

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO
EM MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.**

JOÃO LUCAS DA COSTA SANTOS DE ALMEIDA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2022**

**ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM
MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.**

JOÃO LUCAS DA COSTA SANTOS DE ALMEIDA
Engenheiro Agrônomo

Orientadora: PROF^a. DR^a. SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do Título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A447e Almeida, João Lucas da Costa Santos de
Estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.
[recurso eletrônico] / João Lucas da Costa Santos de Almeida. 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon.
Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Déficit hídrico. 2. Alagamento. 3. Pitomba. 4. Silicato de potássio. 5. Ácido salicílico. I.
Scalon, Silvana De Paula Quintão. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

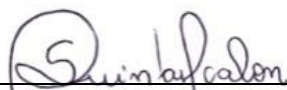
**ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM MUDAS
DE *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.**

por

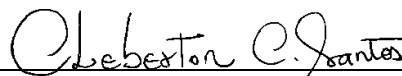
JOÃO LUCAS DA COSTA SANTOS DE ALMEIDA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM AGRONOMIA

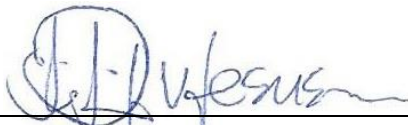
Aprovada em: 16/08/2022



Prof. Dr.^a. Silvana de Paula Quintão Scalon
Orientadora - UFGD/FCA



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Membro Titular Interno - UFGD



Prof. Dr. Mailson Vieira Jesus
Membro Titular Externo - UNIGRAN

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, força, entendimento e oportunidades que me guiaram para concluir este desafio.

À minha família pelo incentivo, apoio, conselhos e que nos momentos de alegrias e de lutas, mesmo na distância, se fizeram presentes, pelas palavras de encorajamento, sem deixar de agradecer à Cristiane e ao Miguel.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Silvana de Paula Quintão Scalon por ter me recebido para orientação e por nunca ter se negado a dividir seu tempo precioso, conhecimentos, estímulo ao espírito de pesquisa, simplicidade e alegria. Ao Prof. Dr. Cleberton Correia Santos que realizou todo o acompanhamento importante para a condução do trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados por meio do laboratório Fisiologia vegetal por toda sua infraestrutura fornecida para o desenvolvimento da pesquisa de formação profissional.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso Sul, pelo incentivo através de seus gestores, afastamento concedido e incentivo financeiro destinado à capacitação dos servidores em pós-graduação.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas-GEEP/UFGD, Wallas Matos, Vanda Maria, Juliana Milene, Jéssica Linné, Lucas Coutinho, Andressa Foresti, por terem colaborado de forma direta e indireta e, pelas conversas que tornaram esse desafio mais divertido com a convivência diária.

Aos amigos Allan por ter aberto as portas de sua casa, para que possibilitasse eu fazer esse trabalho, Laura e Lorena.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

ALMEIDA, J. L. C. S. **Estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2022.

RESUMO GERAL

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk. (pitombeira, Sapindaceae) é uma frutífera com potencial alimentício, madeireiro e florestal, pouco conhecida em relação às suas necessidades hídricas. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de *T. esculenta*. Foram desenvolvidos dois experimentos independentes nos quais mudas de *T. esculenta* foram submetidas à restrição hídrica (15 e 35 dias) e alagamento (15, 30 e 45 dias), sendo estes tratamentos hídricos associados à aplicação de ácido salicílico (AS - 200 mg L⁻¹) e silicato de potássio (K₂SiO₃ - 10,0 mL L⁻¹). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial de parcelas subdivididas. Durante a restrição hídrica as mudas de *T. esculenta* reduziram o metabolismo fotossintético e índices de clorofilas, aumentaram o conteúdo de prolina em folhas e raízes, mas não houve redução no crescimento das mudas. O uso de ácido salicílico e silicato de potássio minimizou os efeitos da restrição hídrica e possibilitou maior tempo de tolerância à essa condição, demonstrando seus efeitos benéficos por até 15 dias. Durante o alagamento, as mudas de *T. esculenta* sobreviveram e emitiram lenticelas hipertrofiadas, mesmo apresentando menor atividade fotossintética. O silicato de potássio, com a dose utilizada, foi mais eficiente que o ácido salicílico em mitigar os efeitos do estresse por alagamento por 45 dias sobre as características metabólicas e de crescimento. O uso de ácido salicílico se mostrou ineficiente no crescimento de plantas alagadas. A *T. esculenta* mostrou-se sensível ao estresse hídrico, tanto pelo déficit quanto pelo alagamento, mas apresentou potencial de resiliência. O uso de silicato de potássio tem potencial para mitigar o estresse, representando uma estratégia para a produção de mudas em condições ambientalmente atípicas por um período determinado.

Palavras-chave: Déficit hídrico; alagamento; pitomba; silicato de potássio; ácido salicílico.

ALMEIDA, J.L.C.S. **Strategies mitigation of water stress in seedlings *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.** Master Thesis (Master 's degree in Agronomy) (A. St.-Hil.) Radlk. – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, 2022.

GENERAL ABSTRACT

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk. (pitombeira, Sapindaceae) is a fruit tree with potential for food, timber, and forestry, but little is known about its water requirements. Thus, the objective of this study was to evaluate strategies for mitigating water stress in *T. esculenta* seedlings. Two independent experiments were conducted in which *T. esculenta* seedlings were subjected to water restriction (15 and 35 days) and flooding (15, 30, and 45 days), with these water treatments combined with the application of salicylic acid (SA - 200 mg L⁻¹) and potassium silicate (K₂SiO₃ - 10.0 mL L⁻¹). The experimental design was completely randomized in a split-plot factorial scheme. During water restriction, *T. esculenta* seedlings reduced photosynthetic metabolism and chlorophyll indices, increased proline content in leaves and roots, but there was no reduction in seedling growth. The use of salicylic acid and potassium silicate minimized the effects of water restriction and allowed for a longer period of tolerance to this condition, demonstrating their beneficial effects for up to 15 days. During flooding, *T. esculenta* seedlings survived and emitted hypertrophied lenticels, despite exhibiting lower photosynthetic activity. Potassium silicate, at the dose used, was more efficient than salicylic acid in mitigating the effects of flooding stress for 45 days on metabolic and growth characteristics. The use of salicylic acid was ineffective in the growth of flooded plants. *T. esculenta* was sensitive to water stress, both from deficit and flooding, but showed potential for resilience. The use of potassium silicate has the potential to mitigate stress, representing a strategy for seedling production under atypical environmental conditions for a determined period.

Keywords: Water deficit; flooding; pitomba; potassium silicate; salicylic acid.

SUMÁRIO

PÁGINA

RESUMO GERAL	iv
SUMÁRIO . . . . .	.vi
LISTA DE QUADROS . . . . .	.viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL . . . . .	.1
1.1 Origem e importância da espécie em estudo . . . . .	.2
1.2 Estresse hídrico . . . . .	.5
1.2.1 Respostas de plantas ao déficit hídrico . . . . .	.5
1.2.2 Respostas de plantas ao alagamento . . . . .	.6
1.3 Estratégias para mitigar o estresse hídrico . . . . .	.7
1.3.1 Ácido salicílico como elicitador . . . . .	.7
1.3.2 Silicatos . . . . .	.9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Geral	11
2.2 Específicos	11
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
CAPÍTULO 1 – SILICATO DE POTÁSSIO E ÁCIDO SALICÍLICO MITIGAM OS DANOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk.?	16
Resumo	16
1 Introdução . . . . .	.18
2 Material e Métodos . . . . .	.18
3 Resultados . . . . .	.24
4 Discussão . . . . .	.30
5 Conclusões . . . . .	.37
6 6 Referências Bibliográficas . . . . .	.38
CAPÍTULO 2 – MITIGAÇÃO DO ESTRESSE POR ALAGAMENTO EM MUDAS DE <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk. . . . .	.42
Resumo . . . . .	.42
1 Introdução . . . . .	.44
2 Material e Métodos . . . . .	.45
3 Resultados . . . . .	.51
4 Discussão . . . . .	.60

5 Conclusões	65
6 Referências Bibliográficas	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
APÊNDICE	72

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

PÁGINA

QUADRO 1. Análise química do substrato utilizado no experimento de *T. esculenta* sob diferentes condições hídricas. Dourados, UFGD, 2021 20

CAPÍTULO II

QUADRO 1. Análise química do substrato utilizado no experimento das mudas de *T. esculenta*. Dourados, UFGD, 2021. 46

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL	PÁGINA
FIGURA 1. Distribuição na América do Sul da espécie <i>Talisia esculenta</i>	3
FIGURA 2. Detalhes da planta adulta (a), produção de frutos (b), sementes (a) e muda (d) de <i>Talisia esculenta</i> (A.St.-Hil.) Radlk.	4
CAPÍTULO I	
FIGURA 1. Temperatura (a) e úmida relativa (b) médias durante os períodos de avaliações, Dourados – MS, 2021	23
FIGURA 2. Taxa fotossintética – A (a), eficiência da carboxilação da Rubisco – A/C_i (b), concentração intracelular de CO_2 – C_i (c), eficiência intrínseca do uso da água – E_iUA (d) e condutância estomática – g_s (e, f) em mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associados ao ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3), avaliadas aos 15 e 35 dias após aplicação e submissão.	25
FIGURA 3. Fluorescência inicial (a e b), eficiência quântica do fotossistema II (c), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (d) e eficiência de conversão de energia absorvida (e) em folhas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) avaliadas aos 15 e 35 dias.	26
FIGURA 4. Índice de clorofila a (a), índice de clorofila b (b) e índice de clorofila total (c) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) avaliadas aos 15 e 35 dias	27
FIGURA 5. Conteúdo relativo de água na folha (a), área foliar (b), comprimento de raiz (c), índice de qualidade de Dickson (d) e teores de prolina nas folhas (e) e nas raízes (f) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) avaliadas aos 15 e 35 dias	29
FIGURA 6. Estado geral de sobrevivência de mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk., após 35 dias submetidas à restrição hídrica	30

CAPÍTULO II

- FIGURA 1. Dados referentes a temperatura (a) e umidade relativa (b) médias durante as avaliações, Dourados – MS, 2021. 51
- FIGURA 2. Fotossíntese – A (a), eficiência da carboxilação da Rubisco – A/C_i (b), concentração intracelular de CO_2 – C_i (c), condutância estomática – g_s (d) e eficiência do uso da água – EUA (e) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) 53
- FIGURA 3. Índice de clorofila a (a), índice de clorofila b (b) e índice de clorofila total (c) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) 54
- FIGURA 4. Fluorescência inicial (a), eficiência quântica do fotossistema II (b), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (c) e eficiência de conversão de energia absorvida (d) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) 55
- FIGURA 5. Conteúdo relativo de água na folha – CRA (%) (a), área foliar (b), comprimento de raiz (c), índice de qualidade de Dickson - IQD (d) e teores de proteína nas folhas (e) e nas raízes (f e g) de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) 57
- FIGURA 6. Atividade da peroxidase em folhas – POX - folha (a) e raízes – POX - raiz (b), atividade antioxidante da enzima superóxido dismutase nas folhas – SOD - folha (c) e nas raízes – SOD - raiz (d e e), teores de prolina nas folhas (f) e nas raízes (g) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) 59
- FIGURA 7. Lenticelas de mudas de *T. esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob condições alagadas aos 7 dias (a), 15 dias (b), 30 dias (c) e 45 dias (d) 60

1 INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios para o mundo, e as oscilações de temperaturas e *status* hídrico, associadas a essas mudanças, têm causado diversos efeitos prejudiciais na agricultura, afetando a produtividade e as áreas de cultivo (MALHI et al., 2021). Essas mudanças podem impor filtros ecológicos que restringem a ocorrência de diferentes espécies, trazendo consequências irreversíveis para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (INAGUE et al., 2021).

Essas alterações são preocupantes porque a temperatura do ar e os eventos de seca têm aumentado nas últimas décadas e os modelos atmosféricos indicam que essa tendência será mantida nas próximas décadas, o que pode afetar negativamente as respostas morfofisiológicas das plantas, considerando as condições edafoclimáticas (HABERMANN et al., 2020)

De maneira geral, a água é de grande importância nos processos metabólicos das plantas, sendo que na fase de crescimento constitui de 80 a 95% da massa, sendo absorvida do solo, seus níveis adequados asseguram o crescimento, sobrevivência e a realização dos processos fisiológicos, como a fotossíntese (KERBAUY, 2017).

Além do manejo adequado dos recursos hídricos, outras estratégias podem ser utilizadas para mitigar os efeitos do estresse hídrico nas plantas. Entre elas, destaca-se a aplicação de substâncias elicitoras, que estimulam diferentes respostas fisiológicas e podem ajudar as plantas a lidar com as oscilações hídricas decorrentes das mudanças climáticas. Essa abordagem de manejo fisiológico tem sido investigada em estudos com espécies nativas, que também abordam o uso e manejo dos recursos hídricos associados ao manejo preventivo e práticas de conservação, possibilitando soluções para a recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA et al., 2011).

A procura de informações relativas às ações de preservação e restauração de áreas degradadas com espécies nativas é um assunto relevante (BOAVENTURA et al., 2019), pois existe a necessidade de conhecer as estratégias de sucessão ecológica e habilidades competitivas que as espécies florestais nativas possuem. Assim, o estudo das respostas ecofisiológicas das plantas nativas é de suma importância para o entendimento das estratégias evolutivas de sobrevivência necessárias para o manejo e conservação de diferentes ecossistemas (POTT e POTT, 2000; VIEIRA et al., 2021).

Dentre os procedimentos para o sucesso destas ações é à produção de mudas

de qualidade, possibilitando maiores taxas de crescimento e sobrevivência após o transplante para as áreas definitivas. No viveiro, itens como o recipiente, substrato, qualidade das sementes, adubação e o manejo das mudas, além do estresse hídrico são fatores que afetam diretamente a qualidade das mudas (FERNANDES et al., 2019).

Foi proposto estudar o efeito do estresse hídrico e o uso de ácido salicílico e silicato de potássio em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. O estudo foi dividido em dois capítulos: 1. Aplicação de silicato de potássio e ácido salicílico em mudas de *T. esculenta* submetidas ao déficit hídrico e 2. Mitigação do estresse por alagamento em mudas de *T. esculenta*.

1.1 Origem e importância da espécie em estudo

A *Talisia esculenta* (A.St.-Hil.) Radlk., pertence à família Sapindaceae, é uma espécie florestal e frutífera nativa no Brasil, com ampla distribuição (Figura 1). É encontrada na região Centro-Oeste, Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil, em diferentes domínios fitogeográficos, como na Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Grande Chaco, além de florestas estacionais e matas de galerias. Também é encontrada no Paraguai, Bolívia e Colômbia (SENA, 2014; BUENO et al., 2018).

T. esculenta apresenta importância ecológica para o plantio em áreas degradadas e recuperação de matas ciliares, contribuindo para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Além disso, apresenta importância econômica na produção de madeiras utilizadas em obras internas na construção civil, bem como a comercialização dos frutos em feiras livres ou processados. Quanto ao interesse medicinal, o chá das sementes é utilizado para problemas de desidratação, enquanto que o das folhas é indicado para as dores nos quadris e rins (GUARIM NETO et al., 2003).

Classificada na sucessão ecológica como pioneira, esta espécie também foi descrita em uma reserva ecológica da Paraíba com alta predominância (OLIVEIRA et al., 2006). Pela sua abundância e ampla distribuição (Figura 1), a espécie indica fácil adaptação aos diferentes domínios existentes no Brasil e pode ser considerada prioritária em plantios de restauração ou enriquecimento de capoeiras em brejos de altitudes. Esta espécie apresenta potencial de inserção na cadeia produtiva da fruticultura, fortalecendo a agricultura familiar, bem como sendo componente na implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) (JACOB et al., 2020; LORENZI, 2016).



FIGURA 1. Distribuição na América do Sul da espécie *Talisia esculenta*. Fonte: OLIVEIRA (2017).

As árvores desta espécie podem atingir 15 m de altura, frondosas e com fuste cilíndrico, estriado, acinzentado ou escurecido (Figura 2a). A espécie produz frutos comestíveis (Figura 2b), que consistem em pequenas drupas com sementes globosas, grandes e oblongas, cobertas por um arilo agridoce que varia do branco ao transparente quando o fruto está maduro, geralmente monospermicos (RIET-CORREA et al., 2014). O extrato da casca dos seus frutos, que geralmente é um resíduo sólido descartado, apresenta potencial para a fabricação de sabonetes líquidos (PIRES et al., 2021).

As sementes (Figura 2c) são alongadas, com testas avermelhadas logo após retiradas dos frutos, e escuras quando secas, envolvidas por arilo róseo-esbranquiçado e com cotilédones espessos, quase iguais, superpostos (GUARIM NETO et al., 2003). Sua propagação é por meio de sementes e esta espécie são classificadas como recalcitrante, de curta longevidade, e a redução da umidade prejudica diretamente sua viabilidade e seu vigor (CARDOSO et al., 2015). Na semeadura a profundidade dever ser entre 2,5 e 3 cm com o hilo para cima ou na vertical (ALVES et al., 2013).

A emergência de *T. esculenta*, uma espécie que ocorre em várzeas aluviais e fundos de vales, são fatores que influenciam a emergência e o crescimento inicial de suas plântulas. Estudos como o de Alves et al. (2011) contribuem para o desenvolvimento de técnicas de manejo e produção de mudas de qualidade (Figura 2d), visando a utilização dessas plantas em programas de reflorestamento e conservação da biodiversidade. Foi possível verificar que a posição e a profundidade de semeadura influenciam significativamente a emergência e o crescimento inicial das plântulas de *T. esculenta*,

sendo recomendada a semeadura a uma profundidade entre 2,5 e 3 cm com o hilo para cima ou na vertical. Essas informações são importantes para orientar o manejo adequado da espécie e garantir o estabelecimento de populações saudáveis em ambientes naturais.



FIGURA 2. Detalhes da planta adulta (a), produção de frutos (b), sementes (a) e muda (d) de *Talisia esculenta* (A.St.-Hil.) Radlk. Fonte: ALMEIDA, J.L.C.S. (2021).

Na literatura são incipientes informações sobre aspectos dessa espécie sob condições de estresse hídrico e as estratégias que ela desenvolve para tolerar ou se adaptar às condições adversas do ambiente. Estudos sobre métodos de semeadura, substratos, recipientes e adubação são necessários para o estabelecimento de um manejo adequado e eficiente da espécie, visando à produção de mudas de qualidade para uso em programas de reflorestamento e conservação da biodiversidade (GUARIM NETO et al., 2003).

O estudo realizado por Tosta et al. (2017) sobre a adubação nitrogenada na produção de mudas de *T. esculenta* propôs a compreensão da produção de mudas dessa espécie nativa com diferentes doses de nitrogênio, o que pode ser importante para sua utilização na recuperação de áreas degradadas.

Além disso, é importante investigar a relação entre a disponibilidade hídrica do solo e o crescimento e desenvolvimento da espécie, bem como as possíveis estratégias fisiológicas que ela apresenta para lidar com o estresse hídrico. Essas informações são fundamentais para subsidiar ações de manejo e conservação de *T. esculenta* e de outros recursos florestais em diferentes regiões do Brasil.

1.2 Estresse hídrico

De acordo com Larcher (2000), o estresse é uma condição adversa que induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais das plantas, resultando em uma redução no desempenho e na produtividade. O estresse pode ser causado por diversos fatores bióticos e abióticos, sendo estes últimos frequentemente associados às condições climáticas. A falta de água, por exemplo, é um fator abiótico que pode levar ao estresse hídrico em plantas. Diversas pesquisas são realizadas para entender melhor os efeitos do estresse hídrico na agricultura e como explorar de forma mais eficiente os recursos hídricos disponíveis.

As plantas submetidas a condições adversas podem passar por três fases de estresse, de acordo com Larcher (2000). A primeira fase é a de alarme, que começa com o distúrbio e pode levar à perda da estabilidade das estruturas e das funções que mantêm os processos químicos da planta. Se a intensidade do estresse não diminuir, a planta entra na fase de resistência, em que ocorre a síntese de proteínas e outras substâncias para proteger a planta do estresse. Caso o estresse continue por um longo período, a planta entra na fase de exaustão, em que sua capacidade de resistência é reduzida e a planta fica mais suscetível a infecções. No entanto, se o estresse for temporário, qualquer injúria causada pode ser reparada.

O estresse hídrico é caracterizado por alterações no *status* hídrico do solo, podendo ser classificado em déficit ou excesso de água (alagamento).

O estresse hídrico pode envolver o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) nas células vegetais, o que desencadeia a ativação de um sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático, que pode evitar danos oxidativos ao combater as Espécies Reativas de Oxigênio (EROs). Assim, a produção de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), desidroascorbato redutase (DHAR), e polifenoloxidase (PPO) (NUNES et al., 2017), e o acúmulo de prolina (FERREIRA et al., 2020) são exemplos de agentes de defesa.

1.2.1 Respostas de plantas ao déficit hídrico

O déficit hídrico é caracterizado pela falta de água, o que desencadeia uma série de respostas adaptativas nas plantas. Quando ocorre, altera a homeostase da planta,

e a sua ocorrência e duração são fatores limitantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais, pois o impacto que causa nas relações hídricas altera o metabolismo das plantas, influenciando negativamente na produtividade e nos parâmetros de crescimento das espécies (BARBOSA et al., 2021; ROSA et al., 2021).

Os processos fisiológicos das plantas são afetados em déficit hídrico, promovendo a redução no conteúdo de água celular resultando em perda de turgor, redução da taxa fotossintética e redução da expansão foliar. Algumas espécies, no entanto, possuem mecanismos de escape ao estresse, que permitem a redução da taxa fotossintética e a manutenção do status hídrico da planta (TAIZ et al., 2017). Além disso, as plantas também apresentam mecanismos de ajuste para lidar com o déficit hídrico, como o aumento no crescimento das raízes e a redução da atividade respiratória (KERBAUY, 2017).

