



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PINHEIRA CULTIVADA SOB
TURNOS DE REGA E APLICAÇÃO DE PROLINA**

RAFAELA APARECIDA FRAZÃO TORRES

POMBAL – PB

2023

RAFAELA APARECIDA FRAZÃO TORRES

**FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PINHEIRA CULTIVADA SOB
TURNOS DE REGA E APLICAÇÃO DE PROLINA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Agronomia da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima

Coorientadora: Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares

POMBAL – PB

2023

T693f Torres, Rafaela Aparecida Frazão.

Fisiologia e produção de pinheira cultivada sob turnos de rega e aplicação de prolina / Rafaela Aparecida Frazão Torres. – Pombal, 2023.

47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares”.

Referências.

1. Pinheira. 2. Estresse hídrico. 3. Osmorregulação. 4. *Annona squamosa* L. I. Lima, Geovani Soares de. II. Soares, Lauriane Almeida dos Anjos. III. Título.

RAFAELA APARECIDA FRAZÃO TORRES

**FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PINHEIRA CULTIVADA SOB
TURNOS DE REGA E APLICAÇÃO DE PROLINA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Agronomia da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Apresentada em: 22/05/2023

BANCA EXAMINADORA

Geovani Soares de Lima

Orientador – Prof. Dr. Geovani Soares de Lima
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

Lauriane Almeida dos Anjos Soares

Co-orientadora – Profª. Drª. Lauriane Almeida dos Anjos Soares
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

Maila Vieira Dantas

Membro – Msc. Maila Vieira Dantas
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – PPGEA)

Iara Almeida Roque

Membro – Msc. Iara Almeida Roque
(Universidade Federal de Campina Grande – CTRN – PPGEA)

“A Deus, por me guiar e abençoar em todos os dias de luta. A minha família por me apoiar e acreditar que tudo seria possível, e em especial a minha mãe, por seu meu suporte durante toda minha trajetória e por nunca ter me deixado desistir.”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me abençoar tanto todos os dias, por me dar coragem, força e sabedoria para vencer cada etapa dessa jornada. Obrigada senhor!

A minha mãe Elisângela Frazão por se fazer presente e não ter desistido de mim em nenhum momento, por acreditar que eu conseguiria quando muita gente duvidou. Obrigada minha mãe, por ser o presente mais lindo que Deus poderia ter me concedido, a admiro imensamente, pela sua força, pela sua fé, e pela sua coragem em lutar tanto pelos seus filhos.

A minha avó Adeaula Pereira (*in memoriam*) que acompanhou boa parte dessa luta e sempre me incentivou a continuar, nosso sonho está se realizando meu anjo, obrigada por tanto amor e carinho comigo durante sua jornada!

Aos meus irmãos Gabriel Frazão e Gabriela Frazão, por serem o suporte que eu tanto preciso, é por vocês e para vocês. Ao meu pai José Luiz por todo apoio e ensinamentos ao longo da vida. A minha cunhada Amanda Andrade que sempre se faz presente e que considero como irmã. A minha tia Emília Érica, que sempre me apoiou e sempre acreditou que essa conquista seria possível.

Ao meu namorado Jean Paiva, por ser minha paz e meu ponto de equilíbrio, obrigada por me acalmar, por ser meu companheiro e por toda compreensão nos dias difíceis, você foi sem sombra de dúvidas uma das melhores coisas que me aconteceram, sou grata a Deus por ter vindo buscar o sonho de uma formação e de brinde ter te encontrado!

Aos meus orientadores e amigos Prof. Dr. Geovani Soares e Profa. Dra. Lauriane Almeida, por toda orientação, paciência, ensinamentos e por tanto cuidado comigo, grata por vocês estarem presentes na minha vida não apenas nos limites da universidade, vocês são exemplos, os quais me espelho e admiro imensamente.

Aos meus amigos Rayane Marques, Marília Lima, Riquele Nascimento, João Paulo, que mesmo distantes sempre se fizeram presentes me apoiando e vibrando com cada vitória.

Aos amigos que a universidade me presenteou Dayana Darley, Claudiene Moura, Fellype Jonathar, Victor Hugo, Valeska Karoline, Éllida Cilene, Guilherme Brito, Tatiane Paz, Maria Izabel, Alan Keis, Luderlandio Andrade, Maria Ritta, Smyth Trotsk, Maíla Vieira, Iara Roque, Jean Telvio, Jackson Nóbrega, Cassiano Nogueira, Alena Thamyres, Eduardo Nascimento, e todos os outros que fizeram parte dessa caminhada, sou grata ao meu senhor Deus pelo privilégio em ter construído laços tão bonitos de amizade.

A banca examinadora, pelas sugestões atribuídas ao meu trabalho de conclusão de curso.
A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse sonho, o meu muito obrigada!

TORRES, R. A. F. **Fisiologia e produção de pinheira cultivada sob turnos de rega e aplicação de prolina**. 2023. 46f. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. Pombal, PB.

RESUMO

Os prolongados períodos de seca tem dificultado o cultivo de frutíferas no semiárido paraibano, inviabilizando seu crescimento e desenvolvimento, trazendo uma série de prejuízos aos produtores, fazendo-se necessário a adoção de estratégias de manejo de irrigação, e a busca por alternativas que venham a amenizar os efeitos do estresse sobre as plantas. Com isso, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação foliar de prolina como mitigador do estresse hídrico na fisiologia e produção da pinheira no semiárido paraibano. A pesquisa foi desenvolvida sob condições de campo em São Domingos, PB, utilizando-se odelineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 4×2 , cujos tratamentos resultaram da combinação de quatro turno de rega (1, 4, 8 e 12 dias) e duas concentrações de prolina (0 e 10 mM), com quatro repetições, cuja a parcela foi constituída de quatro plantas úteis, perfazendo um total de 128 unidades experimentais. O incremento nos turnos de rega reduziu as trocas gasosas das plantas de pinheira, aos 298 dias após o transplantio. A aplicação de prolina na concentração de 10 mM aumentou o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar, a condutância estomática, clorofila *a*, totais e carotenoides, e diminuiu a concentração interna de CO₂ das plantas de pinheira. A aplicação exógena de prolina na concentração de 10 mM estimulou a biossíntese de clorofila *b*, e o aumento da massa fresca de frutos nas plantas cultivadas sob turno de rega de 12 dias.

Palavras-chave: *Annona squamosa* L., estresse hídrico, osmorregulação,

TORRES, R. A. F. **Physiology and production of sugar apple cultivated under watering periods and proline application.** 2023. 46f. Monograph (Graduation in Agronomy). Federal University of Campina Grande, Center for Agri-food Science and Technology. Pombal, PB.

ABSTRATCT

The prolonged periods of drought have hampered the cultivation of fruit trees in the semi-arid region of Paraíba, making their growth and development unfeasible, bringing a series of losses to producers, making it necessary to adopt irrigation management strategies, and the search for alternatives that may mitigate the effects of stress on plants. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of foliar application of proline as a mitigator of water stress on the physiology and production of sugar apple in the semi-arid region of Paraíba. The research was carried out under field conditions in São Domingos, PB, using a randomized block design in a 4×2 factorial scheme, whose treatments resulted from the combination of four irrigation shifts (1, 4, 8 and 12 days) and two concentrations of proline (0 and 10 mM), with four replications, whose plot consisted of four useful plants, making a total of 128 experimental units. The increase in watering shifts reduced gas exchange in sugar apple plants, 298 days after transplanting. The application of proline at a concentration of 10 mM increased electrolyte leakage in the leaf blade, stomatal conductance, chlorophyll a, totals and carotenoids, and decreased the internal concentration of CO₂ in sugar apple plants. The exogenous application of proline at a concentration of 10 mM stimulated the biosynthesis of chlorophyll b, and the increase in the fresh mass of fruits in plants cultivated under a 12-day irrigation shift.

Keywords: *Annona squamosa* L , water stress, osmoregulation,.

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos..... | 21 |
| Tabela 2. Resumo da análise de variância para concentração intercelular de CO ₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs) e taxa de assimilação de CO ₂ (A) das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplantio. | 29 |
| Tabela 3. Resumo de análise de variância para à eficiência instantânea no uso da água (EiUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiCi), extravasamento de eletrólitos (%EE) e conteúdo relativo de água (%CRA) no limbo foliar das plantas de pinheira, cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplantio..... | 32 |
| Tabela 4. Resumo da análise de variância para os teores de clorofila a (Cl a), b (Cl b), total (Cl T) e carotenoides (Car) das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplantio. | 35 |
| Tabela 5. Resumo da análise de variância referente a massa fresca dos frutos (MFF) e número de frutos (NFRU) das plantas de pinheira, cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina. | 38 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar e precipitação durante o período de condução do experimento. | 21 |
| Figura 2. Preparo do solo com aração seguida de gradagem da área experimental (A); abertura das covas com incorporação de esterco e adubação de fundação (B). | 22 |
| Figura 3. Mudanças aptas ao transplante (A); abertura das covas (B); e transplante das mudas na área experimental (C). | 23 |
| Figura 4. Demonstração das aplicações exógenas de prolina com a utilização de lona e pulverizador costal. | 23 |
| Figura 5. Avaliação das trocas gasosas nas plantas de pinheira utilizando analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), aos 298 DAT. | 25 |
| Figura 6. Avaliação dos teores de clorofila e carotenoides com utilizando-se um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663). | 26 |
| Figura 7. Avaliação de extravasamento de eletrólitos das folhas de pinheira, aos 298 DAT. | 27 |
| Figura 8. Frutos em ponto de colheita (A); frutos após colheita para serem pesados e contados de acordo com determinados tratamentos (B). | 28 |
| Figura 9. Concentração intercelular de CO ₂ – Ci das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega (A) e das concentrações de prolina (B) das plantas de pinheira, aos 298 dias após o transplante. | 30 |
| Figura 10. Transpiração – E (A) e condutância estomática - gs (B) das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplante. | 31 |
| Figura 11. Condutância estomática – gs (A) das plantas de pinheira, em função das concentrações de prolina e taxa de assimilação de CO ₂ – A (B), em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplante. | 32 |
| Figura 12. Extravasamento de eletrólitos - %EE (A) no limbo foliar das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega e das concentrações de prolina (B) e conteúdo relativo de água (C) em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplante. | 34 |
| Figura 13. Teores de clorofila a das plantas de pinheira sob aplicação foliar de prolina (A) e teores de clorofila b (B), em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplante. | 36 |
| Figura 14. Teores de clorofila total (A) e carotenoides (B) das plantas de pinheira cultivadas sob diferentes concentrações de prolina, aos 298 dias após o transplante. | 37 |
| Figura 15. Massa fresca de frutos das plantas de pinheira, em função da interação entre os turnos de rega e concentrações de prolina (A) e número de frutos (B) em função dos turnos de rega, aos 501 dias após o transplante. | 39 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| RESUMO..... | viii |
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.1. Geral..... | 15 |
| 2.2. Específicos | 15 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 16 |
| 3.1. Aspectos gerais da cultura da pinheira..... | 16 |
| 3.2. Disponibilidade de água em regiões semiáridas | 17 |
| 3.3. Efeitos do estresse hídrico nas plantas..... | 18 |
| 3.4. Prolina como elicitador do estresse hídrico | 19 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 20 |
| 4.1. Localização | 20 |
| 4.2. Tratamentos e delineamento experimental | 21 |
| 4.3. Formação de mudas | 21 |
| 4.4. Condução experimental | 21 |
| 4.5. Preparo e aplicação das concentrações de prolina | 23 |
| 4.6. Manejo da irrigação | 24 |
| 4.7. Variáveis analisadas..... | 24 |
| 4.7.1. Parâmetros fisiológicos | 25 |
| 4.7.2. Componentes de produção | 28 |
| 4.8. Análises estatísticas..... | 28 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 39 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

1. INTRODUÇÃO

A pinheira (*Annona squamosa* L.) também conhecida como ata ou fruta-do-conde é uma planta originária das Antilhas e está inserida no grupo das anonáceas, fruteiras de grande importância econômica e social. O grande interesse pelo cultivo desta cultura deve-se aos altos preços obtidos tanto da polpa como da fruta *in natura*, com grande potencial de exportação (Braga Sobrinho, 2014) e, por apresentar propriedades medicinais, sendo fonte nutricional de vitamina c, vitaminas do complexo B, fibras e minerais, podendo atuar contra infecções bacterianas, distúrbios nervosos além de possuir ação antidepressiva (Ferreira et al., 2021; Castro et al., 2016).

