (*Annonamuricata* L.)**. In: TRAZILBO JOSÉ DE PAULA JÚNIOR (Minas Gerais). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Livro 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2019. Cap. 14. p.111-123.

PIRES COSTA, DEBORAH LUCIANY et al. PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE CUPUAÇUZEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE CASTANHAL-PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Revista IRRIGA-Brazilian Journal of Irrigation & Drainage**, v. 27, n. 1, 2022.

POPENOE, W. **Manual of tropical and subtropical fruits: the annonaceous fruits: the cherimoya**. Nova Iorque: Hafner Press, 1974.

RODA, A.; MAZZON, L.; ZANELLA, A.; SAMBUCO, E. Kaolin particle films improve plant performance under high radiation and temperature conditions. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2214, 2022.

ROTONDI, Annalisa et al. Effect of different foliar particle films (kaolin and zeolite) on chemical and sensory properties of olive oil. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3088, 2022.

SANTOS IMS, VELLAME LM, MARINHO LB, ARAÚJO JF. Atemoya sap flow estimation as a function of leaf area and reference evapotranspiration. **Rev Bras Frutic [Internet]**. 2021;43(6): e-148. Available from: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021148>.

SANTOS, C. R. MELO NETO, M. L.; NOGUEIRA, P. S.C., HAJI, F. N. P. **Produção de atemóia no Submédio São Francisco**. 2001. Disponível em : <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/151160/1/COT103.pdf>. Acesso em : 22 set 2024.

SANTOS, M. R.; SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Irrigated fruit cropping systems and water use efficiency in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 620–627, 2016.

SCOTTI-CAMPOS, P; PHAM-THI, ANH-THU; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, p.1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Rev. Agro@ambiente** On-line, n.10, v.4, p. 317-325, 2016.

https://www.researchgate.net/publication/313268044_Pigmentos_fotossinteticos_e_potencial_hidrico_foliar_em_plantas_jovens_de_coqueiro_sob_estresses_hidrico_e_salino.

SILVA, M. R.; SANTOS, M. R.; ALMEIDA, A. C.; COSTA, J. O. Physiological indicators of water stress in perennial fruit crops under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 719–728, 2019.

SINCLAIR, T. R.; TANNER, C. B.; BENNETT, J. M. Water-use efficiency in crop production. **BioScience**, v. 34, n. 1, p. 36–40, 1984.

SMART, R. E.; BINGHAM, G. E.; **Rapid Estimates of Relative Water Content Plant Physiol.** Vol. 53, 258-260, 1974.

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER I, MURPHY A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. (2021). **Plant Physiology and Development**. 7th Edition. Sinauer Associates.

TEIXEIRA, A. H. C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA** - 1963 a 2009. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010.

TOKUNAGA, T. **A cultura da atemóia**. 233. 1.ed. Campinas: Cati, 2000. 80 p.

TORRES, R. A. F. **Fisiologia e produção de pinheira cultivada sob turnos de rega e aplicação de prolina**. 2023. Disponível em : <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/32746>. Acesso 22 set 2024.

TRIPATHI, D. K., SINGH, V. P., CHAUHAN, D. K., SHARMA, S., PRASAD, S. M., DUBEY, N. K., AND RAMAWAT, N. **Plant life under changing environment: responses and management**. New York, USA: Academic Press, 2020.

WAHID A, CLOSE TJ. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. **Biol. Plantarum** 51:104-109. 2007

8. CONCLUSÕES GERAIS

Ao final do estudo, observou-se a eficiência do uso do protetor solar na potencialização do processo produtivo, com aumento de produtividade de 8,19% para a manga e de 15,36% para a atemoia, além de incrementos de 24,71% e 7,99% na eficiência do uso da água para a mangueira e a atemoieira, respectivamente, quando comparadas à média geral dos tratamentos no Submédio do Vale do São Francisco.

A aplicação de protetor solar com intervalo quinzenal reduz a zero as injúrias solares causadas em frutos de manga. O manejo de irrigação deficitária associado à aplicação de protetor solar pode ser utilizado como ferramenta alternativa para a redução do vigor vegetativo em mangueiras, além de proporcionar melhor vida pós-colheita aos frutos.

A pulverização de protetor solar em atemoieiras mostrou-se eficiente na manutenção das características vegetativas e produtivas, e a variedade Gefner apresentou maior resiliência climática para o cultivo no Submédio do Vale do São Francisco.