O fato de ocorrer uma condição desfavorável torna o ambiente estressante para as plantas, dificultando o sucesso da realização de projetos de recomposição de áreas degradadas em locais onde é inviável a irrigação. É fato comprovado que, o estresse por déficit hídrico, pode limitar o desenvolvimento das plantas, mais do que qualquer outro fator abiótico ambiental, haja vista ser a água o principal componente dos processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos das plantas (SCALON et al., 2020).

1.2.2 Respostas de plantas ao alagamento

A saturação hídrica do solo pode afetar o crescimento de raízes e da parte aérea das plantas, podendo ocorrer a inibição da expansão das folhas e também acelerar a senescência e abscisão destas, uma vez que as trocas gasosas são alteradas pela diminuição dos espaços aeríferos do solo (SCALON et al., 2011).

Nesta condição, também podem ser desenvolvidas estruturas anatômicas que facilitam a difusão de gases, tais como a formação de raízes adventícias, aerênquimas e formar ou aumentar o número de lenticelas (MELO et al., 2017).

As raízes adventícias são formadas em determinadas espécies, quando estas são submetidas à inundação, atuando como uma estratégia adaptativa para substituir as raízes velhas que sofrem processos oxidativos. Além dessas raízes, as plantas formam também lenticelas hipertrofiadas caulinares e aerênquimas, importantes para o

suprimento de oxigênio necessário à respiração (MELO et al., 2017; JUNGLOS et al., 2018).

Além disso, por meio das lenticelas ocorre a eliminação de substâncias tóxicas voláteis, produzidas durante os processos fermentativos típicos, que podem advir de um ambiente pobre em oxigênio. Desta forma, ocorre o aumento destas estruturas (aerênquima e lenticelas) como mecanismos de tolerância à condição de alagamento, levando à sua adaptação ecológica (MELO et al., 2017).

O estudo de espécies arbóreas em condições de alagamento é de fundamental importância quando se trata de preservação ou recuperação de formações ripárias, com possibilidade à inundação sazonal, dado que o grau de tolerância varia de acordo com as espécies, assim como com a idade da planta e a intensidade do estresse (OLIVEIRA e GUALTIERRI, 2017).

1.3 Estratégias para mitigar o estresse hídrico

O estresse hídrico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento de plantas em ambientes áridos e semiáridos. Nesse contexto, estratégias que visam mitigar os efeitos do déficit hídrico nas plantas são fundamentais para garantir a produção agrícola em regiões com baixa disponibilidade de água. Dentre essas estratégias, destaca-se o uso de produtos químicos, como o ácido salicílico (AS) e o silicato de potássio (K_2SiO_3), que têm sido amplamente estudados como potenciais mitigadores do estresse hídrico em diversas espécies vegetais (FORESTI et al., 2022; SANTOS et al., 2021; SILVA et al., 2019).

1.3.1 Ácido salicílico como elicitor

O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico produzido naturalmente pelas plantas em resposta a diversos estímulos, como infecções por patógenos, estresses ambientais, danos mecânicos, entre outros. Ele atua como um regulador de crescimento nas plantas, interferindo na absorção de raízes, reduzindo a transpiração e causando a abscisão foliar. Além disso, o ácido salicílico pode alterar o transporte de íons nas plantas e está envolvido na defesa contra diversas adversidades, como infecções por fungos e bactérias, estresses abióticos como o alagamento, a seca e as altas temperaturas

(KERBAUY, 2017)

O AS também está relacionado ao desenvolvimento da resistência sistêmica adquirida, um mecanismo de defesa que torna as plantas mais resistentes a diversas adversidades. Sua aplicação exógena tem sido amplamente estudada como uma estratégia de indução de resistência em plantas cultivadas (FLOSS, 2011).

Conhecido nos efeitos potencializadores do crescimento e da floração das plantas, o AS exógeno contribui em indicadores de qualidade de produção de mudas, como a altura, a área foliar e a produção de massa seca de folhas, caule e raízes. Esses indicadores são importantes para avaliar o desenvolvimento e a saúde das mudas produzidas em viveiros, e estão relacionados ao sucesso da plantação no campo (SARACHO et al., 2021).

Essas contribuições do AS auxiliam no incremento dos pigmentos fotossintéticos, da eficiência quântica do fotossistema II e de conversão de energia absorvida, podendo condicionar aumento das enzimas antioxidantes (SOD e POX) (FORESTI et al., 2022). Isso diminui o efeito negativo das espécies reativas de oxigênio (EROs), ao exercer papel no controle da atividade fotossintética e condutividade estomática, quando da condição de estresse abiótico, como a restrição hídrica (CORTES et al., 2019).

O uso de AS para minimizar os efeitos do estresse é importante e quando aplicado de maneira exógena, induz o fechamento estomático e, portanto, pode afetar a taxa de fotossíntese (POÓR et al., 2019). O uso de AS tem-se mostrado eficaz em plantas como *Lycopersicon esculentum* contribuindo na diminuição dos efeitos do estresse salino (FARIDUDDIN et al., 2018).

Em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied., Foresti et al. (2022) observaram que o AS atenuou os danos ao aparato fotossintético por agir positivamente sobre o conteúdo relativo de água nas folhas, índice SPAD, metabolismo fotossintético, atividade das enzimas superóxido dismutase e peroxidase e crescimento das mudas.

A aplicação de AS foi benéfica na manutenção das trocas gasosas, processos fotoquímicos e qualidade de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi, como demonstrado em estudo realizado por Santos et al. (2022). A aplicação do composto contribuiu positivamente para aumentar as concentrações de pigmentos, a estabilidade fotoquímica da fotossíntese e a qualidade das mudas.

No entanto, as respostas ao uso de ácido salicílico podem variar de acordo com a espécie vegetal. Embora muitas vezes favoreça efeitos benéficos, é importante estar

ciente de que o uso inadequado pode levar a efeitos colaterais indesejáveis, como fitotoxicidade e alterações no metabolismo da planta.

1.3.2 Silicatos

O Silício (Si) é considerado um elemento benéfico para as plantas, tendo em vista que apresenta efeitos positivos nos processos fisiológicos, contribuindo para uma maior tolerância às condições de estresse (SILVA et al., 2017). O Silício (Si) por ser o segundo elemento mais abundante no solo e apresentar afinidade com o oxigênio, é encontrado na natureza na forma de sílica (SiO_2) ou silicatos, que se ligam quimicamente a diversos metais, favorecendo a eficiência na absorção de água e atuando na tolerância às condições de estresse hídrico. Dessa forma, o Si garante a integridade e a estabilidade da membrana celular, o que contribui para o desenvolvimento saudável das plantas (ARAÚJO, 2017).

O Si absorvido pelas plantas se acumula principalmente na parte aérea, que é depositado como sílica amorfa hidratada, geralmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares, tornando as plantas mais resistentes à ação de patógenos. Ademais, diminui os efeitos da transpiração e confere maior atividade fotossintética, reduzindo os efeitos do estresse causado pela restrição hídrica (SANTOS et al., 2021).

No Brasil, são comercializados isoladamente ou em mistura com outros nutrientes, sendo que em 2022, foram apresentados aproximadamente, 114 registros no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2022). O silicato de potássio (K_2SiO_3) é uma fonte solúvel de potássio e silício, usado como fertilizante foliar e atuante no metabolismo, crescimento e produtividade de plantas, além de diminuir os efeitos deletérios do estresse hídrico através da regulação do metabolismo enzimático (RODRIGUES et al., 2011; SILVA et al., 2019).

Sua aplicação via foliar também serve como um indutor de resistência abiótica significativo para cultivos de interesse agrícola, maximizando os benefícios de ambos os elementos no crescimento e produtividade das plantas (IBRAHIM et al., 2020; PEREIRA et al., 2019).

Estudos com silicato de potássio em plantas cultivadas (PEREIRA et al., 2019; ALI et al., 2019) e espécies nativas (BASSO-JUNIOR et al., 2021) ainda são escassos, possibilitando uma lacuna a ser explorada nesta associação com esta espécie.

Diante do exposto este trabalho buscou testar as seguintes hipóteses:

As mudas de *Talisia esculenta* são sensíveis ao déficit hídrico e/ou alagamento, os quais desencadeiam redução no seu metabolismo fotossintético e conseqüentemente no crescimento.

O uso de ácido salicílico e silicato de potássio minimiza os efeitos do estresse hídrico e possibilita maior tolerância às condições adversas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o potencial do silicato de potássio e ácido salicílico em mitigar os efeitos do estresse hídrico em mudas de *Talisia esculenta*.

2.2 Específicos

Verificar os efeitos da restrição hídrica sobre o crescimento e o metabolismo fotossintético de mudas de *T. esculenta*.

Avaliar os efeitos da aplicação exógena foliar de silicato de potássio e ácido salicílico no crescimento e no metabolismo fotossintético de mudas de *T. esculenta* submetidas à restrição hídrica.

Verificar os efeitos do alagamento sobre o crescimento, metabolismo fotossintético e atividade antioxidante de mudas de *T. esculenta*.

Avaliar os efeitos da aplicação foliar de silicato de potássio e ácido salicílico no crescimento, metabolismo fotossintético e atividade antioxidante de mudas de *T. esculenta* submetidas a diferentes períodos de alagamento.

Verificar qual o agente (silicato de potássio e ácido salicílico) é mais eficiente na mitigação dos efeitos do estresse hídrico por déficit e alagamento.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. U.; MONTE, D. M. O.; CARDOSO, E. A. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk em função de profundidades e posições de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 328-339, 2013.

ALI, A. M.; IBRAHIM, S. M.; ABOU-AMER, I. A. Water deficit stress mitigation by foliar application of potassium silicate for sugar beet grown in a saline calcareous soil. **Egyptian Journal of Soil Science**. v. 59, n. 1, p. 15-23. 2019.

BASSO JUNIOR, I. J.; NAVARRO, V. L.; SANTOS, C. C.; SILVA, W. C.; SCALON, S. P. Q.; REIS, L. C. Silício no crescimento de mudas de *Inga vera* Willd. durante e após o déficit hídrico. In: IX Congresso Virtual de Agronomia, 2021. **Anais do IX Congresso Virtual de Agronomia**, 2021. p. 1-5.

BOAVENTURA, K.; CUNHA, É.; SILVA, S. Recuperação de áreas degradadas no Brasil: conceito, história e perspectivas. **Tecnia**, v. 4, n. 1, p. 124-145. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Painel da área de Fertilizantes, Inoculantes e Corretivos. Brasília, DF. 2022. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/fertilizantes/index.htm>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BUENO, M. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; PONTARA, V.; POTT, A.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, v. 73, p. 53-64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CORTES, J. S. A.; GODOY, J. A.; CORTÉS, D. A.; MORA, R. M. S. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. **Nova**, v. 17, n. 32, p. 109-129, 2019.

FARIDUDDIN, Q.; KHAN, T. A.; YUSUF, M.; AAFAQEE, S. T.; KHALIL, R. R. A. E. Ameliorative role of salicylic acid and spermidine in the presence of excess salt in *Lycopersicon esculentum*. **Photosynthetica**, v. 56, n. 3, p. 750-762, 2018.

FERNANDES, M.C.O.C.; FREITAS, E. C. S.; PAIVA, H. N.; OLIVEIRA NETO, S.N. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, v. 6, p. 507-513, 2019.

FERREIRA, R. A.; BORELLA, J.; HÜTHER, C. M.; DO CANTO, A. C. B.; CORREA, N. P. C.; CORREIA, D. M.; PEREIRA, C. R. Drought-induced stress in leaves of *Coix lacryma-jobi* L. under exogenous application of proline and GABA amino acids. **Brazilian Journal of Botany**, v.43, p. 513–521, 2020.

FORESTI, A. C.; REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; SANTOS, C. C.; JESUS, M. V. Salicylic acid mitigating damage to the photosynthetic apparatus and quality of *Eugenia myrcianthes* seedlings under water deficit. **Rodriguesia**, v. 73, 2022.

GUARIM NETO, G.; SANTANA, S. R.; SILVA, J. V. B. Repertório botânico da

pitombeira (*Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk – Sapindaceae). **Acta Amazonica**, v. 33, n. 2, p. 237-242, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392200332242>. Acesso em: 22 set. 2021.

HABERMANN, E.; CONTIN, D. R.; VICIEDO, D. O.; BARRETO, R. F.; MORAES, M. A.; OLIVEIRA, E. A. D.; Martinez, C. A. M. Efeitos das mudanças climáticas em plantas cultivadas e nativas: atual estado das pesquisas brasileiras. In: Stricto Sensu Editora. (Org.). **Avanços e Atualidades na Botânica Brasileira**. 1 ed. Acre: Stricto Sensu Editora, v. 1, p. 109-125, 2020.

IBRAHIM, M. F. M. EL-SAMAD, G. A.; ASHOUR, H.; EL-SAWY, A. M.; HIKAL, M.; ELKELISH, A.; EL-GAWAD, H. A.; EL-YAZIED, A. A.; HOZZEIN, W. N.; FARAG, R. Regulation of agronomic traits, nutrient uptake, osmolytes and antioxidants of maize as influenced by exogenous potassium silicate under deficit irrigation and semiarid conditions. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1212, 2020.

INAGUE, G. M., ZWIENER, V. P., MARQUES, M.C.M. Climate change threatens the woody plant taxonomic and functional diversities of the Restinga vegetation in Brazil, **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 1, p. 53-60. 2021.

JACOB, M.C.M.; MEDEIROS, M.F.A.; ALBUQUERQUE, U.P. Biodiverse food plants in the semiarid region of Brazil have unknown potential: A systematic review. **PLOS ONE**, v. 15, n. 5, 2020.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v.1, 7.ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2016. 384p.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro. 2017.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.

MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1318, 2021.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G.; LANDIM, F. Produtividade e uso eficiente da água de duas cultivares de batata-doce em função de lâmina de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2018.

MELO, L. A.; MELO, H. C.; DAVIDE, A. C.; CASTRO, E. M.; SANTOS, J. P. Estaquia e efeito da deficiência hídrica ou inundação sobre características morfoanatômicas de *Cestrum axillare* Vell. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 325–337, 2017.

NING, D.; QIN, A.; LIU, Z.; DUAN, A.; XIAO, J.; ZHANG, J.; LIU, Z.; ZHAO, B.; LIU, Z. Silicon-Mediated Physiological and Agronomic Responses of Maize to Drought Stress Imposed at the Vegetative and Reproductive Stages. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p.1136, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10081136>. Acesso em: 01 jul. 2022

NUNES, D. P.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; GORDIN, C. R. B. Photosynthetic and enzymatic metabolism of *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings under water deficit. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 676-682, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416005517>. Acesso em: 01 jul. 2022.

OLIVEIRA, C. K. A.; SOUZA, A. N.; JOAQUIM, M. S.; PINTO, J. R. R.; SOUZA, S. N. Potencial Econômico do Uso de Espécies Nativas em Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas. In: FAGG, C. W.; MUNHOZ, C. B. R.; SOUZA-SILVA, J. C. (Org.). **Conservação de Áreas de Preservação Permanentes do Cerrado - Caracterização, Educação Ambiental e Manejo**. 1ed. Brasília: CRAD, v. 1, p. 175-196, 2011.

OLIVEIRA, F. X.; ANDRADE, L. A.; FÉLIX, L. P. Comparações florísticas e estruturais entre comunidades de floresta ombrófila aberta com diferentes idades, no Município de Areia, PB, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 861-873, 2006.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (paratudo) submetidas a armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 181-191, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. **NeoTropTree, Flora arbórea da região neotropical**: um banco de dados envolvendo biogeografia, diversidade e conservação. Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F.S.; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 82-88, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190113>. Acesso em: 01 jul. 2022.

PIRES, V. R.; PIRES, F. A. R.; LOPES, E. M. S.; AGUIAR, V. G.; CAVALCANTE, O. S. S.; OLIVEIRA, E. de S.; DOURADO, R. C. de M.; MORAIS, A. C. L. N. de. Development of a liquid soap from the pitomba fruit peel extract (*Talisia esculenta*). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 15, p. 22791, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22791>. Acesso em: 30 jul. 2022.

POÓR, P.; BORBÉLY, P.; BÓDI, N.; BAGYÁNSZKI, M.; TARI, I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 367-376, 2019.

POTT, A.; POTT, V. J. Plantas nativas para recuperação de áreas degradadas e reposição de vegetação em Mato Grosso do Sul. **Comunicado Técnico 75**. Campo Grande: Embrapa, 2002.

RIET-CORREA, F.; BEZERRA, C. W.; MEDEIROS, M. A.; DA SILVA, T. R.; NETO, E. G. M.; MEDEIROS, R. M. T. Poisoning by *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk in sheep and cattle. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 26, p. 412-417, 2014.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, n. 134, p. 14-20, 2011.

SANTOS, L.C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S. BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, 19 p., 2021.

SANTOS, C. C.; LIMA, N. M.; SARACHO, L. C. S.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic acid alleviates water restriction on photochemical apparatus and quality of *Schinus terebinthifolia* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 10, p. 747-752, 2022.

SILVA, D. C.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L.; LIMA, L. M.; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 1, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**, 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 888 p.

TOSTA, M. S.; ALMEIDA, J. P. N.; GÓES, G. B.; FREIRE, P. A.; MENDONÇA, V. Adubação nitrogenada na produção de mudas de *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 443-447, 2017.

VIEIRA, J. S.; CAVALCANTE, U. R.; DIAS, J. P. T. Recuperação de Áreas Degradadas com Frutíferas Nativas. In: DIAS, J P T; MATA J F. (Org.). **Cultivo de Frutíferas em Clima Tropical**. 1ed. Campina Grande: Editora Portal Tecnológico - Eptec, v. 1, 2021. p. 103-113.

CAPÍTULO 1 – SILICATO DE POTÁSSIO E ÁCIDO SALICÍLICO MITIGAM OS DANOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.?

Resumo

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk é uma espécie nativa do Brasil que possui grande importância econômica, sendo explorada comercialmente para a produção de madeira e utilizada na medicina popular. Além disso, sua capacidade de recuperação de áreas degradadas a torna uma espécie importante para a restauração ecológica. No entanto, a sensibilidade da planta ao déficit hídrico pode limitar seu crescimento e desenvolvimento, tornando essencial o estudo de estratégias para minimizar os efeitos negativos desse estresse abiótico. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do silicato de potássio e do ácido salicílico sobre metabolismo fotossintético e o crescimento de mudas de *T. esculenta* sob déficit hídrico. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, testando o efeito de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) em mudas de *T. esculenta* submetidas a dois regimes hídricos (C = controle e RH = restrição hídrica) compondo seis tratamentos: T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - RH + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 e dois períodos de avaliação (15 e 35 dias). As mudas controle tratadas com silicato de potássio apresentaram maior índice de qualidade de Dickson e maior conteúdo relativo de água, enquanto nas mudas sob restrição hídrica, o efeito estressante foi reduzido pela aplicação de K_2SiO_3 . Ocorreu redução da eficiência fotoquímica no fotossistema II sob restrição hídrica nas mudas, o que reduziu a fotossíntese. De maneira geral, a aplicação de K_2SiO_3 e AS pouco contribuiu nos processos fotoquímicos da fotossíntese para mitigar o estresse hídrico. Durante o período avaliado, a restrição hídrica foi estressante para as mudas de *T. esculenta* com efeito negativo no metabolismo fotossintético com redução nos índices de clorofilas, aumentos no conteúdo de prolina em folhas e raízes, com maiores índices de sobrevivência de mudas de *T. esculenta* em restrição hídrica tratadas com AS e K_2SiO_3 . Os resultados indicam que o uso de silicato de potássio e ácido salicílico mitigou alguns dos efeitos negativos da restrição hídrica sobre o metabolismo fotossintético em mudas de *T. esculenta*. Especificamente, foi observada uma melhora na taxa fotossintética em mudas sob restrição hídrica tratadas com K_2SiO_3 em comparação com as demais mudas sob restrição hídrica. Além disso, houve um aumento na eficiência de carboxilação da Rubisco em mudas controle tratadas com os produtos. Entretanto, não foi observado efeito significativo no crescimento das plantas com a aplicação de silicato de potássio e ácido salicílico.

Palavras-chaves: Pitomba, metabolismo fotossintético, estresse abiótico.

POTASSIUM SILICATE AND SALICYLIC ACID MITIGATE WATER DEFICIT DAMAGE IN SEEDLINGS OF *Talisia esculenta* (A. St. Hil.) Radlk.

Abstract

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk is a native species of Brazil that has great economic importance, being commercially exploited for wood production and used in traditional medicine. Furthermore, its ability to recover degraded areas makes it an important species for ecological restoration. However, the plant's sensitivity to water deficit can limit its growth and development, making it essential to study strategies to minimize the negative effects of this abiotic stress. The aim of this study was to evaluate the effect of potassium silicate and salicylic acid on photosynthetic metabolism and growth of *T. esculenta* seedlings under water deficit. The experiment was conducted in a completely randomized design, with a split-plot scheme testing the effect of salicylic acid (SA) and potassium silicate (K_2SiO_3) on *T. esculenta* seedlings subjected to two water regimes (C = control and RH = water restriction), composing six treatments: T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ SA; T3 - C + 10.0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ SA; T6 - RH + 10.0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 , and two evaluation periods (15 and 35 days). Control seedlings treated with potassium silicate showed higher Dickson quality index and higher relative water content, while water-restricted seedlings had the stressful effect reduced by the application of K_2SiO_3 . There was a reduction in photochemical efficiency in photosystem II under water restriction in the seedlings, which reduced photosynthesis. Overall, the application of K_2SiO_3 and SA contributed little to the photochemical processes of photosynthesis to mitigate water stress. During the evaluated period, water restriction was stressful for *T. esculenta* seedlings with a negative effect on photosynthetic metabolism, with reductions in chlorophyll levels, increases in proline content in leaves and roots, and higher survival rates of *T. esculenta* seedlings under water restriction treated with SA and K_2SiO_3 . The results indicate that the use of potassium silicate and salicylic acid mitigated some of the negative effects of water restriction on photosynthetic metabolism in *T. esculenta* seedlings. Specifically, an improvement in the photosynthetic rate was observed in seedlings under water restriction treated with K_2SiO_3 compared to the other seedlings under water restriction. Additionally, there was an increase in Rubisco carboxylation efficiency in control seedlings treated with the products. However, no significant effect on plant growth was observed with the application of potassium silicate and salicylic acid.