O Brasil destaca-se tanto na produção quanto na comercialização do fruto de pinha, podendo ser consumida *in natura* ou em processados, contribuindo com a economia regional, através da geração de emprego e renda (Oliveira et al., 2016). De acordo com dados obtidos a partir do Censo Agropecuário de 2017, cerca de 97% de toda a área produtora de pinha encontra-se na região Nordeste, tendo como destaque o estado da Bahia como maior produtor. Ainda nesse cenário a produção brasileira ultrapassou 8,72 mil toneladas na safra de 2017, obtendo-se uma produção que superou R\$ 20 milhões (IBGE, 2022).

Dentre os entraves para a expansão das áreas produtivas no semiárido brasileiro, está a irregularidade de chuvas e a elevada taxa de evapotranspiração, que resulta em limitações na disponibilidade hídrica adequada durante o ciclo das culturas, induzindo mudanças em resposta ao estresse, levando a perdas de produção e alterações na qualidade dos frutos (Pereira, 2017; Maciel et al., 2021).

Sob condições de estresse hídrico, as plantas normalmente têm inibição no crescimento, devido à diminuição na turgescência celular ocasionado pela redução na absorção de água. O estresse hídrico também promove o fechamento estomático, limitando a transpiração, interferindo na fotossíntese e, por conseguinte na produção de fotoassimilados (Peloso et al., 2017). Em condições de altas temperaturas, aliada a baixa disponibilidade de água, as taxas de respiração das plantas aumentam, tornando os processos biológicos e metabólicos instáveis, além de dificultar a absorção de nutrientes devido à diminuição nos processos de translocação (Bárzana e Carvajal, 2020).

Há de se considerar que na última década pesquisas com o uso de elicitores têm sido desenvolvidas com o propósito de amenizar os efeitos de estresses abióticos, como o hídrico e salino (Lima et al., 2016; Cacefo, 2020; Souza et al., 2021). Dentre as substâncias destaca-se a

aplicação foliar de prolina. A prolina é um osmólito que contribui para a manutenção da homeostase osmótica, fornece o gradiente de condução para a absorção de água, manutenção do turgor celular por ajuste osmótico e o metabolismo redox para remover o nível excessivo de espécies reativas de oxigênio (ROS) e restabelecer o equilíbrio redox celular, bem como proteger a maquinaria celular do estresse osmótico e danos oxidativos (Ghosh et al., 2021).

Várias pesquisas têm demonstrado o efeito benéfico da aplicação de prolina em plantas sob condições de estresses abióticos, como observado por Cacefo (2020) em pesquisa com plantas de tabaco que constatou que a aplicação foliar de prolina na concentração de 10 mM reduziu os efeitos negativos do déficit hídrico na atividade fotossintética e proporcionou maior acúmulo de biomassa nos genótipos estudados. Veloso et al. (2018) estudando a morfofisiologia de goiabeira cv. Paluma com água de diferentes concentrações salinas e doses de prolina, observaram que a concentração de prolina de 8 mM atenuou os efeitos negativos da salinidade sobre o número de folhas e a fitomassa seca total das plantas de goiabeira.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar os efeitos da aplicação foliar de prolina como mitigador do estresse hídrico na fisiologia e produção da pinheira no semiárido paraibano.

2.2. Específicos

- Avaliar as trocas gasosas, os pigmentos fotossintéticos, o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar e conteúdo relativo de água das plantas de pinheira em função dos turnos de rega e aplicação exógena de prolina.
- Mensurar a produção da pinha sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina sob condições do semiárido Paraibano.
- Determinar o turno de rega em que a pinheira é mais suscetível e/ou tolerante ao estresse hídrico.
- Identificar se aplicação foliar de prolina é capaz de amenizar o efeito do estresse hídrico na pinheira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da cultura da pinheira

A pinha (*Annona squamosa*) também conhecida como ata ou fruta do conde é uma fruteira de grande importância econômica. Pertencente à família Annonaceae, que é constituída por cerca de 120 gêneros e 2.300 espécies, a pinha é originária das Antilhas, e já se encontra dispersa em quase todos os continentes. No Brasil, estão registrados 29 gêneros e 260 espécies, onde, dentre as espécies de maior importância comercial tanto para o mercado interno, quanto para o mercado internacional, destacam-se a graviola (*Annona muricata* L.), pinha, ata ou frutado-conde (*Annona squamosa* L.), cherimólia (*Annona cherimólia* Mill.) e a atemoia, híbrido de *A. cherimólia* e *A. squamosa* (Lemos, 2014; Braga Sobrinho, 2014).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, os estados que recebem maior ênfase com relação a produção de pinha, são os estados do Nordeste (Bahia, Rio Grande do Norte, Alagoas, Pernambuco e Ceará) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) (IBGE, 2022). Dentre os fatores para melhor desenvolvimento da cultura nessas regiões, destaca-se o clima propício e adequadas práticas culturais (Lemos, 2014).

Annona squamosa é uma frutífera que pode ser propagada por via sexuada (por semente) e por via assexuada (sem semente), possui porte variando de 4 a 6 m, sendo sua copa bastante ramificada. Possui folhas finas de 5 a 17 cm de comprimento e 2 a 6 cm de largura, com um formato oval lanceolada e uma coloração verde brilhosa em ambos os lados, além disso seus ramos são largos e irregulares destacando-se a casca de cor castanho claro (KALIDINDI et al., 2015).

Suas flores contêm três pétalas e três sépalas, sendo suas pétalas amarelo-verdosas por fora e amareladas com uma mancha roxa na base. O fruto é caracterizado por ser sincarpo variando entre forma arredondada, ovoide, esférica ou cordiforme, possuindo coloração esverdeada e apresentando diâmetro de entre 5 e 10 cm. Os carpelos são achatados que envolvem todo o fruto dos quais se originam cada semente. O peso médio dos frutos varia entre 150 a 650 g podendo chegar até 800 g, sendo constituído por cerca de 38,46% de polpa, 56,04% de casca e 5,46% de sementes. A polpa apresenta coloração branca, sabor doce com odor suave e perfumado (Cordeiro, 2000).

De acordo com Souza et al. (2015) a pinha é considerada uma fruteira de boa adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, elevando, portanto, seu valor no

mercado por apresentar altos índices de produtividade em diversas partes do mundo, tornando-se atrativa comercialmente.

A pinheira apesar de adaptar-se bem em zonas quentes ou semiáridas (São José, 2014), quando submetida a condições de estresse hídrico, tende a promover redução no crescimento, e conseqüentemente uma diminuição no desenvolvimento (Peloso et al., 2017)

Nas anonáceas, vários fatores como, nutrição, irrigação, podas e manejo de pragas e doenças recebem destaque para melhor crescimento, produção, desenvolvimento e qualidade dos frutos. Em termos nutricionais o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, boro e zinco, são enfatizados por apresentar um efeito significativo desde o crescimento até a produção da pinheira, onde, sua deficiência ou excesso estão associados a danos nos teores de açúcares, firmeza da massa e rachaduras nos frutos, inviabilizando seu consumo e comercialização (São José et al., 2014).Dentre suas propriedades medicinais, a pinha destaca-se como fonte de vitaminas minerais e fibras, contendo ainda substância anti-neopláica, sendo responsável por destruir células malignas. O extrato das raízes da pinheira auxilia em diversos processos, dentre eles, depressão, doenças da medula, espinha e purgativa (Senthil et al., 2014; Souza et al., 2018).

3.2. Disponibilidade de água em regiões semiáridas

A escassez hídrica em regiões semiáridas é advinda da irregularidade das chuvas e alta taxa de evaporação devido as altas temperaturas nessas regiões (Cabral et al., 2019). A seca no semiárido nordestino desencadeia problemas no âmbito econômico que prejudicam o agronegócio diretamente, refletindo no desenvolvimento das culturas e conseqüentemente na produção (Maciel et al.,2021).

Ao analisar dados da FAO, Rojas (2020) considerou que cerca de 80% das perdas relacionadas a produção agrícola estão ligadas a desastres naturais advindos da escassez de água, considerando ainda que este valor pode aumentar nas próximas décadas devido a alta demanda na produção de alimento.

O nordeste brasileiro ocupa mais de 1,5 mi km² do território nacional sendo a região semiárida ocupada por cerca de 841.260,9 km² correspondente a 57,53% de sua área total (SUDENE, 2015). Nessa região as precipitações médias anuais não passam de 800 mm, onde, levando em consideração a elevada taxa evaporativa juntamente com a baixa disponibilidade de água, ocasiona déficit hídrico severo, causando prejuízos aos agricultores (Santos et al., 2017).

Mediante os problemas advindos da escassez hídrica, os reservatórios de água constituem uma das principais fontes de água na região semiárida, sendo esses de fontes superficiais ou subterrâneas, encontrados em barragens e poços de pequeno e médio porte, que por conseguinte atendem à demanda para os diferentes usos (Lima et al., 2020). Entretanto, alguns problemas como o baixo nível desses reservatórios afeta as captações para a irrigação, sendo essas reduzidas, adaptadas ou até mesmo interrompidas, influenciando a atividade e a economia local (Gondim et al., 2017).

Ainda nesse cenário, Gondim et al (2017), relataram que dos 533 reservatórios dispostos na região do nordeste brasileiro, 312 encontravam-se com capacidade inferior a 30%, sendo mais evidente essa redução nos estados do Ceará, da Paraíba, de Pernambuco e do Rio Grande do Norte.

Levando em consideração a baixa disponibilidade de água na região nordeste, faz-se necessário o manejo correto da irrigação, onde, em quantidade adequada e associada a outras técnicas de cultivo promove melhorias na produção além de alta qualidade do produto final (Marouelli et al., 2011). O turno de rega é uma estratégia de irrigação, podendo ser variável, onde a irrigação vai depender da capacidade de água armazenada no solo, ou fixo, onde a lâmina é variável e deve-se atentar a evapotranspiração da cultura (Salomão et al., 2014).