Keywords: Pitomba, photosynthetic metabolism, abiotic stress.

1 Introdução

A *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. (pitombeira, Sapindaceae), encontra-se dentre as espécies florestais e frutíferas nativas do Brasil, tendo como habitat natural a região Amazônica, Mata Atlântica e o Cerrado Sul-mato-grossense (GUARIM NETO et al., 2003; BUENO et al., 2018). A espécie apresenta interesse ecológico, econômico e medicinal, sendo indicada para o plantio e recuperação de matas ciliares (GUARIM NETO et al., 2003). Seus frutos podem ser consumidos *in natura* ou processados (CASTRO et al., 2018).

Muitas áreas, nas diferentes fitofisionomias que a espécie pode ocorrer, estão sujeitas a mudanças no *status* hídrico do solo em função das mudanças climáticas globais e ações antrópicas. Assim, em determinados períodos do ano ocorre sazonalidade climática atípica, sendo observado períodos de estiagem (seca). No entanto, pouco se conhece sobre as respostas morfofisiológicas da *T. esculenta* a essas condições adversas.

Sob déficit hídrico, geralmente as plantas reduzem a abertura estomática o que minimiza a perda de água, mas em contrapartida ocorre redução de captação de CO₂ e aumento na produção de espécies reativas de oxigênio que podem comprometer a capacidade fotossintética e o crescimento das plantas (ROSA et al., 2017; NUNES et al., 2017).

Nesse contexto, a busca de conhecimentos sobre estratégias que possam mitigar o efeito estressante em mudas tem aumentado. Na literatura, verifica-se que o silício, especialmente na forma de silicatos (PEREIRA et al., 2019) e o ácido salicílico (SARACHO et al., 2021) contribuem positivamente na regulação metabólica e crescimento das plantas mesmo sob estresse abiótico.

Assim, hipotetizamos que as mudas de *T. esculenta* são sensíveis ao déficit hídrico, mas que a aplicação foliar de silicato de potássio e ácido salicílico podem mitigar os efeitos da baixa disponibilidade hídrica sobre o metabolismo fotossintético e antioxidante, conseqüentemente no crescimento das mudas. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do AS e K₂SiO₃ em mitigar o déficit hídrico em mudas de *T. esculenta*.

2 Material e Métodos

O presente estudo foi realizado no viveiro da Faculdade de Ciências Agrárias na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados – MS,

durante os meses de março de 2021 a maio de 2021.

A coleta dos frutos foi realizada em dez matrizes localizadas em área de pastagem próxima a fragmentos florestais na área rural do município de Glória de Dourados (coordenadas -22.376577, -54.149734, elevação de 396 m). Os frutos foram beneficiados manualmente e as sementes sanitizadas em hipoclorito de sódio a (2,0% de cloro ativo, v:v), por 5 minutos, lavadas em água corrente e semeadas em tubetes de 50 x 190 mm, contendo substrato comercial Carolina Soil® (condutividade elétrica 0,4 mS cm⁻¹, umidade máxima +- 60 % m m⁻¹, densidade seca 130 kg m⁻³, capacidade de retenção de água 350 % m m⁻¹, composição: turfa, vermiculita e calcário). Os tubetes foram mantidos sob casa de vegetação com cobertura superior de tela de sombreamento de 50%, sendo irrigados três vezes ao dia com microaspersores e nebulizadores automáticos, de acordo com a programação da casa de vegetação.

Aos 60 dias após a semeadura ao atingirem a média de 13 cm de altura, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 7 kg, previamente preenchidos com Latossolo Vermelho Distroférico, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), e areia grossa (3:1 v:v) cujos atributos químicos encontram-se no Quadro 1 (com areia 440 g kg⁻¹, silte 70 g kg⁻¹ e argila 490 g kg⁻¹).

As mudas foram mantidas no viveiro com sombreamento de 30% durante 30 dias, caracterizando o período de aclimatização. Após esse período, as mudas foram acondicionadas em cobertura superior e lateral com plástico de 150 micras para evitar precipitações, também sob 30% de sombra.

Foi realizada a aplicação de silicato de potássio (K₂SiO₃) e ácido salicílico (AS) no período matutino, via foliar, na face abaxial e adaxial das folhas até ponto de gotejamento (10 mL por planta, pré-teste) em aplicação única um dia antes da submissão aos regimes hídricos. As fontes utilizadas foram: silicato de potássio, com 12% em peso (168 g L⁻¹) de Si e 15% em peso (210 g L⁻¹) de K₂O, condutividade elétrica de 2,93 mS cm⁻¹, densidade 1,40 g L⁻¹, pH 10,96, natureza física fluida. O ácido salicílico utilizado foi o P.A., ambos diluídos em água destilada.

As mudas foram submetidas aos regimes hídricos após um período de 30 dias de aclimatização associados a aplicação de silicato de potássio (K₂SiO₃) e ácido salicílico (AS), constituindo os seguintes tratamentos: T1 – C (controle) = irrigação realizada diariamente mantendo 70% da capacidade de retenção de água no substrato; T2 – C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 – C + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃; T4 – RH (Restrição Hídrica); T5 – RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 – RH + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃.

o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os períodos de avaliação (15 e 35 dias), com cinco repetições, sendo cada unidade experimental constituída por um vaso com duas plantas.

As mudas no tempo zero apresentaram os seguintes valores médios: área foliar = 39,2 cm², fotossíntese (A) = 5,65 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) = 0,707 e índice de qualidade de mudas (IQD) = 0,06.

QUADRO 1. Análise química do substrato utilizado no experimento de *T. esculenta* sob diferentes condições hídricas. Dourados, UFGD, 2021.

pH ¹ H ₂ O	pH ² CaCl ₂	H+Al ³	Ca ⁴ (Trocável)	Mg ⁵ (Trocável)	K ⁶ (Trocável)	CTC ⁷ pH 7,0	P ⁸ Mehlich	M.O. ⁹ (Oxidação)	V ¹⁰
cmol _c /dm ³						(mg/dm ³)		(%)	
5,09	4,46	2,63	1,50	0,70	0,06	4,89	0,71	6,38	46,22

¹pH em água; ²pH em Cloreto de Cálcio; ³Hidrogênio + Alumínio; ⁴Cálcio-formas trocáveis; ⁵Magnésio-formas trocáveis; ⁶Potássio-formas trocáveis (Mehlich I); ⁷Capacidade de troca de cátions (pH 7,0); ⁸Fósforo-formas trocáveis (Mehlich I); ⁹Matéria orgânica (K₂Cr₂O₇); ¹⁰Saturação de bases.

Características avaliadas:

As avaliações foram realizadas aos 15 e 35 dias após a submissão das mudas aos diferentes tratamentos. Aos 15 dias, as mudas cultivadas sob restrição hídrica tiveram redução da taxa fotossintética (A), no entanto, aos 35 dias, todas as mudas sob RH apresentaram redução de A com valores próximos a zero. A definição dos períodos de avaliação foi baseada em um pré-teste realizado para assegurar a sensibilidade e a viabilidade dos resultados obtidos.

- **Trocas gasosas:** a taxa de assimilação de CO₂ (A, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), transpiração (E,

mmol H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática (g_s , mol m⁻² s⁻¹) e concentração intercelular de CO₂ (C_i , μmol CO₂ mol⁻¹) foram quantificadas utilizando um sistema portátil de analisador de gás por infravermelho (IRGA) – LCI PRO - SD (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, em folhas expandidas localizadas no terço médio, previamente marcadas do início ao fim do experimento, sendo avaliadas folhas intermediárias maduras de idade similar em uma planta de cada repetição. A partir dos dados de trocas gasosas calculou-se a eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i , μmol m⁻² s⁻¹ μmol mol⁻¹) e eficiência intrínseca de uso da água ($E_iUA - A/g_s$, mmol⁻¹ H₂O). As avaliações foram realizadas sob um fluxo fotossintético de fótons de 1.500 μmol m⁻² s⁻¹, considerando as condições climáticas favoráveis.

- **Fluorescência da clorofila-*a* e processos fotoquímicos:** a determinação da fluorescência foi realizada entre 8 e 11h nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações das trocas gasosas. As folhas foram submetidas à condição de escuro por 30 minutos, utilizando cliques foliares com a finalidade de induzir a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons dos centros de reação, em seguida foram expostas a um flash de 1 segundo, com intensidade de 1.500 μmol m⁻² s⁻¹ e foi determinada a emissão da fluorescência inicial (F_0), fluorescência variável (F_v), fluorescência máxima (F_m) da clorofila-*a* e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando um fluorômetro portátil de excitação contínua OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). A partir desses dados, calculou-se a eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (F_0/F_m).

- **Índice de clorofila:** a determinação dos índices de clorofila *a*, *b* e total foi realizada em folhas plenamente expandidas e maduras, entre 8 e 11h, utilizando clorofilômetro portátil (FALKER CFL 1030).

- **Conteúdo relativo de água nas folhas (CRA):** O conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinado conforme metodologia de Turner (1981), após cada período de análise, em quatro folhas de cada tratamento, pela equação: $CRA = (MF - MS)/(MMS - MS)*100$. No qual, MF: = massa fresca, MS = massa seca, MMS: massa da matéria saturada. As folhas foram retiradas das plantas sempre entre às 7 e 8h da manhã e levadas imediatamente ao laboratório, onde foram cortadas com vazador de cilindros. Os discos foliares foram pesados para obter a massa fresca e depois deixados em placa de Petri,

adicionando água destilada e cobertos com papel alumínio por um período de 24h e novamente, pesados para obter a massa saturada. Em seguida, os discos foliares foram colocados em sacos de papel e acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar à 60 ± 5 °C durante 48 horas e pesados para obter a massa seca.

- **Crescimento:** as mudas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes, então medida a altura (Alt), tendo como padrão de avaliação a distância entre o coleto e a inflexão da folha mais alta, e comprimento de raiz (CR) com régua graduada em centímetros; diâmetro do coleto (DC) determinado com auxílio de um paquímetro, com os resultados expressos em milímetros (mm); a área foliar (AF) foi determinada utilizando um integrador de área (LI-COR, 3100 C – Area Meter – Nebraska). Para obtenção das biomassas secas e frescas da parte aérea e raiz, o material foi pesado em balança de precisão antes e após o acondicionamento em estufa com circulação forçada de ar a 60 ± 5 °C, até a massa constante. Utilizando os dados de biomassa foi calculado o índice de qualidade das mudas de acordo com Dickson et al. (1960) utilizando a seguinte equação: $IQD = MST/RAD + RPAR$, em que: MST: massa seca total, RAD: relação altura diâmetro e RPAR– relação parte aérea/raízes.

- **Sobrevivência e estado geral das plantas:** A sobrevivência foi avaliada com base na contagem das mudas que apresentavam folhas expandidas em coloração verde e potencial de manutenção de metabolismo e crescimento. As mudanças morfológicas, clorose e senescência, foram consideradas na avaliação do estado geral das plantas.

- **Quantificação de prolina:** a quantificação de prolina foi adaptada segundo a metodologia de Bates et al. (1973), na qual folhas e raízes foram utilizados. O ácido-ninidrina foi preparado aquecendo 2,50 g de ninidrina em 60 mL de ácido acético glacial e 40 mL de ácido fosfórico 6M, com agitação até ser dissolvido, após mantido em resfriamento. Aproximadamente 0,5 g de material vegetal (folha e raiz, separadamente) foi macerado em nitrogênio líquido e armazenado em ampolas e acondicionados sob refrigeração. Em seguida, o material vegetal foi homogeneizado em 10 mL de ácido sulfossalicílico aquoso a 3% e o homogenato filtrado através de papel filtro nº 2 da Whatman. Em tubo de ensaio, foi colocado 1 mL de ácido acético, 1 mL de ácido ninidrina e 1 mL de extrato vegetal. O extrato foi homogeneizado por agitação e em seguida incubado a 100 °C por 1 h, em banho termostático. A mistura de reação foi extraída com 2 mL de tolueno, misturado vigorosamente com um agitador de tubo de ensaio por 15-20 seg. O cromóforo contendo tolueno foi aspirado da fase aquosa,

aquecido à temperatura ambiente e a absorbância lida a 520 nm em espectrofotômetro Biospectro, sendo utilizado como controle (branco) somente tolueno. A concentração de prolina foi determinada a partir de uma curva padrão calculada com base na massa fresca utilizando a seguinte fórmula: $[(\mu\text{g prolina} / \text{mL} \times \text{mL de tolueno}) / 115,5 \mu\text{g} / \mu\text{mol}] / [(g \text{ amostra}) / 5] = \mu \text{ moles de prolina massa fresca (g)}^{-1}$.

- **Dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR):** os dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) externa ao viveiro e umidade relativa (UR) externa foram obtidos do banco de dados da estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados/MS, localizada a 23,4 km do local do experimento, durante o período experimental (Figura 1).

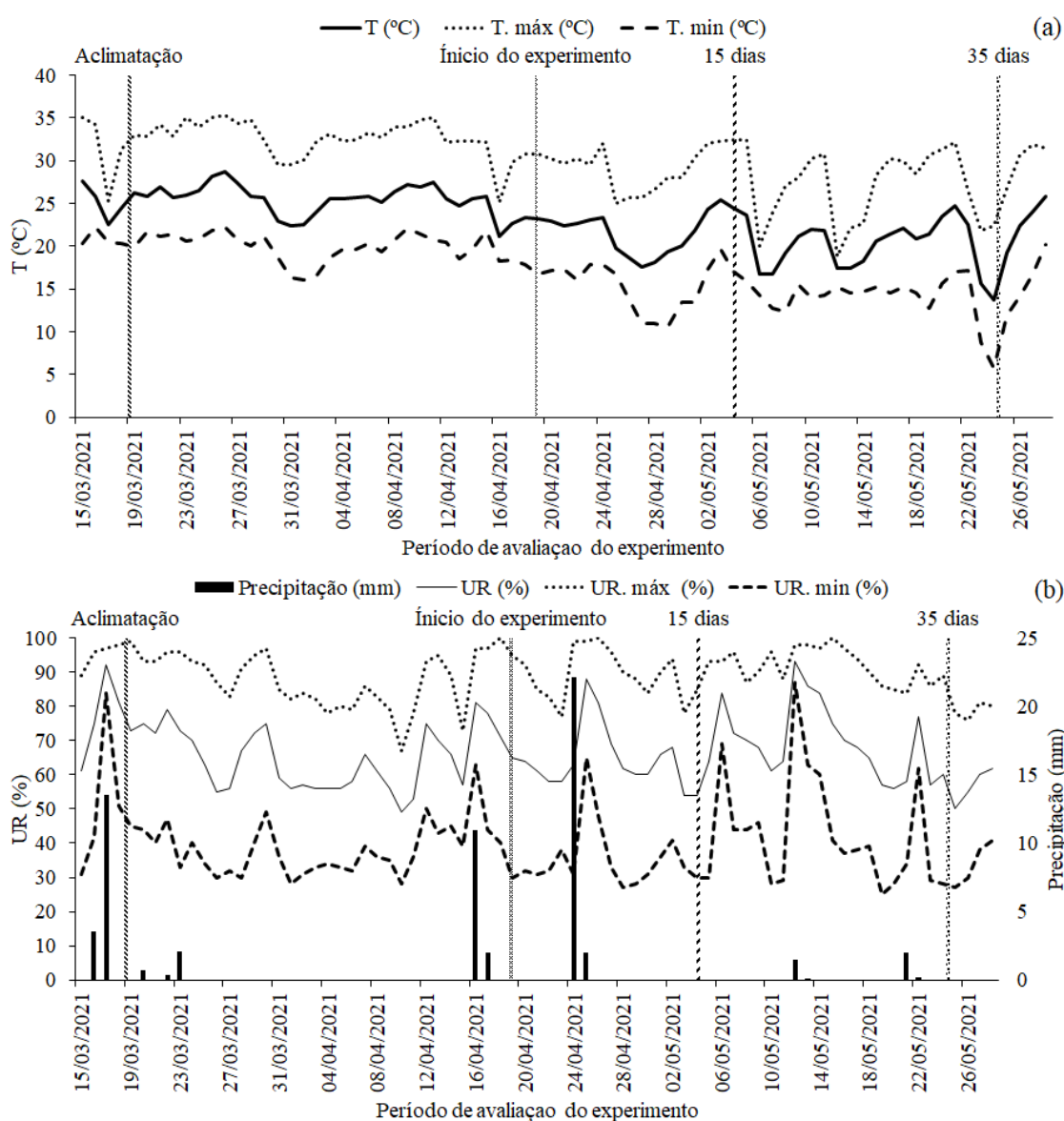


FIGURA 1. Dados referentes a temperatura (a) e umidade relativa (b) médias durante as avaliações, Dourados – MS, 2021. Fonte: EMBRAPA, 2021.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), e as médias das épocas pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 Resultados

A maioria das características nas mudas de *T. esculenta* foi influenciada pela interação entre o uso de silicato de potássio e ácido salicílico com os regimes hídricos e os períodos de avaliação, exceto condutância estomática (g_s) e fluorescência inicial (F_0) que foram afetados isoladamente pelos tratamentos.

Aos 15 dias, as mudas cultivadas sob restrição hídrica tiveram redução da taxa fotossintética (A) (Figura 2a). No entanto, aquelas que receberam aplicação de K_2SiO_3 tiveram valores maiores ($3,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em comparação às demais mudas sob RH que tiveram valores de $2,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $2,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Por outro lado, aos 35 dias, todas as mudas sob RH, independentemente da aplicação do AS e K_2SiO_3 , apresentaram redução de A com valores próximos a zero (média $1,62 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Os maiores valores de eficiência de carboxilação da Rubisco – A/C_i (Figura 2b) foram também observados nas mudas controle, no entanto, aos 35 dias as mudas controle tratadas com AS e K_2SiO_3 apresentaram redução de A/C_i , porém, as mudas sob RH apresentaram as menores médias, próximas de zero. Os valores de C_i (Figura 2c) foram maiores nas mudas controle aos 15 dias, mas aos 35 dias não houve variação entre os tratamentos, exceto nas mudas sob RH que não receberam aplicação dos produtos, onde os valores de C_i foram maiores ($416,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

No que se refere a $EiUA$ (Figura 2d) os maiores valores ocorreram nas mudas sob RH sem aplicação dos produtos (T4) e RH + AS (T5), apresentando valores de 144,12 e 129,85 mol H_2O , respectivamente, aos 15 dias. Aos 35 dias, todas as mudas, exceto as

controle sem aplicação de AS e K_2SiO_3 tiveram menores valores e não diferiram entre si nesse período (Figura 2d). Quanto à g_s , os maiores valores foram observados nas mudas controle, independente do uso de AS e K_2SiO_3 (Figura 2e) e aos 15 dias com valor de $0,06 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2f).

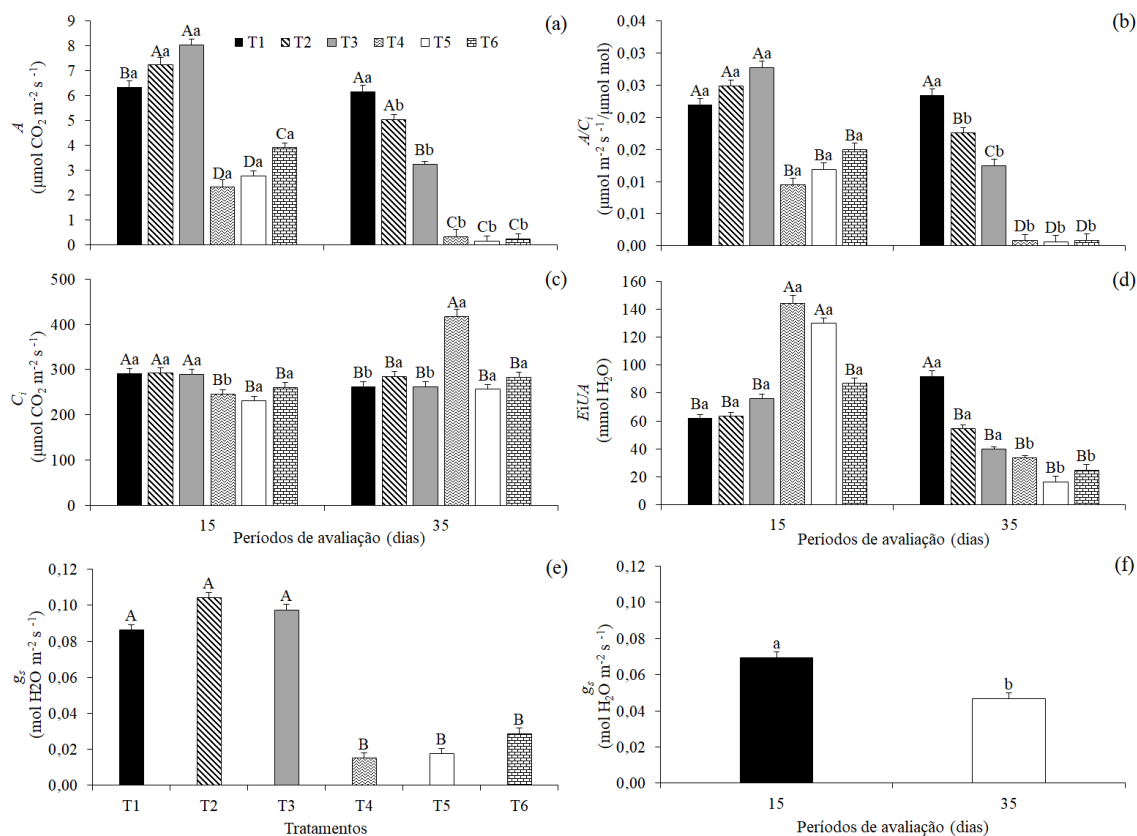


FIGURA 2. Taxa fotossintética – A (a), eficiência da carboxilação da Rubisco – A/C_i (b), concentração intracelular de CO₂ – C_i (c), eficiência intrínseca do uso da água – $EiUA$ (d) e condutância estomática – g_s (e, f) em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associados ao ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3), avaliadas aos 15 e 35 dias após aplicação e submissão. Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - RH + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 .