3.3. Efeitos do estresse hídrico nas plantas

O estresse hídrico é um dos principais entraves para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Devido as condições desfavoráveis ocasionadas pela falta de água, as plantas passam por alterações nos processos fisiológicos e morfológicos (Sun et al., 2020). Assim, os efeitos do estresse se expressam desde o crescimento, até a queda da produção e qualidade dos frutos (Wu et al., 2021; Deka et al., 2018). Todavia, esses efeitos são expressos de diferentes maneiras, a depender do genótipo, da intensidade, da duração e do estágio de desenvolvimento da planta (Deka et al., 2018).

Dentre os processos afetados pelo déficit, destacam-se a inibição do processo fotoquímico da fotossíntese, o transporte e absorção de nutrientes, regulação da abertura e fechamento estomático (Campos, et al., 2021; Gambetta et al., 2020). Alguns estudos enfatizam que a falta de água potencializa a pressão osmótica do solo contribuindo para o fechamento estomático, interferindo diretamente no fluxo transpiratório das plantas (García-Castro et al., 2017; Lozano-Montaña et al., 2021).

Além disso, o menor influxo de CO₂ para dentro dos cloroplastos devido a redução na atividade fotossintética, ocasionada pela deficiência hídrica (Peloso et al., 2017), ocasiona a fotoinibição e aumento de espécies reativas de oxigênio, como peróxido de hidrogênio (H₂O₂), radicais superóxido (O₂⁻), hidroxila (OH⁻) e oxigênio singlete (¹O₂), que comprometem o funcionamento das membranas dos tilacóides e conseqüentemente o aparato fotossintético da planta (Taiz & Zeiger, 2017).

Pesquisas tem demonstrado que o efeito do estresse hídrico em algumas culturas, proporciona perdas na biomassa das folhas, caule e raiz (Figueiredo et al., 2019), e perda da qualidade dos frutos em macieira (Reid & Kalcsits, 2020), e videira (Zombardo et al., 2020) e diminuição no crescimento vegetativo inicial de maracujazeiro em condições de déficit hídrico controlado (Souza et al., 2018).

3.4. Prolina como elicitador do estresse hídrico

A prolina é um aminoácido proteinogênico que esta envolvida em ajustes no potencial osmótico em diversas plantas submetidas a condições de estresse, além de funcionar como chaperona molecular, preservando a integridade das proteínas, mantendo a integridade da membrana e atuando como molécula antioxidante (Bekka et al., 2018). É o soluto compatível no citosol que age na proteção de enzimas citossólicas quando a concentração de íons aumenta. (Lima et al., 2016).

Em busca de minimizar os efeitos ocasionados pelo déficit hídrico, as plantas promovem o acúmulo de osmólitos compatíveis em nível de citoplasma celular, visando manter o potencial hídrico e a turgescência celular (Taiz et al., 2017; Lima et al., 2016). Dentre esses osmóticos destaca-se a prolina, um aminoácido que além de atuar como soluto compatível, tem ação antioxidante, reduz o efeito das espécies reativas de oxigênio (EROS) (Ghosh et al., 2021), e promove a remoção de moléculas como o radical hidroxila (OH) e o oxigênio singlete (¹O₂) (Lee et al., 2019; Rejeb et al., 2014).

A prolina é um osmorregulador vital nas plantas, sendo distribuída por transporte de longa distância ao longo dos feixes vasculares e localmente é transportada através da membrana plasmática ou dos plasmodesmas (Per et al., 2017). Trata-se de um dos osmoprotetores mais eficientes em relação a atenuação de estresses, a prolina pode induzir a estabilidade de proteínas, além de promover a conservação da integridade da membrana através da ligação a pontes de hidrogênio (Hosseinifard et al., 2022; Hossain et al., 2019).

Estudos utilizando a aplicação foliar de prolina tem sido desenvolvido em busca de mitigar os efeitos deletérios ocasionados por estresses. Neste contexto, Souza et al. (2021), estudando os índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina, observaram que, a aplicação de prolina na concentração de 7,4 mM promoveu maior alocação de fitomassa seca de caule nos porta-enxertos de cajueiro irrigados com água salina.

Cacefo (2020), também observou efeitos positivos da utilização de prolina, com diminuição dos efeitos negativos ocasionados pelo estresse hídrico na atividade fotossintética, além de promover maior acúmulo de biomassa nos diferentes genótipos estudados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro a novembro de 2021 sob condições campo na Fazenda Experimental ‘Rolando Enrique Rivas Castellón’, pertencente ao Centro de Ciências Tecnologia Agroalimentar - CCTA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado no município de São Domingos, Paraíba, PB, situado pelas coordenadas: 06°48’50” de latitude (S) e 37°56’31” de longitude (W), a uma altitude de 190 m. Possui precipitação média anual de 700 mm. Os dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa e precipitação durante o período de condução do experimento estão dispostos na Figura 1.

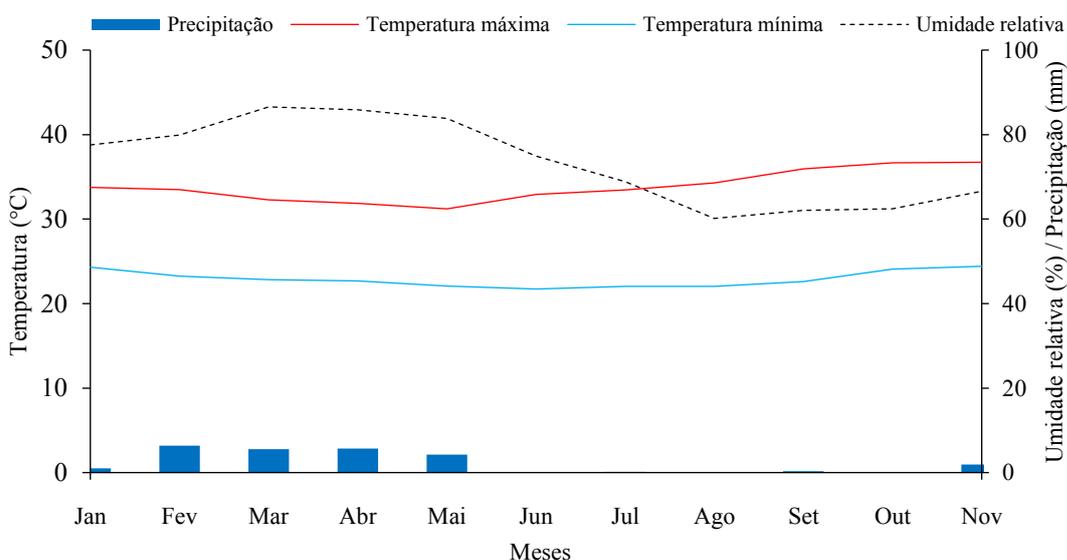


Figura 1. Dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar e precipitação durante o período de condução do experimento.

4.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de quatro turnos de rega – TUR (1, 4, 8 e 12 dias) e duas concentrações de prolina - PRO (0 e 10 mM), distribuídos em blocos ao acaso, arranjos no esquema fatorial 4×2 , com quatro repetições, cuja a parcela foi constituída de quatro plantas úteis, totalizando 128 unidades experimentais. As concentrações de prolina foram estabelecidas baseando-se em estudo desenvolvido por Lima et al. (2016).

4.3. Formação de mudas

As mudas foram produzidas na fazenda experimental ‘Rolando Enrique Rivas Castellón’, em casa de vegetação. A semeadura foi realizada em sacolas plásticas com dimensões de 15×20 cm, preenchidas com uma mistura de 84:15:1 (em base volume) de solo, areia e esterco bovino curtido, respectivamente.

O solo foi autoclavado visando à eliminação dos principais microrganismos capazes de proporcionar doenças nas plantas. Para obtenção das mudas foram semeadas duas sementes por sacolas. Após emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas a planta, mais vigorosa, quando estas obtiveram 10 cm de altura. As mudas foram irrigadas diariamente de forma manual com água de abastecimento da cidade de São Domingos – PB.

4.4. Condução experimental

Antes do transplântio das mudas, foi realizado o preparo do solo com aração seguida de gradagem, visando o destronamento e nivelamento da área. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 30 cm, cujas características físicas e químicas (Tabela 1) do solo foram determinadas de acordo com metodologia de Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.

| pH H ₂ O) (1:2,5) | MO (g kg ⁻¹) | P (mg kg ⁻¹) | Características químicas | | | | | |
|---|--|---|-----------------------------------|---|------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H ⁺ |
| 6,67 | 15,60 | 72,30 | 0,17 | 0,10 | 4,37 | 3,70 | 0,48 | 0,04 |
|Características químicas..... | | |Características físicas..... | | | | | |
| CE _{es} (dS m ⁻¹) | CTC (cmol _c kg ⁻¹) | RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5} | PST (%) | Fração granulométrica (g kg ⁻¹) | | | Umidade (dag kg ⁻¹) | |
| 0,46 | 8,86 | 0,73 | 1,13 | Areia | Silte | Argila | 33,42 kPa ¹ | 1519,5 kPa ² |
| | | | | 758,80 | 197,80 | 43,40 | 13,27 | 4,98 |

pH – Potencial hidrogeniônico, MO – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca^{2+} e Mg^{2+} extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na^+ e K^+ extraídos utilizando-se NH_4OAc 1 M pH 7,0; $\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$ extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC - Capacidade de troca catiônica; RAS - Relação de adsorção de sódio do extrato de saturação; PST - Percentagem de sódio trocável; ^{1,2} referindo o teor de umidade no solo correspondente a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Após o preparo do solo, foi feita a demarcação da área e a abertura das covas manualmente, com auxílio de uma cavadeira, com espaçamento de 3 m entre fileiras e 3 m entre plantas. As covas foram de tamanho $40 \times 40 \times 40$ cm. Após a abertura das covas (Figura 2B), realizou-se a adubação com 10 L de esterco bovino e 40, 60 e 60 g planta⁻¹ de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, conforme recomendação de Silva e Silva (1997). Em seguida foi realizada a montagem do sistema de irrigação.



Figura 2. Preparo do solo com aração seguida de gradagem da área experimental (A); abertura das covas com incorporação de esterco e adubação de fundação (B).

O transplântio foi realizado quando as plantas estavam com a copa em formação (Figura 3A e 3C). Também foram conduzidas plantas de bordadura nas quatro extremidades da área, com a finalidade de uma barreira protetora contra influência externa nos tratamentos.



Figura 3. Mudanças aptas ao transplante (A); abertura das covas (B); e transplante das mudas na área experimental (C).

4.5. Preparo e aplicação das concentrações de prolina

Para a concentração de prolina a 10 mM foi feita a diluição de 1,1376 g/L desse aminoácido em água destilada, sendo aplicada de forma exógena, pulverizando as faces abaxial e adaxial das folhas, de modo a se obter o molhamento completo do limbo foliar, utilizando um pulverizador costal, com um volume de calda médio de 400 mL por planta. A aplicação foi feita quinzenalmente, às 17:00 horas. Para a quebra da tensão superficial da água utilizou-se o produto Haiten® que se trata de um espalhante adesivo não iônico com o intuito de obter-se melhores resultados nas pulverizações. Além disso, utilizou-se lona plástica com o intuito de evitar a deriva para que os demais tratamentos não fossem afetados.