K₂SiO₃.

A fluorescência inicial (F_0) foi maior nas mudas sob RH, especialmente naquelas que receberam aplicação de ácido salicílico (T5) (Figura 3a) e quanto aos períodos de avaliação, maior aos 15 dias. A eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) foi menor aos 15 dias nas mudas em T5 e as mudas tratadas com K₂SiO₃ apresentaram valores semelhantes ao das mudas controle. A F_v/F_m foi menor aos 35 dias em todas as mudas submetidas à restrição hídrica não variando entre os tratamentos (Figura 3c). Entretanto aos 15 dias, as mudas em RH que receberam aplicação de K₂SiO₃ tiveram maiores valores quando comparadas as demais mudas nesse mesmo regime hídrico.

Os valores de F_0/F_m não variaram aos 15 dias, enquanto que aos 35 dias houve um aumento significativo, sendo mais elevados nas mudas tratadas com AS e K₂SiO₃ (Figura 3d). No que se refere à eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0), aos 15 dias os valores variaram, mas foram menores nas mudas sob RH + AS (T5), e aos 35 dias todas mudas sob RH apresentaram os menores valores, independente dos tratamentos (Figura 3e).

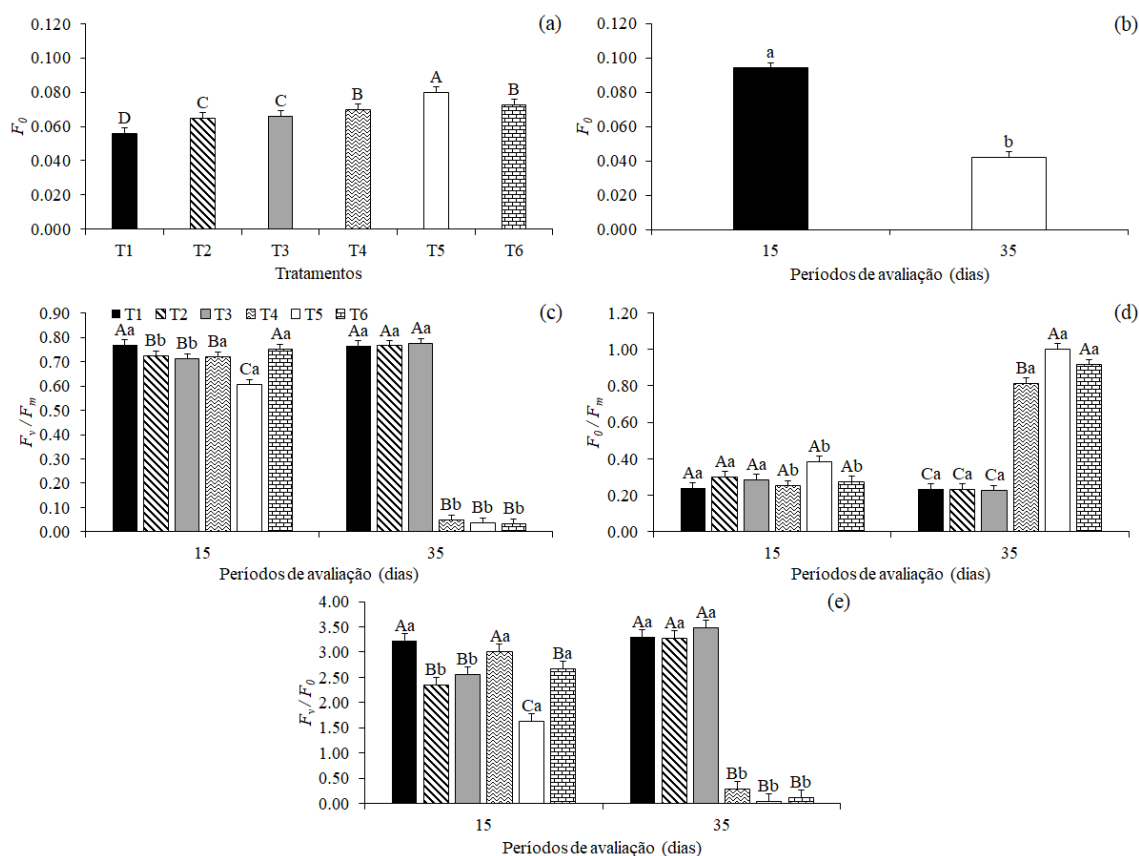


FIGURA 3. Fluorescência inicial (a e b), eficiência quântica do fotossistema II (c),

produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (d) e eficiência de conversão de energia absorvida (e) em folhas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) avaliadas aos 15 e 35 dias. Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - RH + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 .

Em geral, os valores dos índices de clorofila *a*, *b* e total (Figuras 4a, b, c) foram maiores aos 15 dias nas mudas controle e em mudas sob RH+ K_2SiO_3 (T6); aos 35 dias ocorreu redução dos valores, especialmente nas mudas sob restrição hídrica (T4). Nas mudas controle os tratamentos com AS e K_2SiO_3 proporcionaram redução das clorofilas, entretanto nas mudas sob restrição hídrica e tratadas com AS e K_2SiO_3 os valores foram mais elevados. As mudas tiveram maiores índices das clorofilas aos 35 dias quando receberam a aplicação de ácido salicílico e silicato de potássio em comparação com as não tratadas (RH).

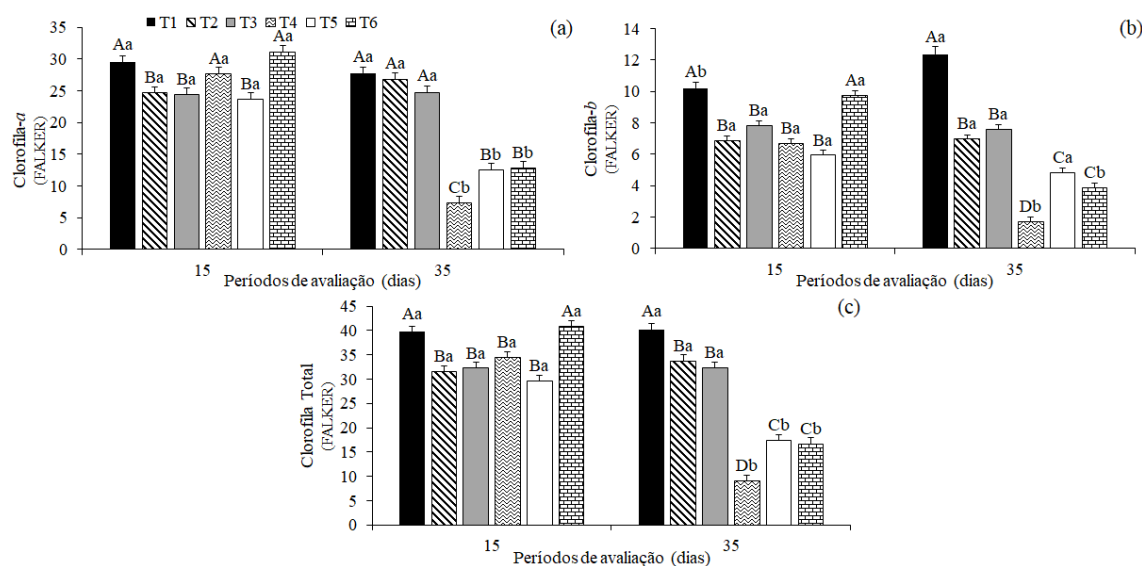


FIGURA 4. Índice de clorofila a (a), índice de clorofila b (b) e índice de clorofila total (c) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica)

associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) avaliadas aos 15 e 35 dias. Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - RH + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 .

O conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas (Figura 5a) foi maior nas mudas controle aos 15 dias, entretanto aos 35 dias as mudas controle + K_2SiO_3 apresentaram maior CRA. Aos 35 dias as mudas sob RH apresentaram menores valores embora as mudas RH+AS tenham apresentado valores superiores aos demais nesse mesmo regime hídrico.

Os valores de área foliar apresentaram pequenas variações aos 15 dias e não seguiram um padrão esperado, porém, aos 35 dias as mudas sob restrição hídrica apresentaram área foliar maior que as mudas controle, e a aplicação de K_2SiO_3 não favoreceu a manutenção da área foliar nessas mudas. As mudas tratadas com K_2SiO_3 tiveram valores semelhantes às mudas controle aos 35 dias. O comprimento de raiz inicialmente apresentou menores valores no período de 15 dias em mudas sob restrição hídrica, no entanto, aos 35 dias foram as que apresentaram maiores valores quando associados ao uso de ácido salicílico (28,77 cm) e do silicato de potássio (26,5 cm).

O índice de qualidade das mudas (IQD) de *T. esculenta* inicialmente diferiu estatisticamente e foi maior nas mudas sob RH+ K_2SiO_3 , e posteriormente, o efeito foi observado apenas nas mudas controle que receberam aplicação desse produto (Figura 5d).

Os teores de prolina nas folhas e raízes foram influenciados pela interação entre os fatores em estudo. A produção de prolina nas folhas aos 15 dias foi maior nas mudas controle + K_2SiO_3 , RH e RH+AS. Aos 35 dias, o aumento da prolina foi observado em todas as mudas sob RH. Nas raízes (Figura 5f), aos 15 dias, o maior valor de prolina (5,6 $\mu\text{mol/g}$) ocorreu nas mudas RH+AS seguido das mudas controle+ K_2SiO_3 . Aos 35 dias, as mudas sob restrição hídrica tiveram maiores valores, não ocorrendo diminuição em função do uso dos produtos.

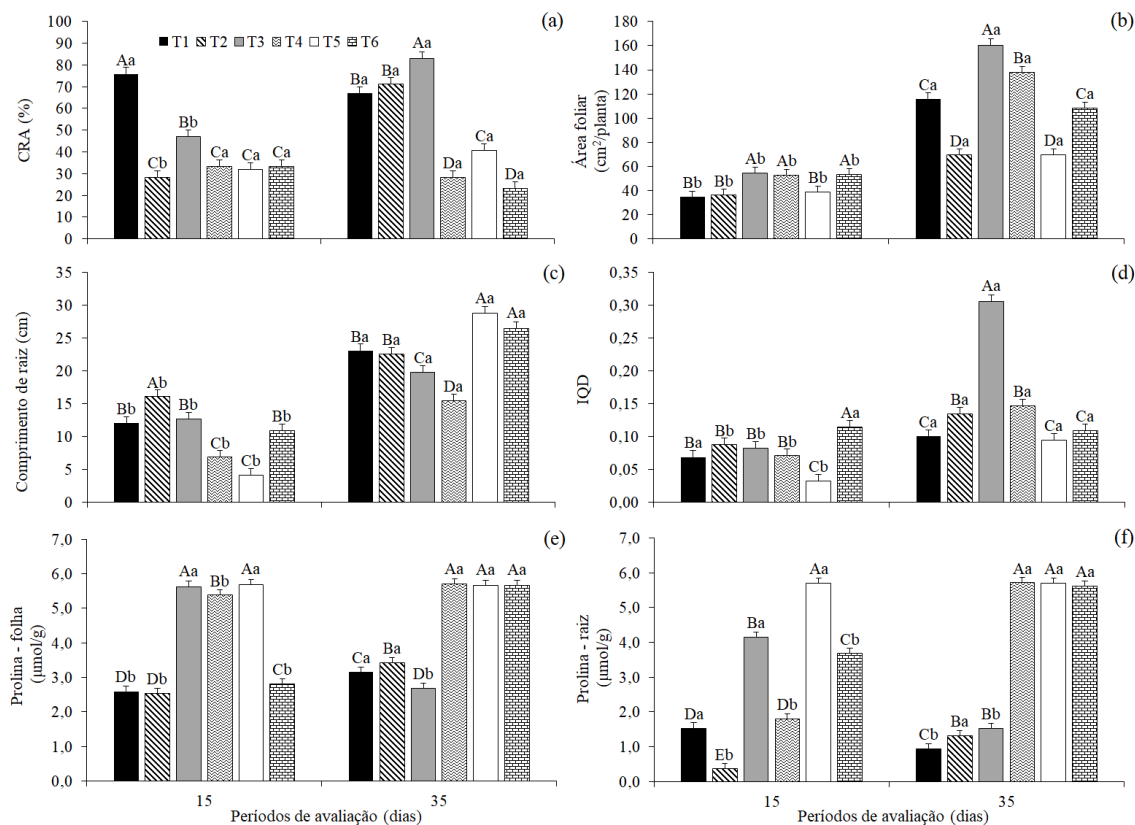


FIGURA 5. Conteúdo relativo de água na folha (a), área foliar (b), comprimento de raiz (c), índice de qualidade de Dickson (d) e teores de prolina nas folhas (e) e nas raízes (f) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. em função dos tratamentos de regimes hídricos (C= controle; RH= restrição hídrica) associadas ao uso do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K₂SiO₃) avaliadas aos 15 e 35 dias. Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, p<0,05). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, p<0,05). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃; T4 - RH; T5 - RH + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - RH + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃.

As mudas de *T. esculenta* cultivadas sob controle, independente da aplicação dos produtos, tiveram 100% de sobrevivência, enquanto que aquelas sob RH (Figura 6), RH+AS e RH + K₂SiO₃ tiveram 30%, 40% e 80%, respectivamente.



FIGURA 6. Estado geral de sobrevivência de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk., após 35 dias submetidas à restrição hídrica. Fonte ALMEIDA, J.L.C.S. (2021).

4 Discussão

As mudas de *T. esculenta* são sensíveis à restrição hídrica, a qual causou prejuízos nos processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese embora tenha afetado pouco o crescimento. Os efeitos negativos da restrição hídrica nas mudas de *T. esculenta* aumentaram em função do aumento do tempo de exposição à condição estressante, sendo que o uso de K_2SiO_3 teve ação benéfica no menor período de exposição ao estresse (15 dias) para características como A , A/C_i , $EiUA$, g_s , F_v/F_m , F_v/F_0 , índices de clorofilas, comprimento de raiz e qualidade das mudas, quando mitigou o efeito estressante da restrição hídrica, sendo importante indutor de ajustes das mudas a essa condição estressante.

A redução da taxa fotossintética nas mudas sob RH especialmente aos 35 dias, deve-se ao fato de que sob baixa disponibilidade hídrica as mudas apresentaram significativa redução do conteúdo relativo de água nas folhas e da eficiência de carboxilação da Rubisco já aos 15 dias, da condutância estomática e índices de clorofilas aos 35 dias, fatores que, associados, contribuíram para reduzir a eficiência fotossintética das mudas. Resultados semelhantes também foram observados para *Calophyllum brasiliense* (Cambess.) (REIS et al., 2018) *Copaifera langsdorffii* Desf. (ROSA et al., 2017) e *Eugenia myrcianthes* Nied (FORESTI et al., 2022).

É importante ressaltar que, apesar da redução da taxa fotossintética, as

características de crescimento avaliadas, como a área foliar e o índice de qualidade de Dickson (IQD), não apresentaram expressivo efeito negativo em comparação com os demais tratamentos. No entanto, foi observada redução no conteúdo de clorofilas, sendo que as mudas tratadas com AS e K_2SiO_3 apresentaram uma menor redução aos 35 dias.

Destaca-se que apesar das menores gs observadas nas mudas sob RH o CRA não se manteve elevado, não reduziu a perda de água por transpiração foliar e com isso levou à menor turgescência das folhas e limitou a captação (entrada) de CO_2 , prejudicando a taxa de assimilação (ROSA et al., 2017; NUNES et al., 2017). A *EiUA* baseada nas relações entre fotossíntese e condutância estomática, comprova o efeito danoso da restrição hídrica nas mudas de *T. esculenta* podendo refletir nas características bioquímicas (SANTOS et al., 2021) uma vez que a redução da *EiUA* está associada a diminuição da atividade fotossintética e perda de turgor.

Esses resultados comprovam parcialmente nossa hipótese inicial, entretanto, o efeito prolongado do K_2SiO_3 não foi significativamente diferente do tratamento com AS uma vez que, ou não conseguiu mitigar os danos da restrição hídrica ou as respostas foram significativamente semelhantes às respostas induzidas pelo AS. Ressalta-se que o AS na dose avaliada não apresentou efeito satisfatório na mitigação do estresse em mudas de *T. esculenta*.

A RH aos 35 dias de avaliação reduziu os pigmentos fotossintéticos assim como relatado por Nunes et al. (2017), que atribuíram ao estresse hídrico a diminuição da concentração de pigmento fotossintético.

Em estudo realizado por Cavalcante et al. (2020), o índice de clorofila em mudas controle de *T. esculenta*, a média para Clorofila-*a* de 23,9, Clorofila-*b* de 5,67 e Clorofila total 30,7, foram próximos aos valores obtidos neste trabalho aos 15 dias, salientando que Clorofila *a* e *b* nas mudas sob RH apresentaram aumentos quando tratadas com K_2SiO_3 . Resultados semelhantes foram relatados por Čermelj et al. (2022) em que o tratamento com Si aumentou o índice de clorofila *a* em cevada, sugerindo que uso de Si pode ter potencial para mitigar alguns dos efeitos negativos da restrição hídrica sobre o metabolismo fotossintético em mudas de *T. esculenta*.

De acordo com Harizanova e Koleva-Valkova (2019), o fornecimento de silício teve um efeito positivo na taxa fotossintética e no conteúdo de pigmentos fotossintéticos em plantas de pepino submetidas a estresse salino. Os autores relatam que o conteúdo de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides aumentou com o fornecimento de silício, o que contribuiu para melhorar o efeito prejudicial da salinidade

sobre as plantas.

A baixa disponibilidade hídrica ocasiona menor síntese de clorofila e promove degradação desse pigmento, por meio de danos oxidativos em reflexo ao acúmulo de carboidratos e produção de ERO (GAVASSI et al., 2019). Observamos resposta benéfica da aplicação do K_2SiO_3 e também do AS aos 35 dias em comparação às mudas que não receberam aplicação desses produtos. Esse efeito benéfico do AS também foi observado em *S. terebinthifolia*, quando a aplicação de 200 mg L^{-1} de AS contribuiu na menor degradação dos pigmentos fotossintéticos (SANTOS et al., 2022). Segundo esses autores, a aplicação exógena do AS favorece a regulação osmótica e evita danos nas membranas, favorecendo a integridade dos tilacoides. Rodrigues et al. (2011) também apresentaram resultados benéficos do uso do Si no aumento do conteúdo de clorofila em gramíneas sob condições de baixa disponibilidade hídrica do solo.

A restrição hídrica foi condição estressante para as mudas de *T. esculenta*, uma vez que as características do metabolismo fotoquímico apresentaram respostas indicativas de estresse, conforme já relatado na literatura (REIS et al., 2020; LINNÉ et al., 2021; SILVA et al., 2021). O aumento da F_0 e F_0/F_m sob RH, sugere danos ao aparato fotoquímico com danos no centro de reação, pois a redução da fotólise da água promove inativação parcial da transferência de elétrons entre os aceptores da cadeia de transporte, ocasionado maior dissipação de energia na forma de fluorescência (SANTOS et al., 2021; 2022; SILVA et al., 2021), pelo desacoplamento do complexo antena do FSII e seu respectivo centro de reação (CINTRA et al. 2020).

Ressaltamos que o aumento de F_0 foi mais significativo quando as mudas estavam sob RH+AS, assim como aos 15 dias de avaliação, com redução aos 35 dias de avaliação, esta redução poderia sugerir plasticidade fisiológica das mudas de *T. esculenta* em se ajustarem ao fator de estresse. Entretanto, as mesmas mudas aos 15 dias também apresentaram redução significativa do F_v/F_m com redução mais acentuada em todas as mudas sob restrição hídrica, sendo acompanhada de elevação da F_0/F_m o que comprova o efeito estressante da restrição hídrica em *T. esculenta*, assim como observado por Reis et al. (2020) em mudas de *C. brasiliense*.

Embora os valores de F_0 tenham reduzido aos 35 dias, os danos aos aspectos bioquímicos da fotossíntese foram mais acentuados nesse período, sugerindo que os danos iniciais influenciaram as trocas gasosas ao longo do tempo.

Destacamos que as respostas quanto ao AS varia entre as espécies. Poór et al. (2019) observaram que o uso de AS, em baixas quantidades, em mudas de *Solanum*

lycopersicum L. cv. Ailsa Craig, não causou alterações significativas nos parâmetros F_0 e F_m após os tratamentos em duas condições ambientais. Em mudas de *Eugenia mircyanthes* Nied (FORESTI et al., 2022) e *Schinus terebinthifolia* Raddi (SANTOS et al., 2022), a aplicação exógena aliviou o efeito estressante do déficit hídrico.

A fluorescência da clorofila *a* tem sido utilizada como ferramenta de investigação na fisiologia do estresse, tornando-se um indicador baseado na emissão e no rendimento fotoquímico. Mudanças de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (REIS et al., 2020), *Campomanesia xanthocarpa* Mart. (SANTOS et al., 2021), *Cedrela odorata* L. (SILVA et al., 2021) e *Schinus terebinthifolia* Raddi (SANTOS et al., 2022) tiveram redução da eficiência fotoquímica no fotossistema II sob déficit hídrico, indicando condição estressante e fator de sensibilidade para essas espécies, semelhante ao observado para *T. esculenta*.

Os valores de referência para a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) oscilam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹ para plantas com aparelho fotossintético intacto, como indicado por estudos de Maxwell e Johnson (2000) e Reis e Campostrini (2011) e reforçado por CINTRA et al. (2020). Dessa forma, a redução da F_v/F_m abaixo desse intervalo, como observado em mudas de *T. esculenta* sob restrição hídrica, indica debilidade na capacidade do transporte de elétrons entre os aceptores no FSII e, conseqüentemente, condição estressante para as plantas (REIS et al., 2020; SANTOS et al., 2021).

A redução da F_v/F_m e F_v/F_0 influenciam diretamente a redução de *A*, uma vez que nos processos fotoquímicos ocorre a produção de energia que é reduzida (SANTOS et al., 2021), e conseqüentemente, resulta em menor eficiência de carboxilação da enzima RuBisCO (FORESTI et al., 2022). Com isso, o estresse nas mudas RH aos 15 dias de avaliação e nas demais mudas aos 35 dias, é considerável e, de forma semelhante, foi observado para a eficiência de conversão de energia (F_v/F_0), indicando que o estresse hídrico foi um fator observado com menor efeito aos 15 dias com uso de ácido salicílico.

De maneira geral, a aplicação de K_2SiO_3 e AS teve um efeito limitado nos processos fotoquímicos da fotossíntese por um período prolongado de tempo, indicando que a eficácia desses produtos em relação às trocas gasosas, especialmente na fotossíntese, pode ser temporária para essa espécie. É possível que em doses mais elevadas ou em combinação com outros tratamentos, esses produtos possam ter efeitos mais significativos.

O déficit hídrico no solo é tipicamente caracterizado pela diminuição do teor

de água na planta, bem como do turgor e do potencial hídrico total (COTRIM et al., 2011). Portanto, era de se esperar uma redução no CRA das mudas sob restrição hídrica. Entretanto, a aplicação de AS e K_2SiO_3 não mitigaram o efeito da restrição hídrica inicialmente, prejudicando inclusive a manutenção do CRA das mudas controle.

Somente aos 35 dias de avaliação, as mudas submetidas à restrição hídrica e tratadas com AS apresentaram um CRA maior em relação às outras mudas sob restrição hídrica. Embora o uso de K_2SiO_3 seja conhecido por proporcionar uma maior vantagem no parâmetro do CRA em mudas sob restrição hídrica, esse benefício não foi observado nas mudas de *T. esculenta* avaliadas neste estudo. Isso pode estar relacionado ao fato de que, segundo a literatura, a maior parte do silício é depositado nas folhas, nos tecidos da epiderme em suas paredes celulares e forma uma camada sobre o poro estomático (SANTOS et al., 2022)

Assim, o uso de K_2SiO_3 proporcionaria maior vantagem nas mudas sob restrição hídrica, no parâmetro do CRA, o que induziria ao efeito benéfico de manutenção da turgescência das folhas, mas esse benefício não foi observado nas mudas de *T. esculenta*. Em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied. Foi observado ação benéfica do silício na manutenção do CRA (SANTOS et al., 2022).

O efeito AS na tolerância da RH também foi sugerido em outras espécies, como *Vigna unguiculata* L. Walp. e *Hordeum vulgare* L. (Habibi, 2012) *E. myrcianthes*, (Foresti et al., 2022) pulverizadas com AS, as quais mantiveram maior CRA do que plantas não tratadas com AS.

Ressaltamos que a aplicação do AS e do K_2SiO_3 embora tenha estimulado positivamente o crescimento das raízes sob RH não foram eficientes em estimular a área foliar e a qualidade das mudas. Devemos considerar que o período de 35 dias pode ter sido insuficiente para as mudas conseguirem se ajustar às condições estressantes e retomar o crescimento, considerando que a espécie em estudo é uma arbórea que apresenta longo período juvenil. Assim, para se ter maior clareza sobre o potencial benéfico do AS e K_2SiO_3 em mitigar o efeito do estresse hídrico sobre o crescimento, sugerimos que essas avaliações poderiam ser realizadas em um período mais longo.

A manutenção da área foliar é um importante indicador da tolerância de plantas ao estresse hídrico, já que o crescimento foliar interfere diretamente na capacidade produtiva. Em estudos realizados em outras espécies, foi verificado que a aplicação de K_2SiO_3 contribuiu na manutenção da área foliar sob estresse hídrico. Pereira et al. (2019), em avaliação do crescimento de *Capsicum annuum* L., indicaram a manutenção da área

foliar em doses de K_2SiO_3 . Em estudo realizado por Basso Júnior et al. (2021) com *Inga vera* Willd., também foi observada a manutenção da área foliar com a aplicação de silício. Neste estudo, aos 35 dias de avaliação, mudas Controle + K_2SiO_3 e RH + K_2SiO_3 de *T. esculenta* apresentaram manutenção da área foliar.

Como resultado da escassez de água no solo, alterações destrutivas nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas reduzem seu crescimento (SIDDQUI et al., 2015; ATTIA et al., 2021; DESOKY et al., 2021; MANSOUR et al. al., 2021). Entretanto, no presente estudo, apesar da restrição hídrica, não foram observadas reduções drásticas no crescimento das mudas de *T. esculenta*, como evidenciado pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) nas mudas submetidas à restrição hídrica.

O comprimento de raízes (CR) é influenciado pelo crescimento das plantas em resposta à restrição hídrica, sendo uma resposta esperada das plantas ao déficit hídrico. As plantas tendem a ter maior expansão celular do tecido radicular, induzida pelo ácido abscísico (TAIZ et al., 2017). Esse aumento no CR foi observado nas mudas de *T. esculenta* em que houve aplicação de ácido salicílico e K_2SiO_3 , de forma mais evidente aos 35 dias.

Mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi apresentaram boas respostas fisiológicas e de crescimento quanto à aplicação de AS sob déficit hídrico (SARACHO et al. 2021). Os autores relatam que este fitormônio melhora o sistema de defesa antioxidante, reduz as espécies reativas de oxigênio e aumenta a eficiência do uso da água e estimula a síntese de proteínas, contribuindo positivamente para o aumento da biomassa e da tolerância à seca.

O menor teor de prolina foi verificado nas mudas em RH com K_2SiO_3 aos 15 dias, entretanto, aos 35 dias ocorreu aumento acentuado em todas mudas sob RH, comprovando mais uma vez a condição estressante, isto porque o aminoácido prolina geralmente aumenta quando as plantas estão em condições estressantes, como mecanismo de osmoregulação (SILVA et al., 2019), diminuindo os danos causados nas células ao reduzir os efeitos negativos das espécies reativas de oxigênio (BORGIO et al., 2015).

Nesse sentido, o Si e o K contribuem, pois aliviam o estresse hídrico das plantas por meio de ajuste osmótico, redução do acúmulo de espécies reativas de oxigênio e melhoria da eficiência do uso da água (SARACHO et al., 2021; PEREIRA et al., 2019).

Neste contexto, o aumento da prolina em todos os tratamentos sob RH aos 35 dias de avaliação, indica plasticidade fisiológica das mudas *T. esculenta*, visto que o aumento da prolina pode estar relacionado ao controle de radicais livres para aliviar os

efeitos do estresse hídrico (MERWAD et al., 2018), bem como osmorregulação (FARHAD et al., 2011; LIU et al., 2011; MOAVENI, 2011). Essas respostas também foram observadas em mudas de *Fragaria* × *ananassa* ‘Camarosa’ sob déficit hídrico (DEHGHANIPOODEH et al., 2018).

O efeito negativo da restrição hídrica sobre o crescimento das mudas de *T. esculenta* foi prolongado com a aplicação exógena de ácido salicílico e silicato de potássio, o que sugere que essa espécie apresenta uma plasticidade fisiológica temporária para lidar com o estresse hídrico. Este resultado está de acordo com estudos em outras espécies, que também mostram a capacidade das plantas de ajustarem seu metabolismo em resposta a condições adversas, por meio de mecanismos como a síntese de compostos antioxidantes. (BASTOS et al. 2022).

Os maiores valores de sobrevivência em mudas sob RH tratadas com aplicação de AS e K_2SiO_3 se devem ao fato desses produtos induzirem respostas fisiológicas benéficas, tais como a manutenção da turgescência devido à presença de silício nas paredes celulares, o que diminui os efeitos do déficit hídrico, conforme observado em mudas de *D. alata* (SILVA et al., 2022). Essas respostas podem ter contribuído para a maior sobrevivência das mudas sob RH+ K_2SiO_3 , mesmo com a redução na taxa fotossintética causada pela restrição hídrica.

Novos estudos testando o manejo da aplicação e doses de K_2SiO_3 e o AS devem ser realizados com a finalidade de se identificar quais são as melhores dosagens a serem utilizadas na produção de mudas, sendo que foi possível verificar efeitos potenciais do uso destes elementos em *T. esculenta*. O ácido salicílico e silicato de potássio não promoveram efeito residual, aqui representado aos 35 dias, como agentes mitigadores, demonstrando seu efeito benéfico até 15 dias.

5 Conclusões

Durante o período avaliado, a restrição hídrica teve efeito negativo sobre o metabolismo fotossintético das mudas de *T. esculenta*, com redução nos índices de clorofilas e aumento no conteúdo de prolina em folhas e raízes.

Não houve efeito negativo no crescimento das mudas de *T. esculenta*, mas o aumento do tempo de submissão das mudas ao estresse acentuou os efeitos negativos sobre o aparato fotossintético e a qualidade das mudas.

O uso de silicato de potássio e do ácido salicílico mitigou alguns efeitos negativos da restrição hídrica sobre o metabolismo fotossintético em mudas de *T. esculenta*, principalmente em um menor período de exposição ao estresse. No entanto, não houve efeito desses compostos no crescimento das mudas.

São necessários novos estudos para determinar as melhores dosagens e manejos para a aplicação de silicato de potássio e ácido salicílico em mudas de *T. esculenta*, a fim de maximizar seus efeitos benéficos na mitigação do estresse hídrico.

6 Referências Bibliográficas

ATTIA, A.; EL-HENDAWY, S.; AL-SUHAIBANI, N.; TAHIR, M. U.; MUBUSHAR, M.; VIANNA, M. S.; ULLAH, H.; MANSOUR, E.; DATTA, A. Sensitivity of the DSSAT model in simulating maize yield and soil carbon dynamics in arid Mediterranean climate: Effect of soil, genotype and crop management. **Field Crops Research**, v. 260, p. 107981, 2021.

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, n. 3, p. 453-460, 2014.

BASSO JUNIOR, I. J.; NAVARRO, V. L.; SANTOS, C. C.; SILVA, W. C.; SCALON, S. P. Q.; REIS, L. C. Silício no crescimento de mudas de *Inga vera* Willd. durante e após o déficit hídrico. In: IX Congresso Virtual de Agronomia, 2021. **Anais do IX Congresso Virtual de Agronomia**, 2021. p. 1-5.

BASTOS, S. S.; SCALON, S. P. Q.; SOUZA, A. P. R.; DRESCH, D. M.; JUNGLOS, F. S.; SCALON, L. Q.; MUSSURY, R. M.; FREITAS, V. M. B. Photosynthetic metabolism and antioxidant in *Ormosia arborea* are modulated by abscisic acid under water deficit? **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, n. 3, 12 p., 2022.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, J. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BORGO, L.; MAUR, C. J.; VIEIRA, L. G. E. Effects of high proline accumulation on chloroplast and mitochondrial ultrastructure and on osmotic adjustment in tobacco plants. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 191-199, 2015.

BUENO, M. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; PONTARA, V.; POTT, A.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, v. 73, p. 53-64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CAVALCANTE, A. G.; CAVALCANTE, A. C. P.; HENRIQUE, J. S.; DANTAS, M. M. M.; ZUZA, J. F. C.; ARAÚJO, R. C. Chlorophyll indexes and gas exchanges of *Talisia esculenta* seedlings in organic substrates and biofertilizer. **Scientia Plena, [S. l.]**, v. 16, n. 5, 8p. 2020. Disponível em: <https://www.scientiaplina.org.br/sp/article/view/5352>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ČERMELJ, A. M.; FIDERŠEK, E.; GOLOB, A.; MARŠIĆ, N. K.; MIKUŠ, K. V.; GERM, M. Different Concentrations of Potassium Silicate in Nutrient Solution Affects Selected Growth Characteristics and Mineral Composition of Barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plants**, v. 11, n. 11, 12 p., 2022.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; MENEZES, J. O. S.; PADILHA, R. C.; REZENDE, A. G.; MATOS, E. R. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27006-27014, 2020.

CREMON, T.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, D. B. C. J.; DRESCH, D. M. How does

Copaiifera langsdorffii respond to flooding under different irradiance levels?. **Plant Biosystems** - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, p.1-11, 2020.

DEHGHANIPOODEH, S.; GHOBADI, C.; BANINASAB, B.; GHEYSARI, M.; SHIRANIBIDABADI, S. Effect of silicon on growth and development of strawberry under water deficit conditions. **Horticultural Plant Journal**, v. 4, n. 6, p. 226-232, 2018.

DESOKY, E. S. M.; MANSOUR, E.; EL-SOBKY, E. S. E.; ABDUL-HAMID, M. I.; TAHA, T. F.; ELAKKAD, H. A.; ARNAOUT, S. M. A. I.; EID, R. S. M.; EL-TARABILY, K. A.; YASIN, M. A. Physio-biochemical and agronomic responses of faba beans to exogenously applied nano-silicon under drought stress conditions. **Frontiers in plant science**, 12. 2021.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Clima. Disponível em: <https://clima.cpao.embrapa.br/>. Acesso em: 17 ago. 2021.

FARHAD, W.; CHEEMA, M. A.; SALEEM, M. F.; SAQIB, M. Evaluation of Drought Tolerance in Maize Hybrids. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, n. 4., p. 523-528, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

FORESTI, A. C.; REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; SANTOS, C. C.; JESUS; M. V. Salicylic acid mitigating damage to the photosynthetic apparatus and quality of *Eugenia myrcianthes* seedlings under water deficit. **Rodriguésia**, v. 73, 2022.

GAVASSI, M. A.; GAION, L. A.; MONTEIRO, C. C.; SANTOS, J. C.; CARVALHO, R. F. Seed priming with sodium nitroprusside attenuates the effects of water deficit on soybean seedlings. **Comunicata Scientiae**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 176-184, 2019. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/2842>. Acesso em: 14 jul. 2022.

GUARIM NETO, G.; SANTANA, S. R.; SILVA, J. V. B. Repertório botânico da pitombeira (*Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk - Sapindaceae. **Acta Amazonica**, v. 33, n.2, p. 237-242, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392200332242>. Acesso em: 22 set. 2021.

HABIBI, G. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 56, n. 1, p. 57-63, 2012.

HARIZANOVA, A.; KOLEVA-VALKOVA, L. Effect of Silicon on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence parameters at hydroponically grown cucumber plants under salinity stress. **Journal of Central European Agriculture**, v. 20, n. 3, p. 953-960, 2019 Disponível em: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2312>. Acesso em: 11 set. 2022

LIU, C.; LIU, Y.; GUO, K.; FAN, D.; LI, G.; ZHENG, Y., YU, L.; YANG, R. Effect of

drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 2, p.174-183. 2011.

MANSOUR, E.; DESOKY, E. S. M.; ALI, M. M.; ABDUL-HAMID, M. I.; ULLAH, H.; ATTIA, A.; DATTA, A. Identifying drought-tolerant genotypes of faba bean and their agro-physiological responses to different water regimes in an arid Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 247, 2021.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668. 2000.

MERWAD, ABDEL-RAHMAN M. A; DESOKY, EL-SAYED M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018.

MOAVENI, P. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum*). **Agricultural Science Research Journal**, v. 1, n. 1, p. 64-68, 2011.

NUNES, D. P.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; GORDIN, C. R. B. Photosynthetic and enzymatic metabolism of *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings under water deficit. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 676-682. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416005517>. Acesso em: 01 jul. 2022.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F.S.; SALOMÃO, L.C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 82-88, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190113>. Acesso em: 01 jul. 2022.

POÓR, P.; BORBÉLY, P.; BÓDI, N.; BAGYÁNSZKI, M.; TARI, I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 367-376, 2019.

REIS, F.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira Agrocência**, v. 17, n. 3, p. 284-295, 2011.

REIS, L. C.; FORESTI, A. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D.; PEREIRA, Z. V. Effect of water deficit and abscisic acid on photosynthetic and antioxidant metabolism in seedlings of *Calophyllum brasiliense* (Cambess.). **Cerne**, v. 24, n. 4, p. 387-396, 2018.

REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D.; FORESTI, A. C.; SANTOS, C. C.; PEREIRA, Z. V. Chlorophyll a fluorescence as an indicator of water stress in *Calophyllum brasiliense*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 210-220, 2020. Disponível em: <https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11757>. Acesso em: 14 jul. 2022.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agrônomicas**, n. 134, p. 14-20, 2011.

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S.P.Q.; CREMON, T.; CECCON, F.; DRESCH, D. M. Gas exchange and antioxidant activity in seedlings of *Copaifera langsdorffii* Desf. under different water conditions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências (Online)**, v. 89, p. 3039-3050, 2017.

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M. Shading for water stress mitigation in *Copaifera langsdorffii* Desf. Seedlings. **South African Journal of Botany**, v.140, p. 240-248, 2021.

SANTOS, C. C.; LIMA, N. M.; SARACHO, L. C. S.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic acid alleviates water restriction on photochemical apparatus and quality of *Schinus terebinthifolia* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 10, p. 747-752, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. th ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 356 p. 2018.

SANTOS, C. C.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Hydrogel and water regimes in the chlorophyll-*a* fluorescence and growth of *Campomanesia xanthocarpa* seedlings. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 3, p. 330-337, 2021.

SANTOS, W. R.; SOUZA, L. S. B.; PACHECO, A. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F. Eficiência do Uso da Água para Espécies da Caatinga: uma Revisão Para o Período de 2009- 2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2573-2591. 2021.

SARACHO, L. C. S.; LIMA, N. M.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic acid increases Growth of *Schinus terebinthifolia* Seedlings Subjected to Varyng Irrigation Intervals. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n.1, p. 1-10, 2021.

SIDDIQUI, M. H.; AL-KHAISHANY, M. Y.; AL-QUTAMI, M. A.; AL-WHAIBI, M. H.; GROVER, A.; ALI, H. M.; AL-WAHIBI, M. S.; BUKHARI, N. A. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 12, p. 10214-10227, 2015.

SILVA, D. C.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L.; LIMA, L. M.; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 1, 2019.

SILVA, M. S.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C.; SILVERIO, J. M.; SANTOS, J. K. V.; DRESCH, D. M. Does silicon help to alleviate water deficit stress and in the recovery of *Dipteryx alata* seedlings? **Brazilian Journal of Biology**. vol. 82, 10 p., 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**, 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 339-366, 1981.

CAPÍTULO 2 – MITIGAÇÃO DO ESTRESSE POR ALAGAMENTO EM MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.

Resumo

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk. é uma frutífera nativa, com potencial alimentício, madeireiro e florestal, mas ainda não possui um sistema de produção bem definido, demandando que estudos sejam desenvolvidos acerca da sua ecofisiologia e de técnicas que possam mitigar o estresse hídrico e possibilitem sua produção. Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito da aplicação de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) na mitigação do alagamento em mudas de *T. esculenta*. As mudas foram produzidas sob dois regimes hídricos (C = controle e AL = alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) constituindo os seguintes tratamentos: T1) - C; T2) - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3) - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4) - AL; T5) - AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6) - AL + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 e foram avaliadas em três períodos (15, 30 e 45 dias). Aos 30 dias as mudas *T. esculenta* controle+AS e todas as alagadas apresentaram redução da área foliar, assim como aos 45 dias para as mudas alagadas + AS. O comprimento de raiz foi inicialmente maior nas mudas alagadas por 15 dias, todavia, não variou entre os tratamentos nos demais períodos. O IQD foi maior aos 30 dias nas mudas controle+ K_2SiO_3 . A eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) reduziu com o alagamento e foi menor nas mudas tratadas com ácido salicílico. As mudas de *T. esculenta* emitiram lenticelas a partir dos 7 dias de alagamento e suportam essa condição por 45 dias, apresentando menor atividade fotossintética. O silicato de potássio na dose 10 mL por planta foi mais eficiente em mitigar os efeitos do alagamento mais prolongado (45 dias) sobre as características de fluorescência da clorofila *a*, índices de clorofila, crescimento da área foliar e IQD que o ácido salicílico. A atividade das enzimas antioxidantes não foi característica decisiva na determinação da tolerância das mudas de *T. esculenta* ao alagamento. O uso de ácido salicílico se mostrou ineficaz em mitigar os danos sobre o metabolismo e crescimento de plantas alagadas. Foram observadas lenticelas em todos os tratamentos alagados. Assim, o uso de silicato de potássio pode ser uma estratégia eficiente para a produção e crescimento de mudas de *T. esculenta* em condições de alagamento prolongado.

Palavras-Chaves: pitombeira, ácido salicílico, silicato de potássio, trocas gasosas.

MITIGATION OF FLOODING IN SEEDLINGS OF *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.

Abstract

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk. is a native fruit tree with food, timber and forestry potential, but still lacks a well-defined production system, requiring studies to be developed on its ecophysiology and techniques that can mitigate water stress and enable its production. The objective of this study was to evaluate the effect of application of salicylic acid (SA) and potassium silicate (K_2SiO_3) in mitigating flooding stress in *T. esculenta* seedlings. The seedlings were produced under two water regimes (C = control and FL = flooded) associated with the use of salicylic acid (SA) and potassium silicate (K_2SiO_3) constituting the following treatments: T1) - C; T2) - C + 200 mg L⁻¹ SA; T3) - C + 10.0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4) - FL; T5) - FL + 200 mg L⁻¹ SA; T6) - FL + 10.0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 and were evaluated at three periods (15, 30 and 45 days). At 30 days, *T. esculenta* control+SA and all flooded seedlings showed a reduction in leaf area, and at 45 days for flooded seedlings + SA. Root length was initially greater in seedlings flooded for 15 days, but did not vary between treatments in the other periods. The Dickson Quality Index (DQI) was higher at 30 days in control seedlings + K_2SiO_3 . The quantum efficiency of photosystem II (F_v/F_m) decreased with flooding and was lower in seedlings treated with salicylic acid. *T. esculenta* seedlings emitted lenticels from the 7th day of flooding and were able to withstand this condition for 45 days, presenting lower photosynthetic activity. Potassium silicate at a dose of 10 mL per plant was more efficient in mitigating the effects of longer flooding (45 days) on fluorescence characteristics of chlorophyll a, chlorophyll indices, leaf area growth, and DQI than salicylic acid. The activity of antioxidant enzymes was not a decisive characteristic in determining the tolerance of *T. esculenta* seedlings to flooding. The use of salicylic acid was ineffective in mitigating the damage to the metabolism and growth of flooded plants. Lenticels were observed in all flooded treatments. Therefore, the use of potassium silicate can be an efficient strategy for the production and growth of *T. esculenta* seedlings under prolonged flooding conditions.