Figura 4. Demonstração das aplicações exógenas de prolina com a utilização de lona e pulverizador costal.

4.6. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi de irrigação localizada por gotejamento, com tubos de PVC de 32 mm na linha principal e tubos de polietileno de baixa densidade, de 16 mm nas linhas laterais com gotejadores de vazão 10 L h⁻¹. Em cada planta foram instalados, dois gotejadores autocompensantes (modelo GA 10 Grapa), cada um a 15 cm do caule. As plantas foram irrigadas diariamente, pela manhã, com fornecimento de água, conforme turno de rega adotado, sendo a evapotranspiração de referência estimada com base no método de Hargreaves-Samani (1982) e Bernardo et al. (2013), obtida pela Eq. 1:

$$ET_o = 0,0023 \times Q_o \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8) \quad (1)$$

Em que:

ET_o - evapotranspiração de referência, mm d⁻¹; e

T_{max} – Temperatura máxima do ar (°C);

T_{min} – Temperatura mínima do ar (°C);

T_{med} – Temperatura média do ar (°C);

Q_o – Irradiância solar extraterrestre (mm dia⁻¹) de evaporação equivalente;

A partir dos dados de ET_o e K_c determinou-se a ET_c de acordo com Bernardo et al. (2013), utilizando-se a Eq. 2:

$$ET_c = ET_o \times K_c \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

ET_c – Evapotranspiração da cultura, mm d⁻¹; e

ET_o – evapotranspiração de referência, mm d⁻¹; e

K_c – Coeficiente de cultura, adimensional.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada diariamente a partir de dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de São Gonçalo, localizada no município de Sousa - PB, sendo os dados utilizados para determinação a ET_o pelo método de Penman-Monteith.

4.7. Variáveis analisadas

4.7.1. Parâmetros fisiológicos

Aos 298 dias após transplântio (DAT) foram avaliadas as trocas gasosas, os teores de pigmentos fotossintéticos, o extravasamento de eletrólitos e conteúdo relativo de água no limbo foliar.

a) Trocas gasosas

As trocas gasosas foram mensuradas através da taxa de assimilação de CO_2 - A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração - E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática - g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 - C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com o auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda. A partir desses dados, foram quantificadas a eficiência instantânea no uso da água - EUA (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação - A/C_i [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. As leituras foram realizadas entre 6.30:00 e 10:00 horas da manhã, na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical sob condições naturais de temperatura do ar, concentração de CO_2 e utilizando uma fonte artificial de radiação estabelecida através da curva de resposta fotossintética à luz obtendo-se o ponto de saturação fotossintética por luz (Fernandes et al., 2021).



Figura 5. Avaliação das trocas gasosas nas plantas de pinheira utilizando analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), aos 298 DAT.

b) Teores de clorofila e carotenoides

Os teores de clorofila e carotenoides foram determinados utilizando-se a metodologia de Arnon (1949), onde a extração da clorofila foi realizada em recipientes contendo 8 mL de

acetona 80% e um disco foliar com peso conhecido de área de 2,8 cm² coletado da terceira folha do ápice caulinar, os quais foram mantidos no escuro e em refrigerador durante 48 horas. Os teores de clorofila e carotenoides nas soluções foram determinados por meio de espectrofotômetro nos comprimentos de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663), de acordo com as Eqs. 3, 4, 5 e 6:

$$Cl\ a = (12,21 \times ABS_{663}) - (2,81 \times ABS_{646}) \dots \dots \dots (3)$$

$$Cl\ b = (20,13 \times ABS_{646}) - (5,03 \times ABS_{663}) \dots \dots \dots (4)$$

$$Cl\ T = (7,15 \times ABS_{663}) + (18,71 \times ABS_{646}) \dots \dots \dots (5)$$

$$Car = ((1000 \times ABS_{470}) - (1,82 \times Chl\ a) - (85,02 \times Chl\ b)) / 198 \dots \dots \dots (6)$$

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides nas folhas foram expressos em mg g⁻¹ de matéria fresca.



Figura 6. Avaliação dos teores de clorofila e carotenoides com utilizando-se um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de absorvância (ABS) (470, 647 e 663).

c) Extravasamento de eletrólitos

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi obtido de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), para tanto, foram coletados na 3ª folha do ápice caulinar 10 discos foliares de 113 mm² de área, os quais foram acondicionados em beckers, com 50 mL de água bidestilada e fechados hermeticamente com papel alumínio. Os beckers foram mantidos à temperatura de 25°C, por 24 horas, onde foi procedida a condutividade elétrica inicial (Ci). Posteriormente, os beckers 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 (Cf), sendo obtido assim o percentual de extravasamento de eletrólitos conforme Eq. 7:

$$\%EE = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

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).



Figura 7. Avaliação de extravasamento de eletrólitos das folhas de pinheira, aos 298 DAT.

d) Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Weatherley (1950), onde para obtenção da fitomassa fresca, foram retirados discos da 3^a folha do ápice caulinar e, imediatamente, pesados em balança com precisão de 0,001 g; para determinação do peso dos discos túrgido (PT), estes foram imersos em água destilada, durante 24 horas, após serem enxugados, pesados e os valor referente ao peso anotado; o peso da matéria seca foi obtido por secagem desses discos em estufa. Na determinação do conteúdo relativo de água utilizou-se a Eq. 8:

$$CRA(\%) = \frac{(PF-PS)}{(PT-PS)} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

Em que:

CRA = Conteúdo relativo de água (%);

PF, PS e PT representam respectivamente, o peso da matéria fresca, o peso da matéria seca e o peso das folhas túrgidas.

4.7.2. Componentes de produção

A colheita foi realizada no período de maio a junho de 2022, utilizando-se critérios morfofisiológicos como ponto ideal de colheita, como o afastamento dos carpelos (Pereira et al., 2010). A massa fresca dos frutos (g/planta) foi obtida através da pesagem de todos os frutos, obtendo-se uma média de acordo com os tratamentos utilizados. O número de frutos por planta foi determinado pela contagem de todos os frutos obtidos por planta.



Figura 8. Frutos em ponto de colheita (A); frutos após colheita para serem pesados e contados de acordo com determinados tratamentos (B).

4.8. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F. Nos casos de significância, foi realizada análise de regressão polinomial ($p \leq 0,05$) para os turnos de rega e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para as concentrações de prolina, utilizando-se do software estatístico SISVAR – ESAL versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores (TUR \times PRO) para concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação de CO₂ (A) das plantas de pinheira, aos 298 dias após o transplântio (DAT) (Tabela 2). Os turnos de rega afetaram significativamente todas variáveis mensuradas. As concentrações

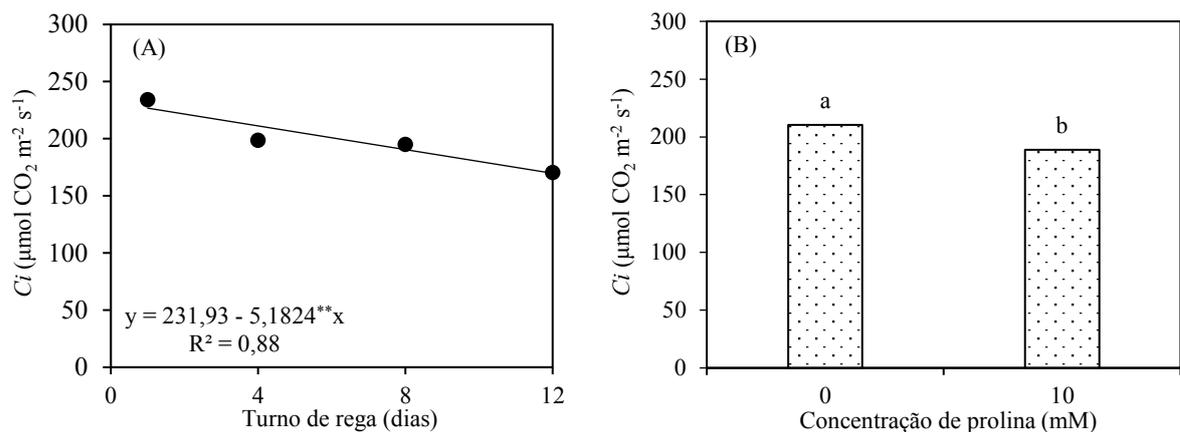
de prolina influenciaram de forma significativa apenas a concentração intercelular de CO₂ (*Ci*) e a condutância estomática (*gs*) das plantas de pinheira.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para concentração intercelular de CO₂ (*Ci*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) e taxa de assimilação de CO₂ (*A*) das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplântio.

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|-----------------------|----|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | <i>Ci</i> | <i>E</i> | <i>G_s</i> | <i>A</i> |
| Turnos de rega (TUR) | 3 | 5546,4843** | 0,6537* | 0,0229** | 61,9010** |
| Regressão Linear | 1 | 15287,9045** | 1,9096** | 0,0555** | 149,7690** |
| Regressão Quadrática | 1 | 242,0550 ^{ns} | 0,0276 ^{ns} | 0,0128** | 26,7180* |
| Prolina (PRO) | 1 | 3669,4602* | 0,0612 ^{ns} | 0,0050* | 3,8920 ^{ns} |
| Interação (TUR × PRO) | 3 | 313,8726 ^{ns} | 0,1706 ^{ns} | 0,0003 ^{ns} | 4,0788 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 397,3831 ^{ns} | 0,2575 ^{ns} | 0,0025* | 2,3342 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | 509,6595 | 0,1509 | 0,0009 | 3,7831 |
| CV (%) | | 11,31 | 12,96 | 12,92 | 10,36 |

GL- grau de liberdade; CV (%) - coeficiente de variação; *significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Os turnos de rega promoveram decréscimo linear na concentração intercelular de CO₂ das plantas de pinheira (Figura 9A), com redução de 8,93% por incremento de 4 dias no turno de rega. Ao comparar a *Ci* das plantas submetidas ao turno de rega de 12 dias em relação as cultivadas com irrigação diária, verifica-se declínio de 25,14% (57,00 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). A diminuição na concentração interna de CO₂ é um reflexo da diminuição no potencial total de água no solo que induz o fechamento estomático e por conseguinte reduz a entrada de CO₂ na câmara subestomática. O decréscimo na concentração intercelular de CO₂ também pode acarretar declínio na fotossíntese, redução na eficiência de carboxilação e atividade da RuBisCO e de outras enzimas, comprometendo a capacidade fotossintética e desenvolvimento da planta (França et al., 2017; Resende et al., 2019).

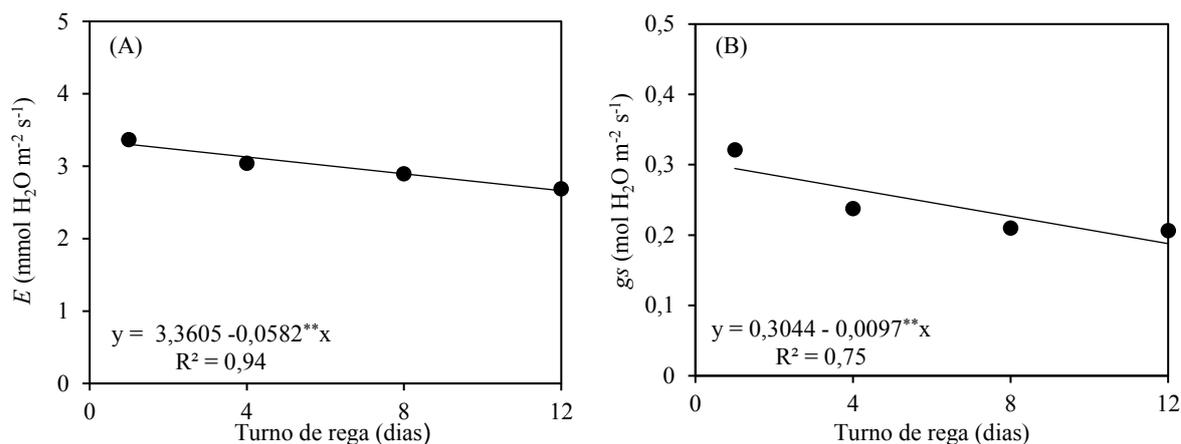


Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 9. Concentração intercelular de CO₂ – *C_i* das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega (A) e das concentrações de prolina (B) das plantas de pinheira, aos 298 dias após o transplantio.

A aplicação foliar de prolina na concentração de 10 mM proporcionou diminuição significativa a concentração intercelular de CO₂ em relação às plantas submetidas a 0 mM L⁻¹ (Figura 9B). Consta-se que a aplicação foliar de 10 mM resultou em redução de 21,42 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ em comparação as cultivadas com 0 mM de prolina. A redução na concentração intercelular de CO₂ com a aplicação de prolina pode ter sido decorrente do acúmulo excessivo desse aminoácido na planta, pois em altas concentrações nos tecidos vegetais, juntamente com seu fornecimento de forma exógena, pode causar efeitos tóxicos, fato que se confirma com o dano da membrana celular (Figura 12B), observado neste trabalho (Lima et al., 2016).

O aumento nos turnos de rega proporcionou diminuição linear na transpiração das pinheiras (Figura 10A), cujos decréscimos foram de 6,42% por incremento de 4 dias no turno de rega. Comparando-se em termos relativos à transpiração das plantas submetidas ao turno de rega de 12 dias em relação as que receberam irrigação diária, verifica-se declínio de 0,64 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. A redução na transpiração estar relacionada ao fechamento estomático que ocorre devido a restrição na disponibilidade de água no solo, reduzindo, por conseguinte a taxa de assimilação de CO₂ (Jacinto Júnior et al., 2019). Quando submetida a condições de déficit a planta busca aumentar a eficiência no uso da água disponível, induzindo o fechamento estomático e evitando perdas por transpiração (Kapoor et al., 2020).

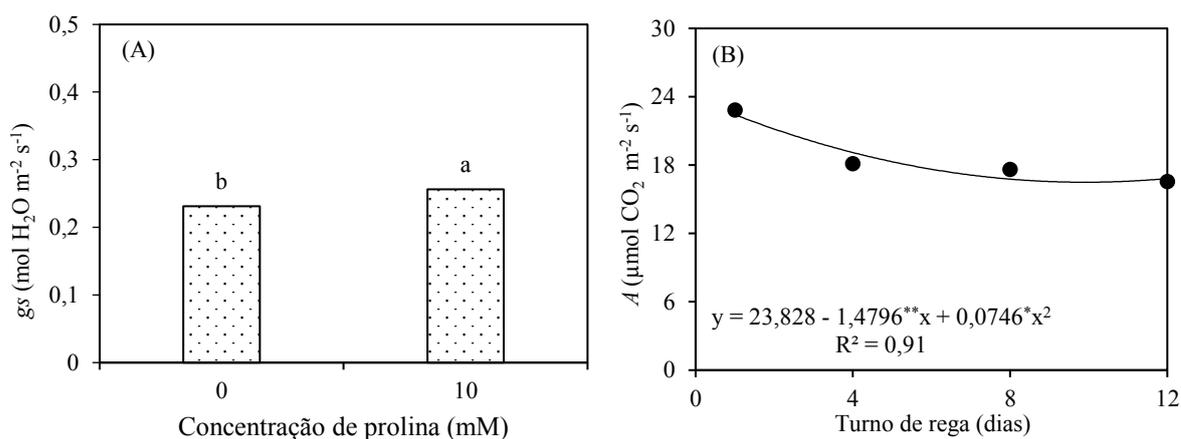


ns, *, **, Não significativo, $p > 0,05$, Significativo em $p \leq 0,05$ e $0,01$, respectivamente, pelo teste F.

Figura 10. Transpiração – E (A) e condutância estomática - g_s (B) das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplante.

A condutância estomática (g_s) também foi influenciada pelos turnos de rega (Figura 10B), com decréscimo linear de 12,07% por incremento no turno de rega de 4 dias. Ao comparar em termos relativos, verifica-se que houve redução de 36,20% na condutância estomática das plantas cultivadas sob o turno de rega de 12 dias em relação as submetidas a irrigação diária. O fechamento dos estômatos é um dos fatores que contribuem para redução da taxa fotossintética da planta, devido a interrupção no fluxo de CO_2 para os sítios de carboxilação que influenciaram diretamente na assimilação de CO_2 . Os níveis de condutância estomática tendem a diminuir se o processo que regula a abertura e o fechamento estomáticos em decorrência da restrição na absorção de água no solo (Bosco et al., 2009). Silva et al. (2020) em estudo avaliando os efeitos de lâminas de irrigação em pinheira (60, 80, 100, 120 e 140% da evapotranspiração real), verificaram que o valor de máximo de g_s ($0,17 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) foi obtido sob a lâmina de irrigação de 114,8% da E_{Tr} , e a partir desta ocorreu decréscimos na condutância estomática.

Com relação aos efeitos da aplicação foliar de prolina sobre a condutância estomática (Figura 11A), verifica-se que as plantas submetidas a concentração de 10 mM diferiram de forma significativa das que receberam 0 mM. Ao comparar a g_s das plantas submetidas a concentração de 10 mM em relação ao tratamento controle (0 mM), verifica-se incremento de 9,75%. O aumento na condutância estomática com aplicação exógena de prolina pode estar associado ao efeito benéfico da prolina na proteção das estruturas do cloroplasto (principalmente no fotossistema II) e do aparato fotossintético (Silva et al., 2020).



Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). *, ** Significativo em $p \leq 0,05$ e $0,01$ pelo teste F.

Figura 11. Condutância estomática – g_s (A) das plantas de pinheira, em função das concentrações de prolina e taxa de assimilação de CO_2 – A (B), em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplantio.

A taxa de assimilação de CO_2 das plantas de pinheira decresceu de forma quadrática com o incremento nos turnos de rega (Figura 11B), obtendo-se o valor máximo estimado de $22,42 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob turno de rega de 1 dia. Por outro lado, a irrigação com turno de rega de 12 dias resultou no valor mínimo estimado de $16,82 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com decréscimo de $5,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, quando comparado ao maior valor encontrado. A redução na taxa de assimilação de CO_2 está relacionado com a diminuição do potencial de água no solo, que em condições de restrição hídrica, o seu potencial osmótico torna-se mais negativo, ocasionando redução da g_s para evitar a perda excessiva de água para a atmosfera e, conseqüentemente, a C_i e A também reduzem (Oliveira et al., 2018).

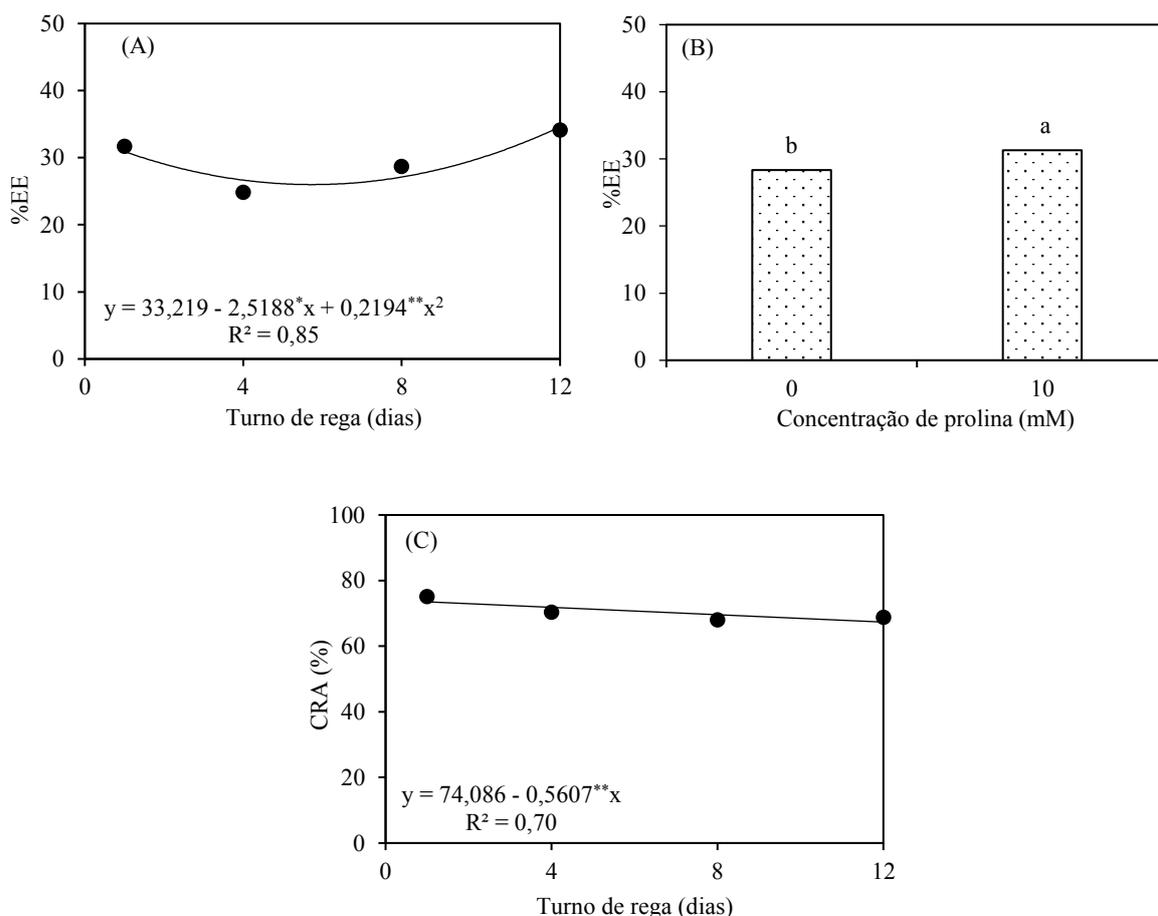
Houve efeito significativo dos turnos de rega sobre o extravasamento de eletrólitos (%EE) e conteúdo relativo de água (CRA) no limbo foliar das plantas de pinheira, aos 298 DAT (Tabela 3). A aplicação exógena de prolina influenciou significativamente apenas o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de pinheira. Já a interação entre os fatores (TUR \times PRO) não afetou de forma significativa nenhuma das variáveis avaliadas.