Keywords: Antioxidant changes, physiological aspect, photosystem II.

1 Introdução

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk. (pitombeira, Sapindaceae), é uma espécie florestal e frutífera nativa do Brasil, encontrada na região Amazônica, Cerrado e Mata Atlântica (GUARIM NETO et al., 2003; BUENO et al., 2018). A espécie apresenta interesse ecológico, econômico e medicinal, sendo indicada para o plantio e recuperação de matas ciliares, com alagamento temporário (GUARIM NETO et al., 2003). Devido à grande ocorrência no norte de Minas Gerais e às características adaptativas ao ambiente ripário, locais com baixa frequência e duração de inundação, *T. esculenta* é indicada para recuperação das matas ciliares (VIEIRA e GUSMÃO, 2008; UMETSU et al., 2011).

As alterações ambientais que sujeitam o solo a mudanças no *status* hídrico, como as inundações devido a quantidades acumuladas de precipitações, tem se elevado pelas ações antrópicas, levando a vulnerabilidade ambiental (AQUINO et al., 2017).

Sob alagamento a planta pode apresentar menor eficiência de assimilação e carboxilação de CO₂, o que, associado à deficiência de oxigênio no solo, pode reduzir drasticamente sua sobrevivência (YORDANOVA et al., 2004; FERNÁNDEZ-LIZARAZO; MORENO-FONSECA, 2016). A redução na disponibilidade de oxigênio para as células, causa alterações morfofisiológicas e bioquímicas nas plantas como a diminuição da respiração, fotossíntese, condutância estomática e eficiência de carboxilação da Rubisco (JUNGLOS et al. 2018; CREMON et al. 2020; BARBOSA et al. 2021), aumento de espécies reativas de oxigênio (EROs), limitação do crescimento das plantas (KISSMAN et al. 2014; BARBOSA et al. 2021), diminuição da eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) (LIU et al. 2014; Cremon et al. 2020) e produção de lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias (MELO et al., 2017; JUNGLOS et al. 2018; BARBOSA et al., 2021).

O conhecimento de estratégias que possam mitigar o efeito de ambientes estressantes sobre as mudas tem aumentado. Na literatura, verifica-se que o silício, especialmente na forma de silicatos (PEREIRA et al., 2019) e do ácido salicílico (SARACHO et al., 2021; WANG et al., 2021) contribuem positivamente na regulação metabólica favorecendo adaptação fisiológica e fotossintética submetidas a estresse por alagamento.

Estudos sobre o uso destes produtos em espécies nativas estão gradualmente aumentando, visto que o sucesso das atividades de recuperação de áreas sujeitas ao

alagamento depende cada vez mais de conhecimento de respostas ecofisiológicas. Neste contexto, não se conhece as respostas morfofisiológicas da *T. esculenta* a essas condições adversas, tornando-se necessários estudos que possibilitem o cultivo e plantio dessa espécie para os mais variados fins.

Hipotetizamos que as mudas de *T. esculenta* são sensíveis ao alagamento prolongado, mas que a aplicação foliar de silicato de potássio e ácido salicílico podem mitigar os efeitos do excesso hídrico sobre o metabolismo fotossintético e antioxidante, mantendo o crescimento das mudas. Assim, o objetivo deste trabalho avaliar o potencial do ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3) em mitigar o estresse por alagamento em mudas de *T. esculenta*.

2 Material e Métodos

O presente estudo foi realizado no viveiro da Faculdade de Ciências Agrárias na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados – MS, durante os meses de março de 2021 a junho de 2021.

A coleta dos frutos foi realizada em dez matrizes localizadas em área de pastagem próxima a fragmentos florestais na área rural do município de Glória de Dourados (coordenadas -22.376577, -54.149734, elevação de 396 m). Os frutos foram beneficiados manualmente e as sementes sanitizadas em hipoclorito de sódio a (2,0% de cloro ativo, v:v), por 5 minutos, lavadas em água corrente e semeadas em tubetes de 50 x 190 mm, contendo substrato comercial Carolina Soil[®] (condutividade elétrica 0,4 mS cm⁻¹, umidade máxima +- 60 % m m⁻¹, densidade seca 130 kg m⁻³, capacidade de retenção de água 350 % m m⁻¹, composição: turfa, vermiculita e calcário). Os tubetes foram mantidos sob casa de vegetação com cobertura superior de tela de sombreamento de 50%, sendo irrigados três vezes ao dia com microaspersores e nebulizadores automáticos, de acordo com a programação da casa de vegetação.

Aos 60 dias após a semeadura ao atingirem a média de 13 cm de altura, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 7 kg, previamente preenchidos com Latossolo Vermelho Distroférico, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), e areia grossa (3:1 v:v) cujos atributos químicos encontram-se na Quadro 1 (com areia 440 g kg⁻¹, silte 70 g kg⁻¹ e argila 490 g kg⁻¹).

As mudas foram mantidas no viveiro com sombreamento de 30% durante 30

dias, caracterizando o período de aclimatização. Após esse período, a aplicação do K_2SiO_3 e do AS foi realizada no período matutino via foliar na face abaxial e adaxial até ponto de gotejamento (10 mL por planta, pré-teste) em aplicação única um dia antes da submissão aos regimes hídricos. As fontes utilizadas foram: silicato de potássio, com 12% em peso (168 g L^{-1}) de Si e 15% em peso (210 g L^{-1}) de K_2O , condutividade elétrica de $2,93 \text{ mS cm}^{-1}$, densidade $1,40 \text{ g L}^{-1}$, pH 10,96, natureza física fluida. O ácido salicílico utilizado foi o P.A., ambos diluídos em água destilada.

As mudas foram mantidas no viveiro de 30% de sombra. Estas foram divididas em dois grupos, sendo o primeiro com a irrigação contínua mantendo o conteúdo relativo de água do substrato em 70% e o segundo em que as mudas foram acomodadas em piscinas de plástico de 1500 L com lâmina de água de aproximadamente 5 cm acima da superfície do substrato.

As mudas foram submetidas aos regimes hídricos associados a aplicação de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3), constituindo os seguintes tratamentos: T1 – C (controle) = irrigação realizada diariamente mantendo 70% da capacidade de retenção de água no solo; T2 – C + 200 mg L^{-1} AS; T3 – C + $10,0 \text{ mL L}^{-1}$ K_2SiO_3 ; T4 – AL (Alagada); T5 – AL + 200 mg L^{-1} AS; T6 – AL + $10,0 \text{ mL L}^{-1}$ K_2SiO_3 . Foram realizadas limpezas semanais das piscinas, com troca total do volume de água.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado e os tratamentos arranjados no esquema de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os períodos de avaliação, com cinco repetições, sendo que cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas cada.

As mudas no tempo zero apresentaram os seguintes valores médios: área foliar = $39,2 \text{ cm}^2$, fotossíntese (A) = $5,65 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) = 0,707 e índice de qualidade de mudas (IQD) = 0,06.

QUADRO 1. Análise química do substrato utilizado no experimento das mudas de *T. esculenta*. Dourados, UFGD, 2021.

pH ¹ H ₂ O	pH ² CaCl ₂	H+Al ³	Ca ⁴ (Trocável)	Mg ⁵ (Trocável)	K ⁶ (Trocável)	CTC ⁷ pH 7,0	P ⁸ Mehlich	M.O. ⁹ (Oxidação)	V ¹⁰
cmol _c /dm ³						(mg/dm ³)		(%)	
5,09	4,46	2,63	1,50	0,70	0,06	4,89	0,71	6,38	46,22

¹pH em água; ²pH em Cloreto de Cálcio; ³Hidrogênio + Alumínio; ⁴Cálcio-formas trocáveis; ⁵Magnésio-formas trocáveis; ⁶Potássio-formas trocáveis (Mehlich I); ⁷Capacidade de troca de cátions (pH 7,0); ⁸Fósforo-formas trocáveis (Mehlich I); ⁹Matéria orgânica ($K_2Cr_2O_7$); ¹⁰Saturação de bases.

Características avaliadas:

As avaliações realizadas aos 15, 30 e 45 dias após a submissão das mudas aos diferentes tratamentos foram:

- **Trocas gasosas:** a taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) foram quantificadas utilizando um sistema portátil de analisador de gás por infravermelho (IRGA) – LCI PRO – SD (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, em folhas expandidas localizadas no terço médio, previamente marcadas do início ao fim do experimento, sendo avaliadas folhas intermediárias maduras de idade similar em uma planta de cada repetição. A partir dos dados de trocas gasosas calculou-se a eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência do uso da água ($\text{EUA} = A/E$, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). As avaliações foram realizadas sob intensidade luminosa de $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, considerando as condições climáticas favoráveis.

- **Fluorescência da clorofila-*a* e processos fotoquímicos:** a determinação da fluorescência foi realizada entre 8 e 11h nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações das trocas gasosas. As folhas foram submetidas à condição de escuro por 30 minutos, utilizando cliques foliares com a finalidade de induzir a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons dos centros de reação, em seguida foram expostas a um flash de 1 segundo, com intensidade de $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e foi determinada a emissão da fluorescência inicial (F_0), fluorescência variável (F_v), fluorescência máxima (F_m) da clorofila-*a* e eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando um fluorômetro portátil de excitação contínua OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). A partir desses dados, calculou-se a eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (F_0/F_m).

- **Índice de clorofila:** a determinação dos índices de clorofila *a*, *b* e total foi realizada em folhas plenamente expandidas e maduras, entre 8 e 11h, utilizando clorofilômetro portátil (FALKER CFL 1030).

- **Conteúdo relativo de água nas folhas (CRA):** O conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinado conforme metodologia de Turner (1981), após cada período de análise, em quatro folhas de cada tratamento, pela equação: $CRA = (MF - MS)/(MMS - MS)*100$. No qual, MF: = massa fresca, MS = massa seca, MMS: massa da matéria saturada. As folhas foram retiradas das plantas sempre entre às 7 e 8h da manhã e levadas imediatamente ao laboratório, onde foram cortadas com vazador de cilindros. Os discos foliares foram pesados para obter a massa fresca e depois deixados em placa de Petri, adicionando água destilada e cobertos com papel alumínio por um período de 24h e novamente, pesados para obter a massa saturada. Em seguida, os discos foliares foram colocados em sacos de papel e acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar à 60 ± 5 °C durante 48 horas e pesados para obter a massa seca.

Crescimento: as mudas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes, então medida a altura (Alt), tendo como padrão de avaliação a distância entre o coleto e a inflexão da folha mais alta, e comprimento de raiz (CR) com régua graduada em centímetros; diâmetro do coleto (DC) determinado com auxílio de um paquímetro, com os resultados expressos em milímetros (mm); a área foliar (AF) foi determinada utilizando um integrador de área (LI-COR, 3100 C – Area Meter – Nebraska). Para obtenção das biomassas secas e frescas da parte aérea e raiz, o material foi pesado em balança de precisão antes e após o acondicionamento em estufa com circulação forçada de ar a 60 ± 5 °C, até a massa constante. Utilizando os dados de biomassa foi calculado o índice de qualidade das mudas de acordo com Dickson et al. (1960) utilizando a seguinte equação: $IQD = MST/RAD + RPAR$, em que: MST: massa seca total, RAD: relação altura diâmetro e RPAR– relação parte aérea/raízes.

Sobrevivência e estado geral das plantas: a sobrevivência foi avaliada com base na contagem das mudas vivas capazes de manter o metabolismo e o crescimento. As mudanças morfológicas, como o desenvolvimento de estruturas acessórias (lenticelas e raízes adventícias), clorose e senescência, foram consideradas na avaliação do estado geral das plantas.

- **Quantificação de prolina:** a quantificação de prolina foi adaptada segundo a metodologia de Bates et al. (1973), na qual folhas e raízes foram utilizados. O ácido-ninidrina foi preparado aquecendo 2,50 g de ninidrina em 60 mL de ácido acético glacial e 40 mL de ácido fosfórico 6M, com agitação até ser dissolvido, após mantido em resfriamento. Aproximadamente 0,5 g de material vegetal (folha e raiz, separadamente)

foi macerado em nitrogênio líquido e armazenado em ampolas e acondicionados sob refrigeração. Em seguida, o material vegetal foi homogeneizado em 10 mL de ácido sulfossalicílico aquoso a 3% e o homogenato filtrado através de papel filtro nº 2 da Whatman. Em tubo de ensaio, foi colocado 1 mL de ácido acético, 1 mL de ácido ninhidrina e 1ml de extrato vegetal. O extrato foi homogeneizado por agitação e em seguida incubado a 100 °C por 1 h, em banho termostático. A mistura de reação foi extraída com 2 mL de tolueno, misturado vigorosamente com um agitador de tubo de ensaio por 15-20 seg. O cromóforo contendo tolueno foi aspirado da fase aquosa, aquecido à temperatura ambiente e a absorbância lida a 520 nm em espectrofotômetro Bioespectro, sendo utilizado como controle (branco) somente tolueno. A concentração de prolina foi determinada a partir de uma curva padrão é calculada com base na massa fresca da seguinte forma: $[(\mu\text{g prolina} / \text{mL} \times \text{mL de tolueno}) / 115,5 \mu\text{g} / \mu\text{mol}] / [(g \text{ amostra}) / 5] - = \mu \text{ moles de prolina massa fresca (g)}^{-1}$.

- **Atividade das enzimas antioxidantes** (preparo do extrato): a análise enzimática foi realizada conforme modificações na metodologia descrita por Broetto (2014). Após colhidas, as folhas e raízes de *T. esculenta* de todos os tratamentos e repetições foram congelados em nitrogênio líquido e macerados. De cada amostra foi pesado 1 g e macerado em solução contendo 0,3 g de polivinilpirrolidona (PVP), diluído em 100 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M), na qual foram adicionados 6 mL. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 20 minutos a 4 °C e o sobrenadante utilizado como extrato enzimático.

- **Atividade de superóxido dismutase (SOD)**: para realizar a análise da enzima superóxido dismutase foi preparada uma solução contendo 2,0 mL de L-metionina (13 mM); 2,0 mL de azul de nitrotetrazolio (NBT) (0,44 mM); 2,0 mL de ácido etilenediaminotetracético (EDTA) (100 nM); 3,2 mL tampão fosfato de potássio (0,1 M) e 0,8 mL de riboflavina (1 mM). Em um tubo de ensaio, adicionou-se 3 mL dessa solução para cada repetição e em seguida, 100 µL de extrato enzimático. Os tubos foram levados para BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) contendo lâmpadas fluorescentes de 15 W, a 25°C e permaneceram por 15 minutos. Em seguida, os tubos foram retirados da fonte luminosa e a leitura da atividade da SOD foi realizada em espectrofotômetro Bioespectro a 560 nm com três repetições por tratamento. A atividade da SOD foi expressa em unidades de atividade \times^{-1} de matéria seca (SOD - $\mu\text{g MF}^{-1}$).

- **Atividade da peroxidase (POX)**: a atividade da enzima peroxidase determinada por

meio da adição de 2 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 7,0) e 10 μ L de extrato em tubo de ensaio. Os tubos foram levados para banho-maria até a estabilização da temperatura a 25°C. Em seguida, adicionou-se 200 μ L de guaiacol (0,5%) e 200 μ L de peróxido de hidrogênio (0,08%) e imediatamente, realizou-se a leitura na absorvância a 470 nm no espectrofotômetro Biospectro, com três repetições por tratamento. O resultado foi expresso em μ mol tetraguaiacol produzido por mg de proteína.

- **Proteína total:** realizada por meio da determinação quantitativa pelo método de Bradford (1976), sendo que no preparo do extrato foram utilizadas material fresco congelado em nitrogênio líquido. As leituras de absorvância (Metash Visible Spectrophotometer - modelo V5000) foram realizadas em triplicatas no comprimento de onda de 595 nm. Sendo a proteína expressa em mg de proteína por g de MF⁻¹.

- **Dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR):** os dados de temperatura (°C) externa ao viveiro e umidade relativa (UR) externa foram obtidos do banco de dados da estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados/MS, localizada a 23,4 km do local do experimento, durante o período experimental (Figura 1).

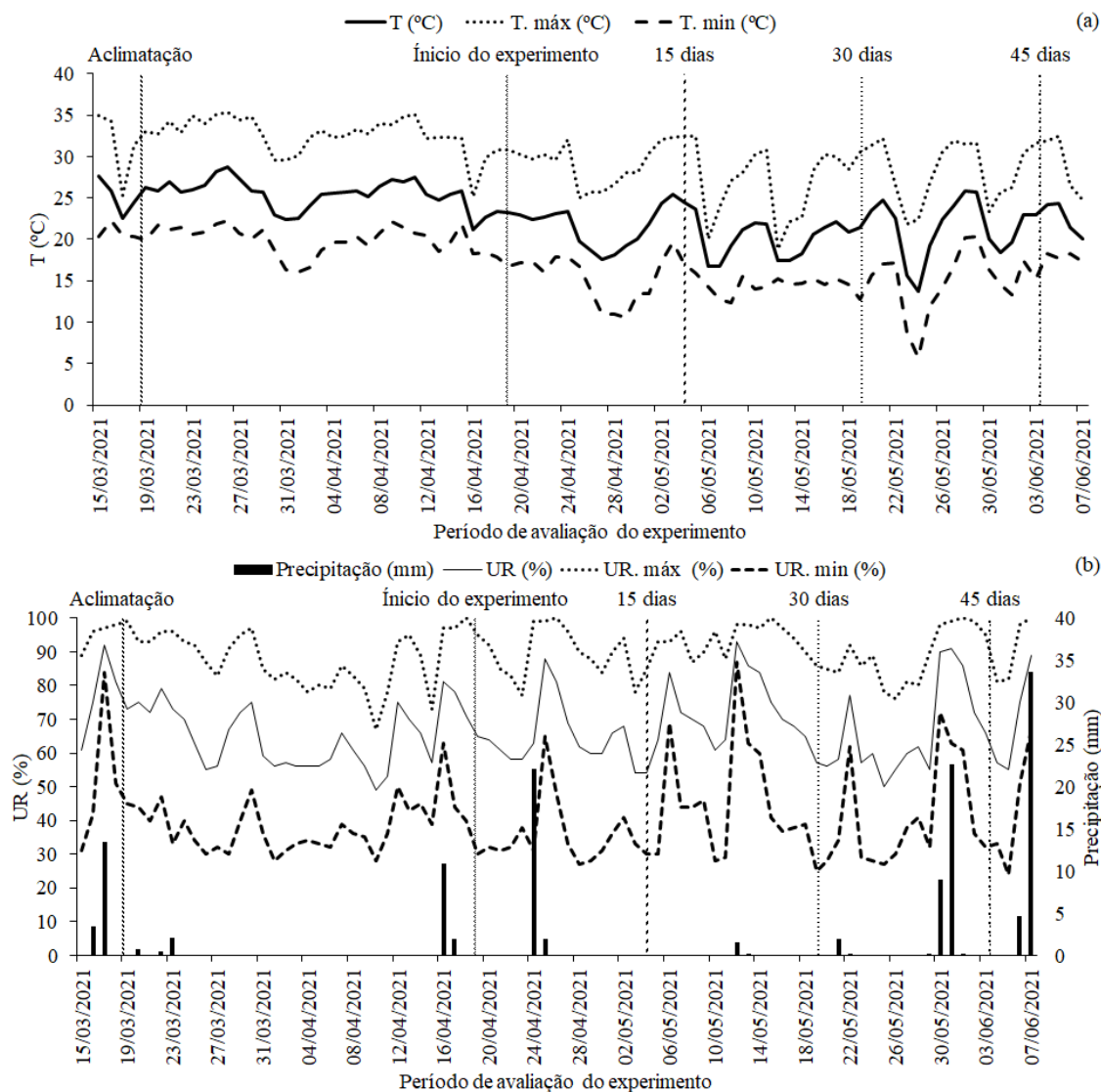


FIGURA 1. Dados referentes a temperatura (a) e umidade relativa (b) médias durante as avaliações, Dourados – MS, 2021. Fonte: EMBRAPA, 2021.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) e as médias das épocas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 Resultados

A maioria das características avaliadas nas mudas de *T. esculenta* foi influenciada pela interação entre os tratamentos e períodos de avaliação. No entanto, a proteína total de folhas foi afetada isoladamente pelos tratamentos, enquanto a proteína total de raiz foi afetada pelos tratamentos e períodos de avaliação. A atividade da superóxido dismutase de raiz também apresentou um efeito isolado dos tratamentos.

As mudas cultivadas sob condições alagadas tiveram menores valores de taxa fotossintética (A), independente do período avaliado e aplicação ou não do ácido salicílico e do silicato de potássio, os quais não variaram significativamente entre si (Figura 2a).

A eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i) e a condutância estomática foram semelhantes à A , reduzindo com o alagamento independente do período (Figuras 2 b, d). Entretanto, aos 30 dias as mudas tratadas com AS mantiveram valores de A/C_i mais elevados que o das demais mudas alagadas. A condutância estomática (g_s) foi menor nas mudas tratadas com AS e K_2SiO_3 aos 15 e 45 dias. A concentração interna de CO_2 (C_i) não variou significativamente durante as avaliações, não havendo diferença entre o uso ou não dos mitigadores, exceto aos 30 dias nas mudas alagadas e tratadas com AS e K_2SiO_3 que houve redução da C_i (Figura 2c).

A eficiência do uso da água (EUA) não apresentou um padrão de comportamento, reduzindo com o alagamento aos 15 dias, aumentando nas mudas AL tratadas com AS e K_2SiO_3 e não variando aos 45 dias (Figura 9e), período que as mudas controle que receberam o AS e K_2SiO_3 também reduziram a EUA.