Tabela 3. Resumo de análise de variância para à eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$), eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$), extravasamento de eletrólitos (%EE) e conteúdo relativo de água (%CRA) no limbo foliar das plantas de pinheira, cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplantio.

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|-----------------------|----|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | <i>EiUA</i> | <i>EiCi</i> | %EE | %CRA |
| Turnos de rega (TUR) | 3 | 0,7895 ^{ns} | 0,0001 ^{ns} | 128,2927 ^{**} | 82,7886 ^{**} |
| Regressão linear | 1 | 1,0023 ^{ns} | 0,000023 ^{ns} | 49,1708 [*] | 186,0347 ^{**} |
| Regressão quadrática | 1 | 1,0907 ^{ns} | 0,0004 ^{ns} | 301,2285 ^{**} | 62,0080 [*] |
| Prolina (PRO) | 1 | 0,0367 ^{ns} | 0,0004 ^{ns} | 69,2487 [*] | 18,4118 ^{ns} |
| Interação (TUR × PRO) | 3 | 0,7952 ^{ns} | 0,0001 ^{ns} | 16,3151 ^{ns} | 9,4041 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 1,8658 ^{ns} | 0,0001 ^{ns} | 17,4132 ^{ns} | 3,0382 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | 1,3006 | 0,0003 | 12,9178 | 8,2402 |
| CV (%) | | 17,93 | 18,76 | 12,05 | 4,07 |

GL - Grau de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

De acordo com a Figura 12A, os dados de extravasamento de eletrólitos (%EE) no limbo foliar de pinheira, ajustou-se ao modelo quadrático, onde os turnos de rega de 4 e 8 dias resultaram em valores máximos de 24,80 e 28,69%, respectivamente, que comparado ao maior valor estimado (34,58%) em plantas irrigadas com frequência de 12 dias, observa-se decréscimos de 9,78 e 5,89, para os turnos de rega de 4 e 8 dias, respectivamente. Provavelmente, um maior período sem o fornecimento de água para as plantas de pinheira, ocasionou a formação de espécies reativas de oxigênio como peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e oxigênio singlete (¹O²), que geralmente, são produzidas em maior quantidade quando as plantas se encontram em condições de estresse, onde estas promovem desestabilização da membrana celular, desequilíbrio iônico e danos ao citoplasma, liberando íons, desta forma, quanto maior o conteúdo extravasado da célula, maior é considerado o dano na membrana celular (Cunha et al., 2022). Fernandes et al. (2021) em estudo avaliando o dano celular em pinheira a partir da combinação de dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (1,3 e 4,0 dS m⁻¹) e cinco doses de potássio (K1 - 50%, K2 - 75%, K3 - 100%, K4 - 125% e K5 - 150%), constataram que o aumento das doses de potássio proporcionaram incremento linear no percentual de EE das folhas de pinheira de 5,64% por aumento de 25% nas doses de K₂O.



Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); *, ** Significativo em $p \leq 0,05$ e $0,01$ pelo teste F.

Figura 12. Extravasamento de eletrólitos - %EE (A) no limbo foliar das plantas de pinheira, em função dos turnos de rega e das concentrações de prolina (B) e conteúdo relativo de água (C) em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplântio.

A aplicação foliar de prolina também afetou significativamente o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar das plantas de pinheira. Verifica-se que as plantas submetidas a concentração de 10 mM obtiveram um extravasamento de eletrólitos superior estatisticamente em relação as que receberam 0 mM (Figura 12B), sendo o aumento de 2,95%. O excesso de prolina acumulado nas células podem causar toxidez e desbalanço nos processos bioquímicos, com reflexos no dano celular, pela desestruturação da membrana. De acordo com Ferreira et al.(2021), o maior valor de extravasamento de eletrólitos no limbo foliar obtido em pinheira foi de 18,19% quando foram cultivadas sob condutividade elétrica da água de irrigação de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e o menor valor estimado nas irrigadas com água de menor salinidade ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$), sendo alcançado um %EE de 14,82%.

O conteúdo relativo de água no limbo foliar das plantas de pinheira decresceu 13,21% em função do incremento de 4 dias nos turnos de rega (Figura 12C), sendo o valor máximo estimado para CRA de 75,09% verificado nas plantas cultivadas com turno de rega de 1 dia. Este é um indicativo de estresse hídrico causado pelo aumento dos turnos de rega, de 4, 8 e 12 dias não foi suficiente para as plantas se aclimatarem e manterem o equilíbrio na CRA, pois a baixa disponibilidade hídrica influenciou negativamente para que a planta não realizasse homeostase osmótica, devido as condições de estresse.

O estresse hídrico pode causar a redução do potencial hídrico e desidratação celular, além de diminuir as atividades metabólicas e induzir o fechamento estomático (Taiz et al., 2017). Pelos dados de condutância estomática (Figura 10B), observa-se que no alto nível de estresse, as plantas tendem fechar os estômatos para evitar a perda excessiva de água por transpiração e por conseguinte também há redução no conteúdo de água na planta.

Houve efeito significativo da interação entre os fatores (TUR × PRO) para os teores de clorofila *b* (*Cl b*) das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina (Tabela 3). A aplicação foliar de prolina afetou significativamente todas as variáveis analisadas das plantas de pinheira aos 298 DAT.

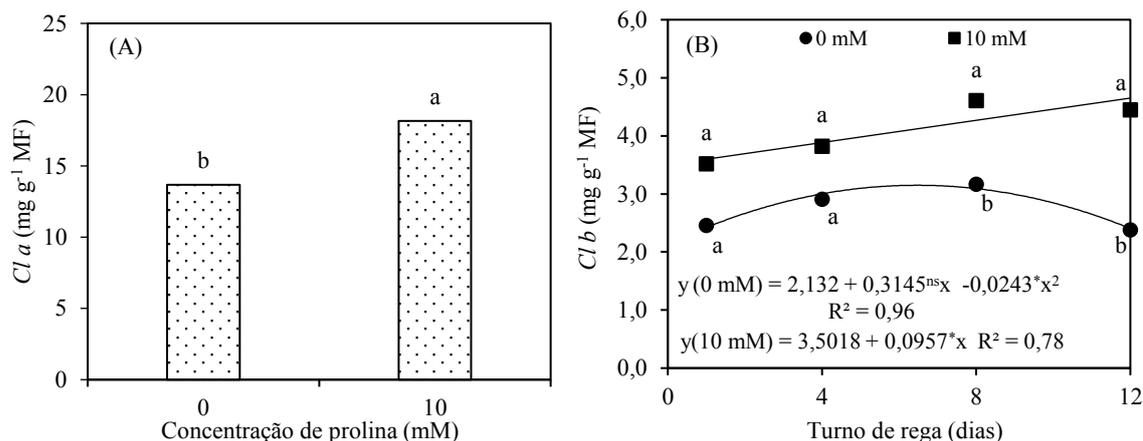
Tabela 4. Resumo da análise de variância para os teores de clorofila *a* (*Cl a*), *b* (*Cl b*), total (*Cl T*) e carotenoides (*Car*) das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina, aos 298 dias após o transplantio.

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | | | |
|-----------------------|----|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | <i>Cl a</i> | <i>Cl b</i> | <i>Cl T</i> | <i>Car</i> |
| Turnos de rega (TUR) | 3 | 11,1032 ^{ns} | 1,0794 ^{ns} | 13,7942 ^{ns} | 0,9692 ^{ns} |
| Regressão linear | 1 | 17,7209 ^{ns} | 1,2757 ^{ns} | 38,8809 ^{ns} | 1,6656 ^{ns} |
| Regressão quadrática | 1 | 11,1344 ^{ns} | 1,4403 ^{ns} | 1,1141 ^{ns} | 0,0734 ^{ns} |
| Prolina (PRO) | 1 | 160,4825 ^{**} | 6,7243 [*] | 106,7589 [*] | 11,1002 ^{**} |
| Interação (TUR × PRO) | 3 | 19,2057 ^{ns} | 3,3004 [*] | 50,9889 ^{ns} | 1,4996 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 6,4881 ^{ns} | 0,3257 ^{ns} | 2,5162 ^{ns} | 0,6843 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | 9,0141 | 0,9428 | 14,5424 | 1,1281 |
| CV (%) | - | 18,87 | 28,39 | 19,00 | 18,26 |

GL - Grau de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; *significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Os teores de clorofila *a* das plantas submetidas à aplicação de 10 mM foram superiores estatisticamente em relação as cultivadas sob a concentração de 0 mM (Figura 13A). Comparando-se em termos relativos, verifica-se um incremento de 4,47 mg g⁻¹ MF entre as plantas cultivadas com 0 e 10 mM. Este é um indicativo que a aplicação exógena de prolina

pode beneficiar a capacidade fotossintética das plantas, provavelmente pelo fato de estar intimamente ligada ao acréscimo na síntese de ácido aminolevulinico, molécula precursora da síntese de clorofilas (Merwad et al., 2018). De acordo com estes autores, a aplicação foliar de prolina com 6 mM em feijão-caupi promoveu aumento nos teores de clorofila e carotenoides, além de proporcionar maior crescimento e rendimento das plantas sob condições de deficiência hídrica.

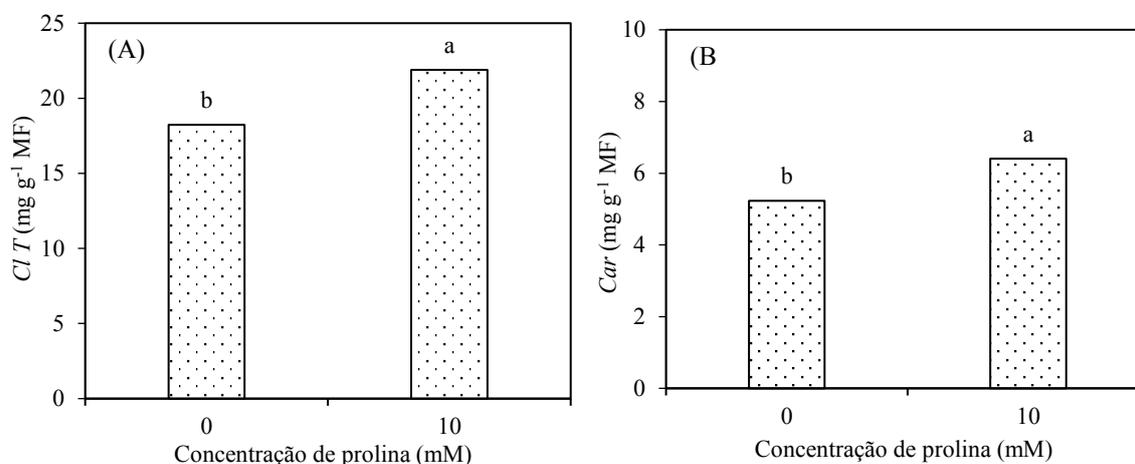


Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); ^{ns}, * Não significativo, significativo em $p > 0,05$ e $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Figura 13. Teores de clorofila *a* das plantas de pinheira sob aplicação foliar de prolina (A) e teores de clorofila *b* (B), em função dos turnos de rega, aos 298 dias após o transplantio.