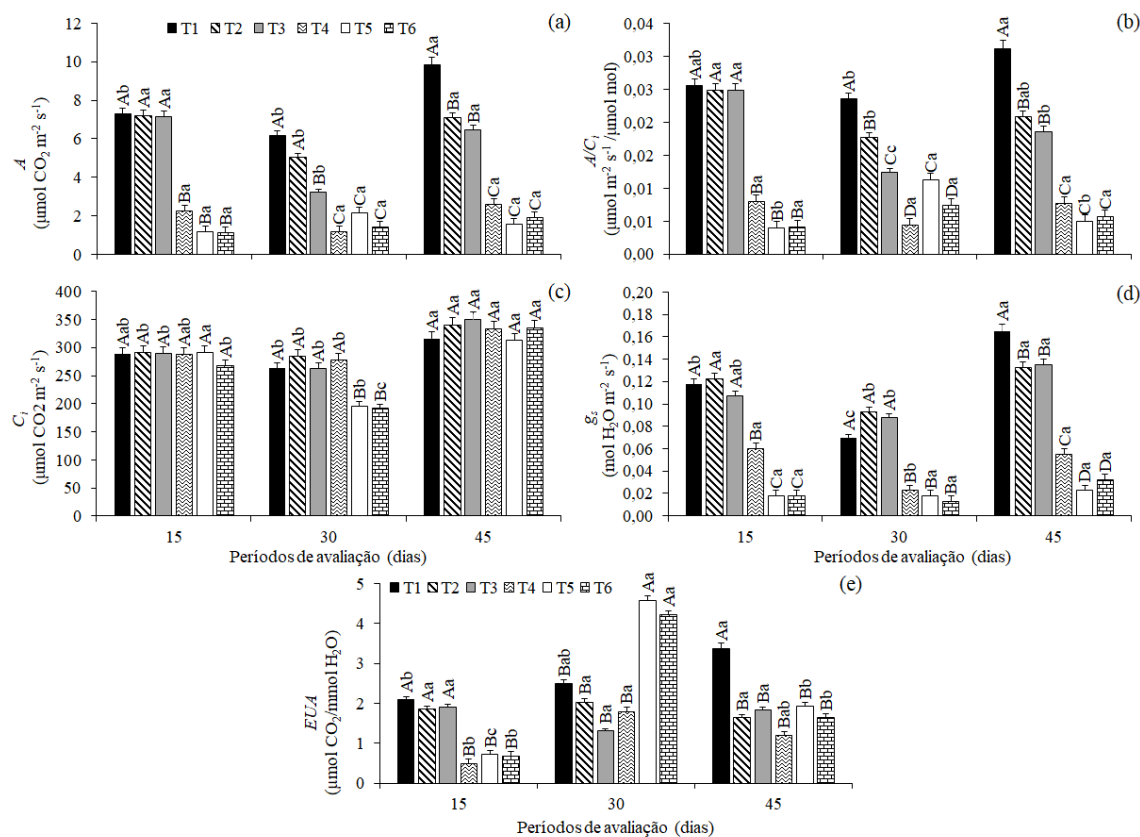


FIGURA 2. Fotossíntese – A (a), eficiência da carboxilação da Rubisco – A/C_i (b), concentração intracelular de CO_2 – C_i (c), condutância estomática – g_s (d) e eficiência do uso da água – EUA (e) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3). Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste F, $p < 0,05$). T1) C; T2) C + 200 mg L⁻¹ AS; T3) C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4) AL; T5) AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6) AL + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 .

De maneira geral a aplicação de AS e K_2SiO_3 associada ou não ao alagamento causou redução nos índices de clorofila a , b e total das mudas, sendo os maiores valores observados nas mudas controle. A clorofila a e b reduziram significativamente aos 45 dias de alagamento e a clorofila b foi mais afetada pela presença do AS já aos 15 dias de alagamento (Figura 3).

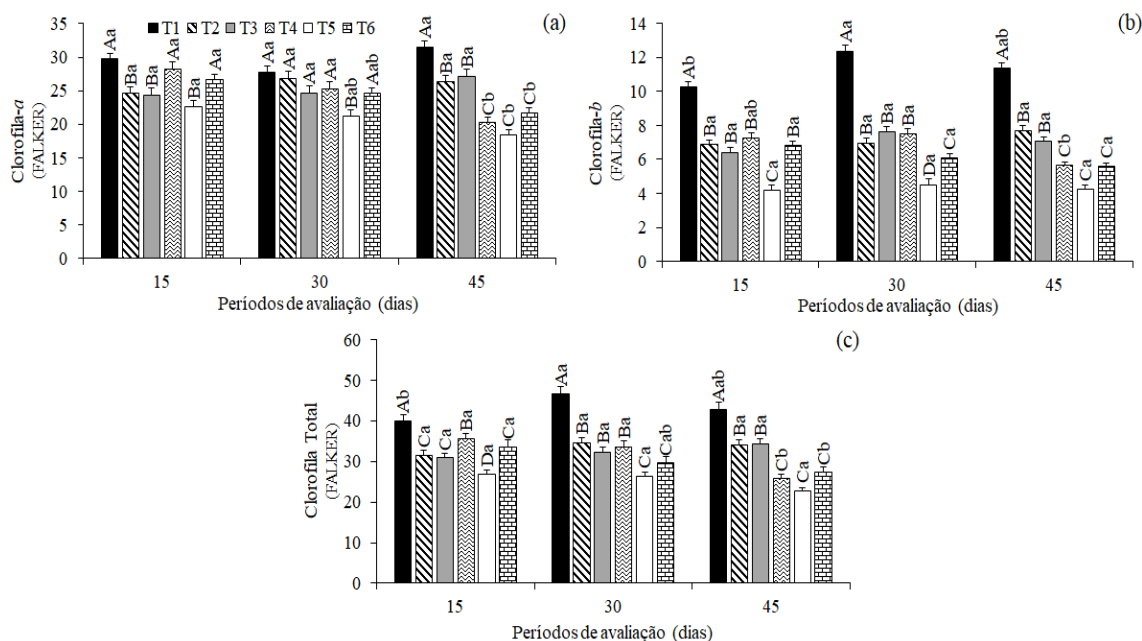


FIGURA 3. Índice de clorofila a (a), índice de clorofila b (b) e índice de clorofila total (c) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K₂SiO₃). Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, p<0,05). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste F, p<0,05). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃; T4 - AL; T5 - AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - AL + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃.

A fluorescência inicial (F₀) aumentou nas mudas alagadas por 15 e 30 dias, sendo significativamente maior nas mudas aos 15 dias quando tratadas com AS, e aos 45 dias não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4a). A eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) reduziu com o alagamento e foi menor nas mudas tratadas com ácido salicílico (Figura 4b).

A produção quântica basal dos processos não fotoquímicos (F₀/F_m) também aumentou com o alagamento associado à aplicação de ácido salicílico e silicato de potássio, sendo que na avaliação de 30 dias, as mudas tratadas com K₂SiO₃, o aumento foi menos pronunciado (Figura 4c).

A eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F₀) reduziu com o alagamento (Figura 4d) não variando entre as mudas tratadas com AS ou K₂SiO₃ aos 15

e 45 dias, mantendo-se menor que nas mudas tratadas com AS aos 30 dias (Figura 4d).

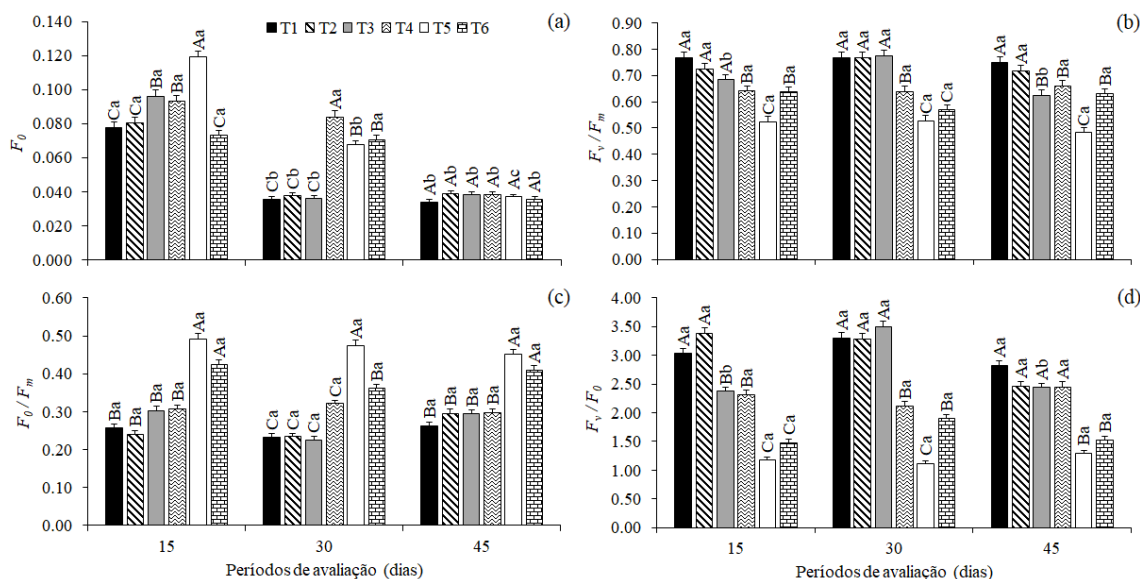


FIGURA 4. Fluorescência inicial (a), eficiência quântica do fotossistema II (b), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II (c) e eficiência de conversão de energia absorvida (d) de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K₂SiO₃). Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste F, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃; T4 - AL; T5 - AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - AL + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃.

O conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de *T. esculenta* também reduziu com o alagamento das mudas, entretanto, a aplicação de AS e K₂SiO₃ mantiveram o CRA nas folhas maior aos 15 dias de alagamento, e aos 30 dias as mudas tratadas com K₂SiO₃ apresentaram valores significativamente iguais ao das mudas controle. Aos 45 dias o CRA das folhas não variou entre os tratamentos (Figura 5a).

A área foliar das mudas de *T. esculenta* não variou significativamente entre os tratamentos aos 15 dias de alagamento. Entretanto, aos 30 dias as mudas controle+AS e todas as alagadas apresentaram redução da área foliar, assim como aos 45 dias as mudas alagadas+AS. O silicato de potássio apresentou maior eficiência na área foliar aos 30 dias

em mudas controle e aos 45 dias em mudas alagadas+ K_2SiO_3 . O comprimento de raiz apresentou inicialmente maiores valores nas mudas alagadas por 15 dias, todavia, não variou entre os tratamentos nos demais períodos.

O índice de qualidade das mudas (IQD) de *T. esculenta* inicialmente aos 15 dias não se diferenciou, enquanto aos 30 dias, as mudas do tratamento controle com uso de silicato de potássio apresentaram melhor IQD (0,30), sendo que aos 45 dias a qualidade das mudas foi menor sob alagamento sendo menor ainda nas mudas tratadas com AS (Figura 5d).

A concentração de proteína total nas folhas teve efeito isolado apenas nos tratamentos, sendo que os tratamentos 2, 4 e 6 foram os que apresentaram menores valores que se diferenciaram dos demais.

Com relação às raízes, como efeito isolado observa-se maiores quantidades de proteína total nos tratamentos 3, 4, 5 e 6 (26,36, 26,85, 27,35 e 27,40 mg g MF⁻¹), e a maior produção de proteína total aos 45 dias após o início do experimento (27,39 mg g MF⁻¹).

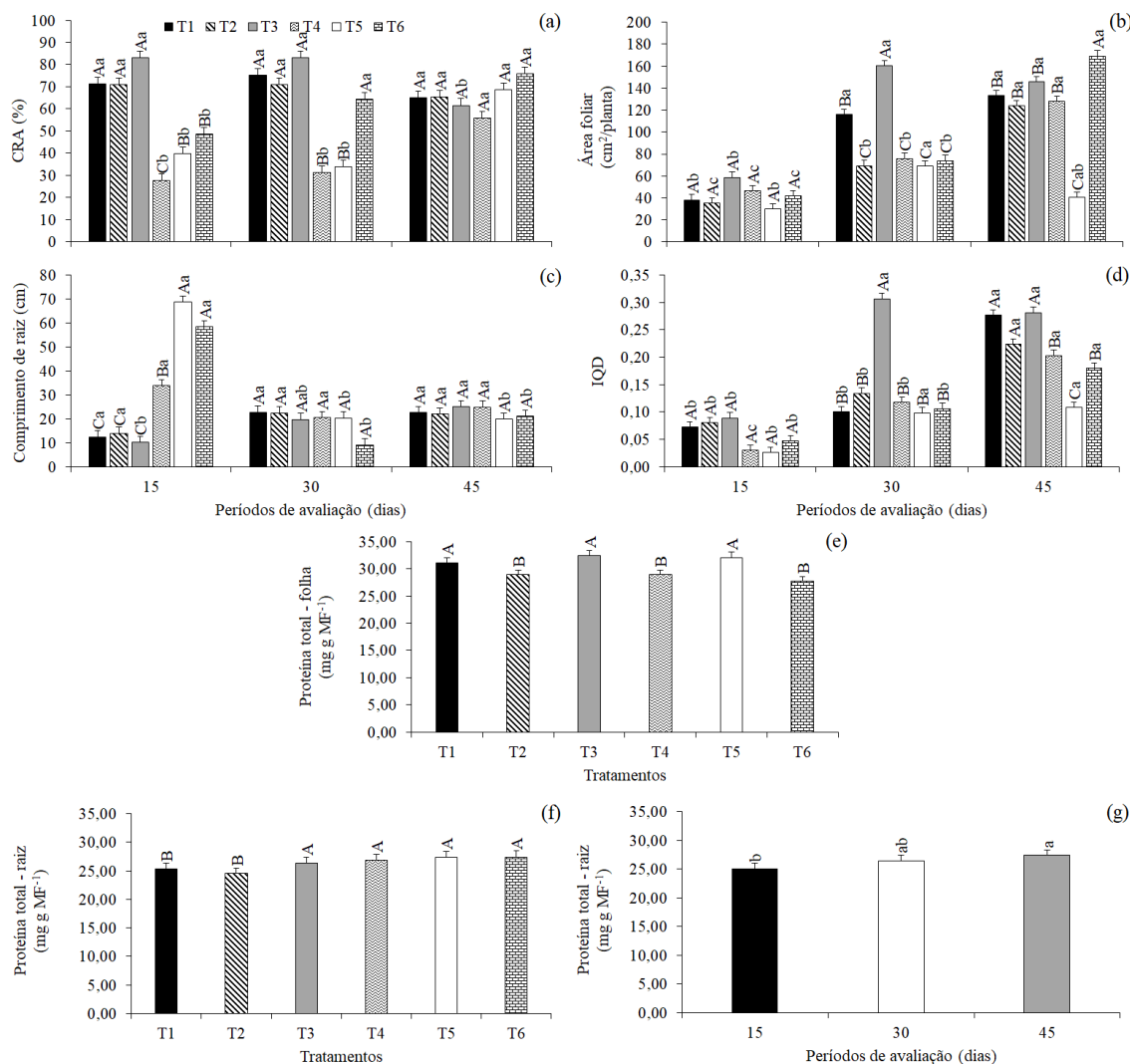


FIGURA 5. Conteúdo relativo de água na folha – CRA (%) (a), área foliar (b), comprimento de raiz (c), índice de qualidade de Dickson - IQD (d) e teores de proteína nas folhas (e) e nas raízes (f e g) de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K₂SiO₃). Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste F, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃; T4 - AL; T5 - AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - AL + 10,0 mL L⁻¹ K₂SiO₃.

A atividade da enzima peroxidase (POX) nas folhas de *T. esculenta* se manteve baixa aos 15 e 30 dias em todos os tratamentos, mas aumentou

significativamente nas mudas controle aos 45 dias (Figura 6a). Para as raízes (Figura 6b), não houve variação significativa na atividade de POX aos 15 dias, mas ocorreu um aumento significativo após 30 e 45 dias em mudas alagadas e tratadas com ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3), além de um aumento significativo na atividade em mudas controle tratadas com AS.

Em relação à atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), observa-se um efeito isolado dos tratamentos nas folhas (Figura 6c), com aumento da atividade em mudas controle tratadas com AS e em mudas alagadas tratadas com K_2SiO_3 . Nas raízes, a SOD também apresentou um efeito isolado dos tratamentos (Figura 6d), sendo menor em mudas controle + K_2SiO_3 e nas mudas alagadas, além de reduzir ao longo do tempo de avaliação (Figura 6e). Não houve interação entre os efeitos dos tratamentos e dos períodos de avaliação em relação à SOD nas raízes.

Os dados de teor de prolina nas folhas não apresentaram um padrão claro de resposta enquanto nas raízes aos 15 dias aumentaram nas mudas controle + K_2SiO_3 e nas mudas alagadas, aos 30 dias os teores foram significativamente maiores nas mudas alagadas + K_2SiO_3 seguidas das mudas controle + K_2SiO_3 . Aos 45 dias os teores de prolina reduziram em todos os tratamentos, sendo menores tanto nas mudas controle quanto alagadas que receberam AS ou K_2SiO_3 (Figura 6g).

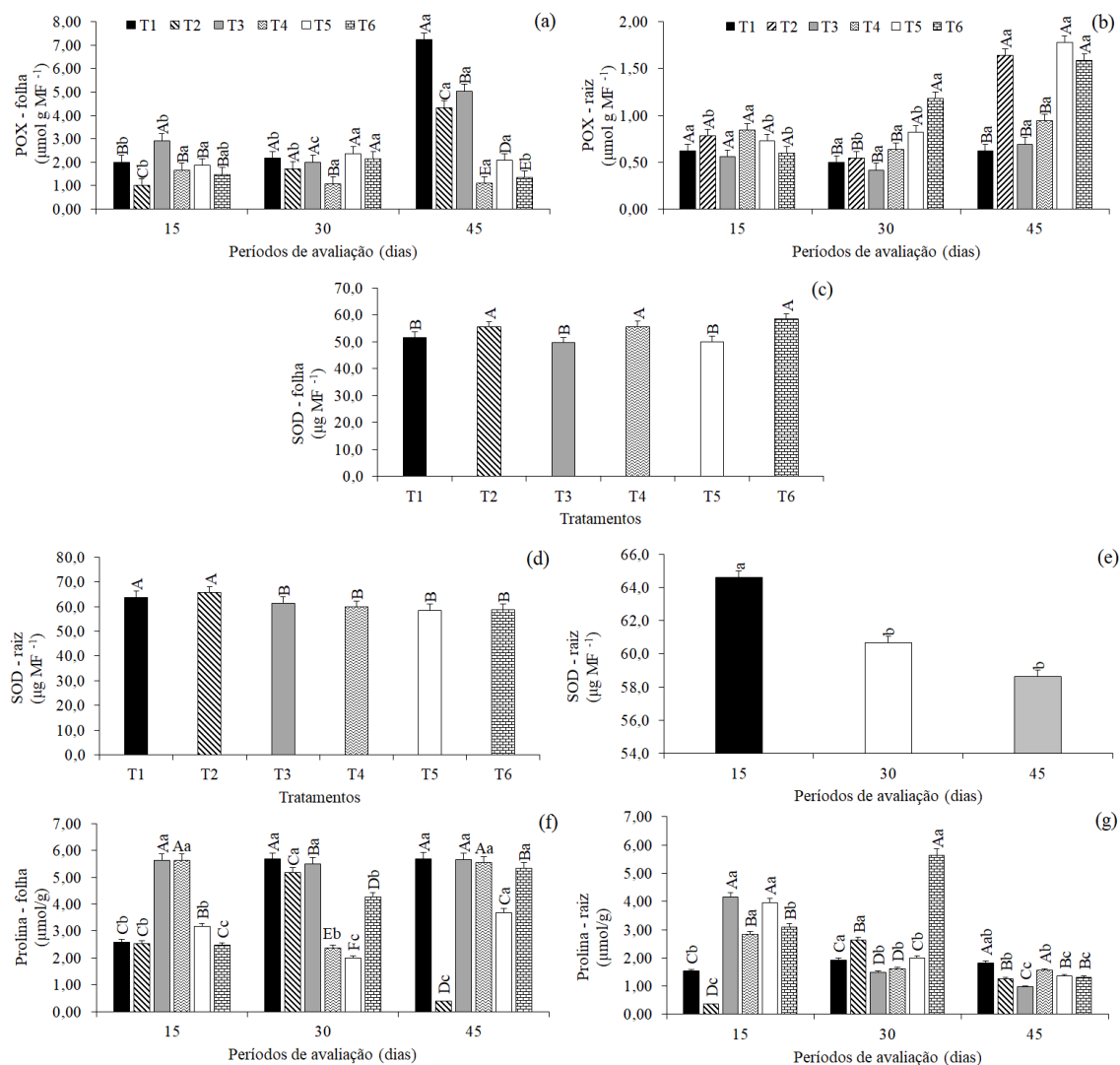


FIGURA 6. Atividade da peroxidase em folhas – POX - folha (a) e raízes – POX - raiz (b), atividade antioxidante da enzima superóxido dismutase nas folhas – SOD - folha (c) e nas raízes – SOD - raiz (d e e), teores de prolina nas folhas (f) e nas raízes (g) de mudas de mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob dois regimes hídricos (C= controle e AL= alagadas) associadas ao uso de ácido salicílico (AS) e silicato de potássio (K_2SiO_3). Letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos dentro de cada período de avaliação (teste de Scott-Knott, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste F, $p < 0,05$). T1 - C; T2 - C + 200 mg L⁻¹ AS; T3 - C + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 ; T4 - AL; T5 - AL + 200 mg L⁻¹ AS; T6 - AL + 10,0 mL L⁻¹ K_2SiO_3 .

Adaptações morfológicas foram observados em todas as mudas de *T. esculenta* com a presença de lenticelas hipertrofiadas a partir dos 7 dias de alagamento, com desenvolvimento visual da área com essa estrutura ao longo do período de estresse (Figura 7).