O teor de clorofila *b* foi influenciado significativamente pela interação entre os turnos de rega e aplicação foliar de prolina (Figura 13B). As plantas submetidas a aplicação foliar de prolina na concentração de 0 mM obtiveram o valor máximo estimado de 3,09 mg g⁻¹ MF para Cl *b* sob o turno de rega de 8 dias. Por outro lado, a aplicação de prolina na concentração de 10 mM proporcionou incremento linear, de 10,93% por aumento de 4 dias no turno de rega. Ao comparar os teores de Cl *b* das plantas submetidas a aplicação foliar de prolina (10 mM) sob turno de rega de 12 dias em relação as cultivadas sob 1 dia, constata-se incremento de 1,05 mg g⁻¹ MF. No desdobramento das concentrações de prolina em cada turno de rega, percebe-se que a aplicação foliar de prolina na concentração de 10 mM resultou em teores de clorofila *b* superior estatisticamente ao das que receberam 0 mM nos turnos de rega de 8 e 12 dias. O papel da prolina na mitigação dos efeitos deletérios do estresse hídrico sobre os teores de clorofila *b* pode estar relacionado com sua função fisiológica no ajustamento osmótico, favorecendo maior absorção de água e nutrientes da solução do solo, além de participar como constituinte de

diversas proteínas de estruturação e necessárias na síntese e ativação da clorofila (Monteiro et al., 2014).



Médias seguidas por letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 14. Teores de clorofila total (A) e carotenoides (B) das plantas de pinheira cultivadas sob diferentes concentrações de prolina, aos 298 dias após o transplantio.

Para os teores de clorofila total (Figura 14A), verifica-se que as plantas sob aplicação foliar de prolina na concentração de 10 mM diferiram estatisticamente das que receberam 0 mM. Nota-se aumento de 16,68% nos teores de clorofila total das plantas que receberam 10 mM em comparação as cultivadas sem aplicação foliar de prolina (0 mM). O aumento na síntese de clorofila em função da aplicação de prolina podem estar relacionados ao efeito de osmorregulação, que atua no equilíbrio das reações redox em células estressadas. Além disso, pelo fato da prolina ser um soluto compatível no citosol que contribui para o equilíbrio osmótico intracelular, protegendo enzimas citossólicas quando a concentração de íons aumenta, mantendo assim o potencial hídrico e a turgescência das células (Per et. al., 2017; Lima et al., 2016).

Com relação aos teores de carotenoides (Figura 14B), observa-se que as plantas submetidas à aplicação de 10 mM obtiveram um aumento significativo nesta variável, sendo superior estatisticamente em relação as receberam a concentração de 0 mM de prolina. Ao comparar os teores de carotenoides das plantas submetidas a 10 mmol de prolina em relação ao tratamento controle (0 mM), constata-se incremento de 1,18 mg g⁻¹ MF. Os carotenoides são metabolitos que agem como fotoprotetores às plantas, por possuírem atividade antioxidante,

atuando na redução do estresse oxidativo, por meio da aquisição do oxigênio singlete que é produzido nas membranas dos tilacóides pelo fotossistema II, diminuindo danos que são resultantes das ERO's (Barbosa et al., 2014).

Constatou-se efeito significativo da interação entre os fatores (TUR×PRO) para massa fresca dos frutos (MFF), das plantas de pinheira cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina (Tabela 4). Observa-se ainda que os turnos de rega afetaram significativamente apenas o número de frutos (NFRU) das plantas de pinheira.

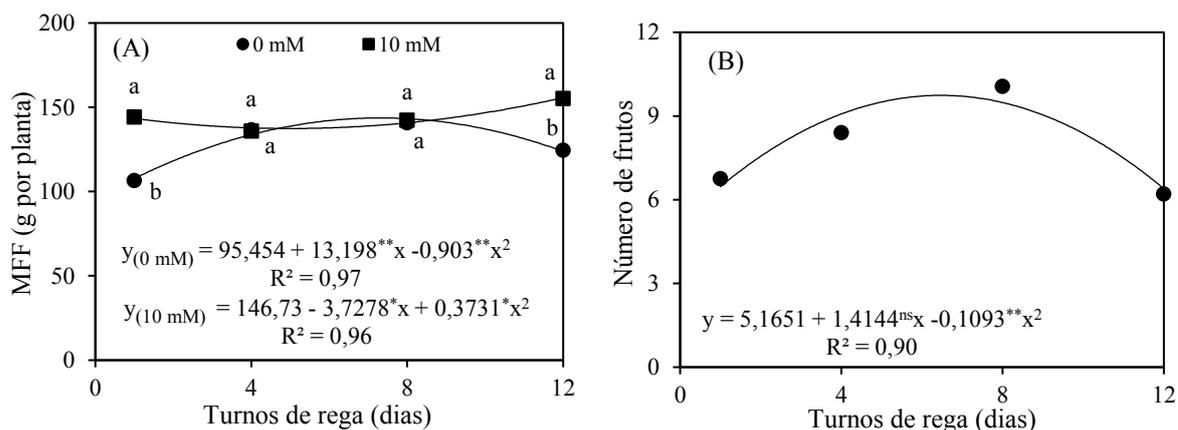
Tabela 5. Resumo da análise de variância referente a massa fresca dos frutos (MFF) e número de frutos (NFRU) das plantas de pinheira, cultivadas sob turnos de rega e aplicação foliar de prolina.

| Fontes de variação | GL | Quadrados médios | |
|-----------------------|----|------------------|----------------------|
| | | MFF | NFRU |
| Turnos de rega (TUR) | 3 | 425,8322** | 24,2005** |
| Regressão Linear | 1 | 957,5111** | 0,0015 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | 1 | 319,4760* | 60,50** |
| Prolina (PRO) | 1 | 2386,8867** | 3,1250 ^{ns} |
| Interação (TUR × PRO) | 3 | 774,7614** | 4,0260 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 295,8257* | 1,0755 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | 72,0729 | 1,7124 |
| CV (%) | | 6,25 | 16,65 |

GL- grau de liberdade; CV (%) - coeficiente de variação; * significativo em nível de 0,05 de probabilidade; ** significativo em nível de 0,01 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

A massa fresca dos frutos foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores turnos de rega e aplicação foliar de prolina (Figura 15A). Nota-se que a maior produção (140,74 g/planta) de pinha foi obtida no tratamento controle (0 mM) e turno de rega de 8 dias. Já as plantas que receberam a aplicação foliar de 10 mM o valor máximo estimado para MFF foi 155,22 g/planta, constatado em turno de rega de 12 dias. No desdobramento das concentrações de prolina em cada turno de rega, constata-se superioridade na MFF das plantas cultivadas sob concentração de prolina de 10 mM em relação ao tratamento controle (0 mM) nos turnos de rega de 1 e 12 dias. Esses resultados sugerem que a prolina proporcionou um ajustamento osmótico nas plantas de pinheira, pois este aminoácido tem função de osmorregulação e contribui na absorção de água mesmo em baixo potencial hídrico (turno de rega de 12 dias) e, conseqüentemente, maior translocação de nutrientes necessários para manter o equilíbrio iônico nas células, fato que refletiu na massa fresca dos frutos.

Em pesquisa com pimentão sob irrigação com águas salinas, Lima et al. (2016), verificaram que os maiores valores de MFF (241,5 e 246,4 g por planta) foram encontrados nas plantas submetidas a aplicações de 12 e 0 mM de prolina sob irrigação com água de irrigação de 0,6 e 3,0 dS m⁻¹, respectivamente.



ns, *, **, Não significativo, $p > 0,05$, Significativo em $p \leq 0,05$ e $0,01$, respectivamente, pelo teste F

Figura 15. Massa fresca de frutos das plantas de pinheira, em função da interação entre os turnos de rega e concentrações de prolina (A) e número de frutos (B) em função dos turnos de rega, aos 501 dias após o transplantio.

O número de frutos das plantas de pinheira (Figura 15B) foi influenciado estatisticamente pelos turnos de rega, cujo valor máximo estimado de 10,06 frutos por planta foi obtido sob turno de rega de 8 dias. Por outro lado, a utilização de turno de rega de 12 dias resultou em menor número de frutos estimados (6,21 unidade por planta). O turno de rega indicado para uma maior emissão de frutos de pinha é de 8 dias, onde a partir deste valor constata-se um decréscimo desta variável, fato que é explicado pela redução na taxa de assimilação de CO₂ que apresentou menores valores em plantas irrigadas com intervalo de 12 dias (Figura 11B), e assim menos fotoassimilados disponíveis para formação de frutos.

6. CONCLUSÕES

A irrigação com turnos de rega de 12 dias ocasiona diminuição nas trocas gasosas e conteúdo relativo de água das plantas de pinheira, aos 298 dias após o transplantio.

A aplicação foliar de 10 mM de prolina resulta em maior extravasamento de eletrólitos e maiores teores de clorofila *a*, totais e carotenoides no limbo foliar das plantas de pinheira.

A aplicação de prolina na concentração de 10 mM aumenta a massa fresca de frutos e os teores de clorofila *b* das plantas de pinheira em turno de rega de até 12 dias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, p.453-460, 2014.

BÁRZANA, G.; CARVAJAL, M. Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots. **Journal of Biotechnology**, v. 324, n.2, p. 134-142, 2020.

BEKKA, S.; ABROUS-BELBACHIR, O.; DJEBBAR, R. Effects of exogenous proline on the physiological characteristics of *Triticum aestivum* L. and *Lens culinaris* Medik. under drought stress. **Acta agriculturae Slovenica**, v.111, n.2, p. 477-491, 2018

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. p.625, 2013.

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, v.56, n.3 p.296-302. 2009.

BRAGA SOBRINHO, R. Produção integrada de anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol.36, n.1, p.102-107, 2014.

CABRAL, J. H. A.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BONOU, S. I.; SANTOS, B. D. B.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J. Estatística multivariada na qualidade da água residuária utilizadas na irrigação na região semiárida brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.121-133, 2019.

CACEFO, V. **Prolina endógena e exógena em plantas de tabaco submetidas à deficiência hídrica: respostas fisiológicas, bioquímicas, moleculares e no perfil ionômico**.129f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2020.

CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v.10, n.15, p.e311101523155-e311101523155, 2021.

CASTRO, D. S. de, NUNES, J. S., DE MELO SILVA, L. M., DE SOUSA, F. C., DA SILVA, W. P., & GOMES, J. P. Secagem de polpa de *Annona Squamosa*: cinética e avaliação de modelos empíricos. *Magistra*, 28(3/4), 294-300, 2016.

CORDEIRO, M. C. R. O cultivo da pinha, fruta-do-conde ou ata no Brasil. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2000.

CUNHA, J. G. de; CAVALCANTE, Í. H. L.; SILVA, L. dos. S.; SILVA, M. A. da; SOUSA, K. Â. O. de; PAIVA NETO, V. B. de. Extrato de algas e prolina promovem alterações fisiológicas em plantas de mangueira durante a maturação de ramos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, 2022.

DEKA, D.; SINGH, A. K.; SINGH, A. K. Effect of Drought Stress on Crop Plants with Special Reference to Drought Avoidance and Tolerance Mechanisms: A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.7, n.9, p.2703-2721, 2018.

FERNANDES, E. A.; SOARES, L. A. dos A.; LIMA, G. S. de; NETA, A. M. D. S. S.; ROQUE, I. A.; SILVA, F. A. da; LACERDA, C. N. de. Cell damage, gas exchange, and growth of *Annona squamosa* L. under saline water irrigation and potassium fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.3, p.999-1018, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2019.

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.

FIGUEIREDO, L. C.; OLIVEIRA, L. M.; SOUSA, V. F. O.; BOMFIM, M. P.; CASTRO, I. C. S. Substratos e lâminas de irrigação na produção de porta-enxertos de cajueiro crioulo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 2, p. 168-174, 2019.

FRANÇA, P. H. T.; SILVA, E. C. A. da.; SILVA, T. C.; BRASIL, A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 264- 269, 2017.

GAMBETTA, G. A.; HERRERA, J. C.; DAYER, S.; FENG, Q.; HOCHBERG, U.; CASTELLARIN, S. D. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. **Journal of experimental Botany**, v.71, n.16, p.4658-4676, 2020.

GARCÍA-CASTRO, A.; VOLDER, A.; RESTREPO-DIAZ, H.; STARMAN, T. W.; LOMBARDINI, L. Evaluation of different drought stress regimens on growth, leaf gas exchange properties, and carboxylation activity in purple passionflower plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.142, n.1, p.57-64, 2017.

GHOSH, U. K.; ISLAM, M. N.; SIDDIQUI, M. N.; KHAN, M. A. R. Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. **Plant Signaling & Behavior**, v.16, n.8, e1913306, 2021.

GONDIM, J.; FIOREZE, A. P.; ALVES, R. F. F.; SOUZA, W. G. D. A seca atual no Semiárido nordestino—Impactos sobre os recursos hídricos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 277-300, 2017.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, n.3, p. 225-230, 1982.

HOSSAIN, M.A.; KUMAR, V.; BURRITT, D.J.; FUJITA, M.; MÄKELÄ, P. Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. In *Proline Metabolism and Its Functions in Development and Stress Tolerance*; Springer Nature: Cham, Switzerland, pp. 41–72, 2019.

HOSSEINIFARD, M.; STEFANIAK, S.; JAVID, M. G.; SOLTANI, E.; WOJTYLA, L.; GARNCZARSKA, M. Contribution of Exogenous Proline to Abiotic Stresses Tolerance in Plants: A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v.23, n.9, p.5186, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 09 nov 2022.

JACINTO JUNIOR, S. G.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B. D.; SILVA, B. D. N.; SOUSA, G. G. D.; OLIVEIRA, L. L. B. D.; MESQUITA, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de

fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413-22, set. 2019.

KALIDINDI, N.; THIMMAIAH, N.V.; JAGADEESH, N.V.; NANDEEP, R.; SWETHA, S.; KALIDINDI, B. Antifungal and antioxidant activities of organic and aqueous extracts of *Annona squamosa* Linn. leaves. *Journal of Food and Drug Analysis*, v. 23, n. 4, p. 795–802, 2015.

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**, v. 10, n. 16, p. 1-19, 2020.

LEE, B. R.; ISLAM, M. T.; PARK, S. H.; JUNG, H. I.; BAE, D. W.; KIM, T. H. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 1-10, 2019.

LEMOS, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p.77-85, 2014.

LIMA, G. S. de, SILVA, J. B. da, SOARES, L. A. dos. A., NOBRE, R. G., GHEYI, H. R., DINIZ, G. L., LIMA, V. L. A. D. Effect of water salinity and potassium doses on physiological traits and growth of ‘Embrapa 51’ precocious dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) rootstock. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.11, p.1748-1755, 2020.

LIMA, G. S. de; SANTOS, J. B. dos; SOARES, L. A. dos A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G. Irrigação com águas salinas e aplicação de prolina foliar em cultivo de pimentão 'All Big. **Comunicata Scientiae**, v.7, n.4, p. 513, 2016.

LOZANO-MONTAÑA, P. A.; SARMIENTO, F.; MEJÍA-SEQUERA, L. M.; ÁLVAREZ-FLÓREZ, F.; MELGAREJO, L. M. Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis Sims f. edulis* under progressive drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 275, n.3, p.e109655, 2021.

MACIEL, H. M.; MACIEL, W. M.; GOMES, M. A. A desertificação e a seca: efeitos sobre a produção e renda agrícolas no estado do Ceará. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p.17824-17843, 2021.

- MAROUELLI, W. A.; SOUZA, V. F. Irrigação e fertirrigação. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 23-26. 2011.
- MERWAD, A. R. M.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v.228, n. sn, p.132-144, 2018.
- MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. dos. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 18-25, 2014.
- OLIVEIRA, A. S.; CASTELLANI, M. A.; NASCIMENTO, A. S.; MOREIRA, A. A. Perfil do sistema de produção de pinha nos polos de fruticultura da Bahia, com ênfase nos aspectos fitossanitários da cultura. **Extensão Rural**, v.23, n.2, p.95-111, 2016.
- OLIVEIRA, J. D. S. D. Alterações fisiológicas no crescimento inicial de dois acessos de pinheira (*Annona squamosa* L.) submetidas ao estresse hídrico, 2018.
- PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v.12, n. 3, p. 389-399, 2017.
- PER, T. S.; KHAN, N. A.; REDDY, P. S.; MASOOD, A.; HASANUZZAMAN, M.; KHAN, M. I. R.; ANJUM, N. A. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. **Plant physiology and biochemistry**, v. 115, p. 126-140, 2017.
- PEREIRA, L. S. Water. Agriculture and food: challenges and issues. **Water Resources Management**, v. 31, n.10, p.2985-2999, 2017.
- PEREIRA, M.C.T.; BRAZ, L.C.; NIETSCHKE, S.; MOTA, W.F. da. Determining the harvesting maturity of the sugar apple fruits on northern Minas Gerais. **Acta Horticulturae**. v.864, p.207-214, 2010.
- REID, M.; KALCSITS, L. Water deficit timing affects physiological drought response, fruit size, and bitter pit development for ‘Honeycrisp’ apple. **Plants**, v.9, n.7, p.e874, 2020.

- REJEB, K. B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.
- RESENDE, C. F.; PACHECO, V. S.; DORNELLAS, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; FREITAS, J. C. E.; PEIXOTO, P. H. P. Responses of Antioxidant enzymes, photosynthetic pigments and carbohydrates in micropropagated *Pitcairnia encholirioides* L.B.Sm. (Bromeliaceae) under ex vitro water déficit and after rehydration. **Brasilian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p. 52-62, 2019.
- ROJAS, O. Agricultural extreme drought assessment at global level using the FAO Agricultural Stress Index System (ASIS). **Weather and Climate Extremes**, v.27, n.1, e100184, 2020.
- SALOMÃO, L., CANTUÁRIO, F., PEREIRA, A. I., SCHWERZ, T., & DOURADO, W. Influência do turno de rega na eficiência do uso da água de irrigação e na produtividade de plantas de alface cultivadas em ambiente protegido. *Enciclopedia biosfera*, 10(18), 2014.
- SANTOS, W. M. dos.; SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S. de.; ALMEIDA, A. Q. de.; DANTAS ANTONINO, A. C. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.4, p.368–376, 2017.
- SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N. B.; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; MENDES, H. T. A. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p.176-183, 2014.
- SÃO JOSÉ, A.R. PIRES, M.M.; FREITAS, A.L.G.E.; RIBEIRO, D.P. & PEREZ, L.A.A. – Actuality and perspectives of Annonaceous in the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 36, n. sp., p. 86-93, 2014.
- 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, n.12, p. 1002-1013, 2013.
- SENTHIL, R.; SILAMBARASAN, R. Annona: A new biodiesel for diesel engine: A comparative experimental investigation. **Journal of the Energy Institute**, p. 1–11, 2014.

SILVA, A. Q.; SILVA, H. Nutrição e adubação de anonáceas. **Anonáceas, produção e mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimólia)**. Vitória da Conquista (BA): DFZ/UESB, 1997. p.118-137.

SILVA, F. D. D. A. da.; PEREIRA, F. H. F.; JÚNIOR, J. E. C.; NOBREGA, J. S.; DIAS, M. dos S. Aplicação foliar de prolina no crescimento e fisiologia do milho verde cultivado em solo salinizado. **Colloquium Agrariae**, v,16, n.5, p. 23-34, 2020.

SILVA, F. de. A. da.; ALMEIDA NETO, I. P. de.; FERNANDES, P. D.; DIAS, M. dos S.; BRITO, M. E. B.; LIMA, A. M. de.; Ecofisiologia de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob doses de esterco bovino e lâminas de irrigação. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e305974175, 2020.

SOUZA F. T. C.; SANTOS, E. R.; SILVA, J. da C.; VALENTIM, I. B.; RABELO, T. C. B.; ANDRADE, N. R. F. de.; SILVA, L. K. de S. Production of Nutritious Flour from Residue Custard Apple (*Annona squamosa* L.) for the Development of New Products. **Journal of Food Quality**. v. 1, p. 1-10, 2018.

SOUZA, F. T. C.; RABÊLO, T. C. B.; DOS SANTOS, L. K. F.; SANTOS, E. R. dos; SILVA, J. C. da. Prospecção científica e tecnológica referente à pinha (*Annona squamosa* L.). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 8, n. 4, p. 817-827. 2015.

SOUZA, L. P.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; FATIMA, R. T. ; LIMA, G. S. de; DINIZ, G. L. Índices fisiológicos e crescimento de porta-enxertos de cajueiro sob estresse salino e concentrações de prolina. **Irriga**, v. 1, p. 169-183, 2021.

SOUZA, P. U.; LIMA, L. K. S.; SOARES, T. L.; JESUS, O. N. de.; COELHO FILHO, M. A.; GIRARDI, E. A. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. **Scientia Horticulturae**, v. 229, n.9, p.77-90, 2018.

SUN, Y.; WANG, C.; CHEN, H. Y.; RUAN, H. Response of plants to water stress: a metaanalysis. **Frontiers in plant science**, v.11, n.1, p. 978, 2020.

SUPERINTENDENCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). Características do Semiárido, 2015. Disponível em <http://www.sudene.gov.br/>. Acesso em março de 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, Artmed, 2017. 954p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. Água e células vegetais. In: **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.855p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

VELOSO, L. L. D. S. A., NOBRE, R. G., SOUZA, C. M. A. D., FATIMA, R. T. D., SOUZA, L. P. D., ELIAS, J. J., AZEVEDO, F. L. D., SANTOS, J. B. D. Morphophysiology of guava cv. Paluma with water of different salt concentrations and proline doses. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 5, p. 1877-1886, 2018.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I- The field easurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, n.1, p.81-97, 1950.

WU, Y.; YAN, S.; FAN, J.; ZHANG, F.; XIANG, Y.; ZHENG, J.; GUO, J. Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 275, n.3, e109710, 2021.

ZOMBARDO, A.; MICA, E.; PUCCIONI, S.; PERRIA, R.; VALENTINI, P.; MATTII, G. B.; STORCHI, P. Berry quality of grapevine under water stress as affected by rootstock–Scion interactions through gene expression regulation. **Agronomy**, v.10, n. 5, p. 680, 2020.