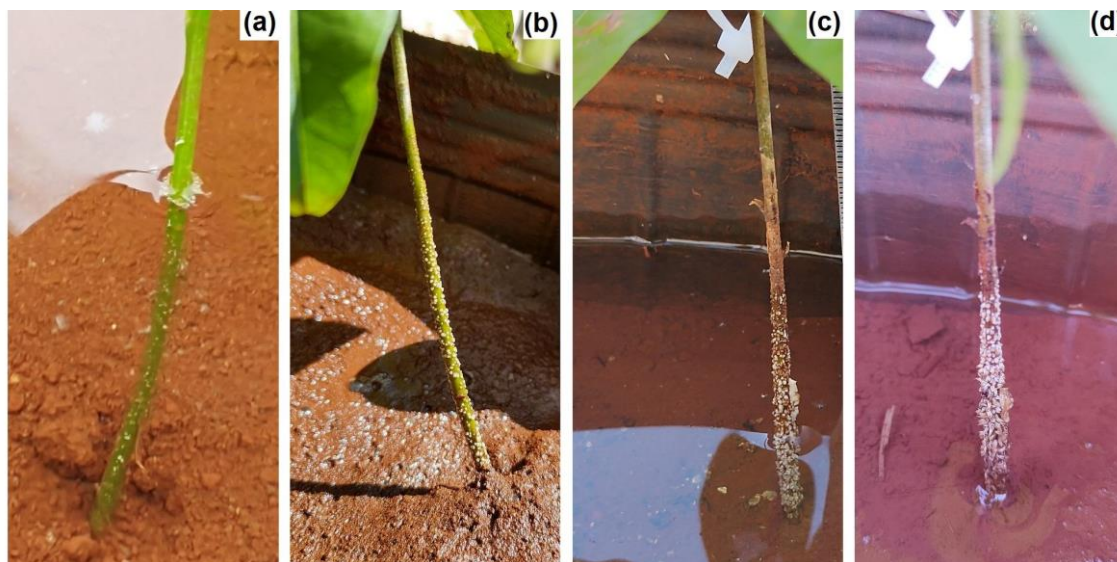


FIGURA 7. Lenticelas de mudas de *T. esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. produzidas sob condições alagadas aos 7 dias (a), 15 dias (b), 30 dias (c) e 45 dias (d).
Fonte: ALMEIDA, J. L. C. S. (2021)

4 Discussão

Todas as mudas de *T. esculenta* sobreviveram durante o alagamento, entretanto apresentaram redução do metabolismo fotossintético, com prejuízos nos processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese reduzindo o crescimento e a qualidade das mudas até os 45 dias de alagamento, ressaltando que elas apresentam lenticelas após 7 dias. De maneira geral, a aplicação de AS e K_2SiO_3 não foi eficiente em mitigar os efeitos negativos sobre o metabolismo fotoquímico e bioquímico da fotossíntese, exercendo inclusive efeito negativo sobre os pigmentos fotossintéticos. Embora a aplicação de K_2SiO_3 nas mudas alagadas tenha aumentado a área foliar aos 45 dias de alagamento, esse aumento não foi acompanhado pelos pigmentos e taxa fotossintética.

Esses resultados comprovam parcialmente nossa hipótese inicial, uma vez

que o efeito do K_2SiO_3 possibilitou resultado mais benéfico apenas sobre algumas características até os 45 dias de alagamento, enquanto o AS prejudicou outras características avaliadas como os índices de clorofilas e fluorescência da clorofila *a*, área foliar e IQD.

Assim, o efeito esperado do uso de AS não foi observado neste trabalho nas mudas de *T. esculenta* sob estresse por alagamento. Acreditamos que as diferentes espécies respondem de maneira diferente ao AS uma vez que Santos et al. (2022) observaram que o uso de AS atenuou o estresse hídrico em mudas de *S. terebinthifolia* que elevou os índices dos pigmentos fotossintéticos.

O alagamento das mudas por 15 dias foi suficiente para reduzir a taxa fotossintética, a eficiência de carboxilação da Rubisco, condutância estomática e o conteúdo relativo de água nas folhas, porém, foi somente aos 45 dias que os índices de clorofilas foram reduzidos apresentando características de clorose. Acreditamos que em função das menores gs observadas nas mudas sob AL, o CRA se manteve similar aos 45 dias, o que provavelmente pode ser atribuído à menor perda de água por transpiração, entretanto, com limitação da captação (entrada) de CO_2 e prejudicando a taxa de assimilação (ROSA et al., 2017; NUNES et al., 2017).

Destacamos que a aplicação de K_2SiO_3 nas mudas AL não favoreceu a manutenção dos índices de clorofilas até os 30 dias os quais foram equivalentes ao das mudas sem a aplicação exógena. Entretanto, tanto o AS quanto o K_2SiO_3 mantiveram o CRA das folhas e o CR mais elevados em relação às mudas alagadas sem tratamento somente aos 15 dias e o K_2SiO_3 manteve a área foliar e o IQD maior nas mudas alagadas aos 45 dias de alagamento, com valores superiores para a área foliar ou iguais, como o IQD, ao das mudas alagadas sem tratamento, enquanto o AS reduziu os valores de ambas as características.

Embora os pigmentos fotossintéticos tenham reduzido até os 45 dias, não foi observada abscisão foliar, sendo que tal fato é comum em plantas sob condições de estresse hídrico prolongado. Resultado semelhante foi relatado por Rosa et al. (2017), que atribuíram ao estresse hídrico à diminuição da concentração de pigmento fotossintético.

A literatura indica que o Si depositado nas folhas, especialmente nos tecidos da epiderme em suas paredes celulares, confere maior resistência às plantas (SANTOS et al., 2021), o que pode explicar o efeito benéfico do K_2SiO_3 na manutenção do CRA das mudas de *T. esculenta* submetidas ao alagamento até 30 dias de exposição, o que induziria ao efeito benéfico de manutenção da turgescência das folhas, mas esse benefício foi se

destacou somente até 30 dias uma vez que aos 45 dias os valores foram semelhantes aos das mudas tratadas com AS.

É importante ressaltar que a manutenção do CRA está relacionada ao potencial de gradiente da água, que é responsável por manter a turgescência das folhas e, conseqüentemente, o funcionamento adequado das células vegetais sob condições de estresse hídrico (SANTOS et al., 2021).

Ressaltamos que a redução de F_0 aos 30 dias de avaliação nas mudas sob AL+AS poderia sugerir plasticidade fisiológica das mudas de *T. esculenta*, ou seja, a capacidade de se ajustar a diferentes condições de estresse. A plasticidade fisiológica é uma característica adaptativa de muitas plantas que lhes permite responder a condições ambientais variáveis. Em casos de estresse ambiental prolongado, a plasticidade pode ser uma estratégia importante para a sobrevivência da planta, uma vez que possibilita modificações para se adaptar e compensar as condições adversas (ALBUQUERQUE et al., 2015). Neste contexto, destacamos que a redução dos valores de F_v/F_m já a partir dos 15 dias acompanhada de elevação da F_0/F_m comprova o efeito estressante do alagamento em *T. esculenta*, assim como observado por REIS et al. (2020) em mudas de *C. brasiliense*.

A variação de respostas em relação ao uso de AS entre as espécies é uma observação importante a ser destacada. Estudos como o de Poór et al. (2019) em mudas de *Solanum lycopersicum* L. cv. Ailsa Craig mostraram que o uso de AS em baixas quantidades não causou alterações significativas nos parâmetros F_0 e F_m após os tratamentos em duas condições ambientais. Essas diferenças nas respostas podem estar relacionadas a diversos fatores, como o tipo de estresse ao qual as plantas são submetidas, as doses de AS utilizadas e as particularidades fisiológicas de cada espécie (JAHAN et al., 2019; SANTOS et al., 2022)

A atividade fotoquímica do PSII foi reduzida, todavia, não houve queda acentuada ao longo da exposição das mudas à condição alagada. Ocorreu apenas essa redução em mudas alagadas tratadas com ácido salicílico. Estes valores estão sujeitos a variação em função de diversos fatores como a espécie, local de crescimento, estágio de desenvolvimento e fatores estressantes. Para Cintra et al. (2020) os valores de referência oscilam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹, para indicar que seu aparelho fotossintético está intacto.

Assim, valores abaixo dessa faixa estão associados à redução na capacidade do transporte de elétrons entre os aceptores no PSII (REIS et al., 2020; SANTOS et al.,

2020), representando assim condição estressante para as mudas. A fluorescência da clorofila *a* tem sido utilizada como ferramenta de investigação na fisiologia do estresse, tornando-se um indicador baseado na emissão e no rendimento fotoquímico. Mudas de *Dipteryx alata* Vogel (LINNÉ et al., 2021), *Cedrela odorata* L. (SILVA et al., 2021) tiveram redução da eficiência fotoquímica no fotossistema II, quando submetidas ao alagamento apresentaram esse fator como estressante, assim como observado para *T. esculenta*.

De forma semelhante, foi observada redução na eficiência de conversão de energia (F_v/F_0), indicando que o estresse hídrico foi um fator com maior efeito em todos os períodos com uso de ácido salicílico. Além disso, a redução da F_v/F_m e F_v/F_0 pode ser um indicativo da incapacidade das mudas em dissipar a energia excessiva capturada pela luz, o que pode levar a danos oxidativos nas células e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), que são altamente tóxicas para a planta (FORESTI et al., 2022).

Nesse contexto, o direcionamento energético pode ser uma estratégia adotada pelas plantas para lidar com o estresse hídrico e o uso de produtos como o silicato de potássio e o ácido salicílico pode contribuir para mitigar os efeitos negativos do alagamento sobre a fotossíntese e a produção de energia nas mudas de *T. esculenta*.

A contribuição positiva do silício e do ácido salicílico na regulação metabólica e adaptação fisiológica de plantas sob estresse hídrico por alagamento já foi relatada na literatura para outras espécies (PEREIRA et al., 2019; SARACHO et al., 2021), o que pode corroborar com a estratégia de direcionamento energético adotada pelas mudas de *T. esculenta* neste trabalho.

Embora não tenha sido observado efeito dos tratamentos sobre a atividade da peroxidase nas folhas, na raiz houve aumento de atividade nas mudas alagadas e tratadas com AS e K_2SiO_3 aos 30 e 45 dias. Resultado atípico foi observado para a atividade da SOD e prolina, uma vez que a atividade da SOD reduziu nas raízes das mudas sob alagamento reduzindo também com o aumento do tempo de exposição das mudas ao alagamento. Ressaltamos que a prolina não apresentou um padrão de resposta, mas de maneira geral, a quantidade de prolina foi maior nas folhas do que nas raízes, e a aplicação de K_2SiO_3 foi eficiente induzir aumentos de prolina.

Em solos sob excesso de água, ocorre hipóxia, o que pode levar a redução das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, resultando em diminuição do teor de oxigênio (O_2) nas raízes (GRANDIS et al., 2010). As células e tecidos das plantas estão expostos a variações de O_2 e CO_2 e à elevação do nível de etileno e de espécies reativas de oxigênio.

A falta de O₂ pode causar alterações fisiológicas e morfológicas nas plantas, afetando o metabolismo fotossintético e a qualidade das mudas (DIAS-FILHO, 2012).

Sob condição de estresse abiótico a produção de EROs pode levar à disfunção enzimática e dano oxidativo, e eventualmente formar produtos tóxicos. Sob estresse ambiental, as plantas possuem um complexo sistema defensivo através do aumento da atividade de enzimas antioxidantes como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) para combater os efeitos nocivos causados por EROs (PAN et al., 2021).

Maiores atividades enzimáticas pela exposição ao alagamento em mudas de *C. fissilis* foram observadas por Barbosa et al. (2021), em que a atividade das enzimas nessa condição foi aumentada, como uma estratégia para impedir o aumento descontrolado de radicais livres nas células.

Observamos na literatura que, sob estresse, o aminoácido prolina geralmente aumenta e funciona como mecanismo de osmoregulação (FARHAD et al., 2011; LIU et al., 2011; MOAVENI, 2011; SILVA et al., 2019), diminuindo os danos causados nas células ao reduzir os efeitos negativos das espécies reativas de oxigênio, aliviando os efeitos do estresse hídrico (BORGIO et al., 2015; MERWAD et al., 2018). Neste contexto, o aumento da prolina em todos os tratamentos sob AL aos 45 dias de avaliação indica maior flexibilidade de adaptação ao ambiente das mudas *T. esculenta*.

Ibrahim et al. (2020) no uso de K₂SiO₃ em nível moderado de irrigação (75%) em cultivo do milho teve aumento da atividade CAT, PPO e APX enquanto a peroxidase não foi afetada. O mesmo aconteceu neste trabalho nos resultados obtidos nas folhas em que o sistema alagado não aumentou a atividade de POX nas folhas, enquanto nas raízes ocorreu este aumento em mudas AL+AS e AL+K₂SiO₃.

As lenticelas foram observadas nas mudas de *T. esculenta* sob alagamento de forma evidente, e elas representam um mecanismo de adaptação à condição de estresse, entretanto, o gasto energético para emissão desta estrutura ocorre em detrimento do crescimento. As lenticelas associadas a um tecido esponjoso, favorecem a troca de gases entre os tecidos internos e o ambiente externo (JUNGLOS et al., 2018). Assim, o aparecimento de lenticelas pode ter contribuído para a sobrevivência das mudas ao alagamento, entretanto, a atividade das enzimas antioxidantes e o aminoácido prolina não foram características decisivas na determinação da tolerância ou sensibilidade das mudas de *T. esculenta* ao alagamento.

Novos estudos testando o manejo da aplicação e doses de K₂SiO₃ e o AS

devem ser realizados com a finalidade de se identificar quais são as melhores dosagens a serem utilizadas na produção de mudas, sendo que foi possível verificar efeitos potenciais do uso destes elementos em *T. esculenta*.

5 Conclusões

As plantas de *T. esculenta* suportam condições de alagamento, embora apresentem menor atividade fotossintética.

O silicato de potássio com a dose utilizada foi mais eficiente em mitigar os efeitos do estresse por alagamento mais prolongado (45 dias) sobre as características de fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofila e crescimento da área foliar e IQD do que o ácido salicílico.

O uso de ácido salicílico se mostrou ineficaz e até prejudicial ao crescimento de plantas alagadas.

As mudas apresentam surgimento de lenticelas após 7 dias do alagamento, sugerindo plasticidade fisiológica até os 45 dias de alagamento.

6 Referências Bibliográficas

ALBURQUERQUE, T. C. S.; EVANGELISTA, T. C.; ALBURQUERQUE NETO, A. A. R. Níveis de sombreamento no crescimento de mudas de castanheira do Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 4, p. 440-445, 2015.

AQUINO A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. Vulnerabilidade ambiental. 1. ed. **Blucher**, São Paulo, v. 1, 113p., 2017.

ATTIA, A.; EL-HENDAWY, S.; AL-SUHAIBANI, N.; TAHIR, M. U.; MUBUSHAR, M.; VIANNA, M. S.; ULLAH, H.; MANSOUR, E.; DATTA, A. Sensitivity of the DSSAT model in simulating maize yield and soil carbon dynamics in arid Mediterranean climate: Effect of soil, genotype and crop management. **Field Crops Research**, v. 260, p. 107981, 2021.

BARBOSA, L. O.; DRESCH, D. M.; SCALON, L.; SCALON, S. P. Q. Ecophysiological Strategies of *Cedrela fissilis* Vell. Seedlings under Conditions of Flooding and Light Availability. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 41, n. 9, p. 783-798, 2021.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, J. D. Rapid determination of free proline for

water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BORGO, L.; MAUR, C. J.; VIEIRA, L. G. E. Effects of high proline accumulation on chloroplast and mitochondrial ultrastructure and on osmotic adjustment in tobacco plants. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 2, p. 191-199, 2015.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, p. 248, 1976.

BROETTO, F. **Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas**. São Paulo: UNESP, 2014.

BUENO, M. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; PONTARA, V.; POTT, A.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, v. 73, p. 53-64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CAVALCANTE, A. G.; CAVALCANTE, A. C. P.; HENRIQUE, J. S.; DANTAS, M. M. M.; ZUZA, J. F. C.; ARAÚJO, R. C. Chlorophyll indexes and gas exchanges of *Talisia esculenta* seedlings in organic substrates and biofertilizer. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 16, n. 5, 8p. 2020. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/5352>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ČERMELJ, A. M.; FIDERŠEK, E.; GOLOB, A.; MARŠIĆ, N. K.; MIKUŠ, K. V.; GERM, M. Different Concentrations of Potassium Silicate in Nutrient Solution Affects Selected Growth Characteristics and Mineral Composition of Barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plants**, v. 11, n. 11, 12 p., 2022.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; MENEZES, J. O. S.; PADILHA, R. C.; REZENDE, A. G.; MATOS, E. R. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27006-27014, 2020.

CREMON, T.; SCALON, S. P. Q.; ROSA, D. B. C. J.; DRESCH, D. M. How does *Copaifera langsdorffii* respond to flooding under different irradiance levels?. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, p.1-11, 2020.

DESOKY, E. S. M.; MANSOUR, E.; EL-SOBKY, E. S. E.; ABDUL-HAMID, M. I.; TAHA, T. F.; ELAKKAD, H. A.; ARNAOUT, S. M. A. I.; EID, R. S. M.; EL-TARABILY, K. A.; YASIN, M. A. Physio-biochemical and agronomic responses of faba beans to exogenously applied nano-silicon under drought stress conditions. **Frontiers in plant science**, 12. 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Características morfofisiológicas associadas à tolerância de gramíneas ao alagamento e ao encharcamento. Embrapa Amazônia Oriental, **Documentos n. 383**. 2012. 43 p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Clima. Disponível em:

<https://clima.cpao.embrapa.br/>. Acesso em: 17 ago. 2021.

FARHAD, W.; CHEEMA, M. A.; SALEEM, M. F.; SAQIB, M. Evaluation of Drought Tolerance in Maize Hybrids. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, n. 4, p. 523-528, 2011.

FERNÁNDEZ-LIZARAZO, J. C.; MORENO-FONSECA, L. P. Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomía Colombiana**, v. 34, n. 2, p. 179-189, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

FORESTI, A. C.; REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; SANTOS, C. C.; JESUS; M. V. Salicylic acid mitigating damage to the photosynthetic apparatus and quality of *Eugenia myrcianthes* seedlings under water deficit. **Rodriguésia**. Vol. 73. 2022.

GRANDIS, A.; GODOI, S.; BUCKERIDGE, M. S. Respostas fisiológicas de plantas amazônicas de regiões alagadas às mudanças climáticas globais. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 1, p.1-12, 2010.

GUARIM NETO, G.; SANTANA, S. R.; SILVA, J. V. B. Repertório botânico da pitombeira (*Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk – Sapindaceae). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 33, n.2, p. 237-242, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392200332242>. Acesso em: 22 set. 2021.

HABIBI, G. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 56, n. 1, p. 57-63, 2012.

JAHAN, M. S.; WANG, Y.; SHU, S.; ZHONG, M.; CHEN, Z.; WU, J.; SUN, J.; GUO, S. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 421-429, 2019.

JUNGLOS, F. S.; JUNGLOS, M. S.; DRESCH, D. M.; BENTO, L. F.; SANTIAGO, E. F.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q. Morphophysiological responses of *Ormosia arborea* (Fabaceae) seedlings under flooding and post-flooding conditions. **Australian Journal of Botany**, v. 66, n. 7 p. 489-499, 2018.

KISSMANN C.; VEIGA, E.B.; EICHEMBERG, M.T.; HABERMANN, G. Morphological effects of flooding on *Styrax pohlii* and the dynamics of physiological responses during flooding and post-flooding conditions. **Aquatic Botany**, v. 119, p. 7-14, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.06.007>. Acesso em: 16 out. 2022.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; REIS, L. C.; LIMA, V. T.; DRESCH, D. M.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C. Effects of shading on growth and photosynthetic metabolism in *Dipteryx alata* Vogel seedlings under flooding. **Brazilian Journal of Botany**, v. 2021, p. 1-10, 2021.

LIU, C.; LIU, Y.; GUO, K.; FAN, D.; LI, G.; ZHENG, Y., YU, L.; YANG, R. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 2, p.174-183. 2011.

LIU, Z; CHENG R; XIAO, W; GUO, Q; WANG, N. Effect of off-season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, p. 1-9, 2014.

MANSOUR, E.; DESOKY, E. S. M.; ALI, M. M.; ABDUL-HAMID, M. I.; ULLAH, H.; ATTIA, A.; DATTA, A. Identifying drought-tolerant genotypes of faba bean and their agro-physiological responses to different water regimes in an arid Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, 247, 106754. 2021.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**. 345: 659-668. 2000.

MELO, L. A.; MELO, H. C.; DAVIDE, A. C.; CASTRO, E. M.; SANTOS, J. P. Estaquia e efeito da deficiência hídrica ou inundação sobre características morfoanatômicas de *Cestrum axillare* Vell. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 325–337, 2017.

MERWAD, ABDEL-RAHMAN M. A; DESOKY, EL-SAYED M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018.

MOAVENI, P. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum*). **Agricultural Science Research Journal**, v. 1, n. 1, p. 64-68, 2011.

NUNES, D. P.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; GORDIN, C. R. B. Photosynthetic and enzymatic metabolism of *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings under water deficit. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 676-682, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416005517>. Acesso em: 01 jul. 2022.

PAN, T.; ZHANG, J.; HE, L.; HAFEEZ, A.; NING, C.; CAI, K. Silicon Enhances Plant Resistance of Rice against Submergence Stress. **Plants**, v.10, p. 1-14, 2021.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F.S.; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 82-88, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190113>. Acesso em: 01 jul. 2022.

POÓR, P.; BORBÉLY, P.; BÓDI, N.; BAGYÁNSZKI, M.; TARI, I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. **Photosynthetica** 57 (2): 367-376, 2019.

REIS, F.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira Agrocência**, v. 17, n. 3, p. 284-295, 2011.

REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D.; FORESTI, A. C.; SANTOS, C. C.; PEREIRA, Z. V. Chlorophyll a fluorescence as an indicator of water stress in

Calophyllum brasiliense. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 210-220, 2020. Disponível em: <https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11757>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; CREMON, T.; CECCON, F.; DRESCH, D. M. Gas exchange and antioxidant activity in seedlings of *Copaifera langsdorffii* Desf. under different water conditions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** (Online), v. 89, p. 3039-3050, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. th ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 356p. 2018.

SANTOS, C. C.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Hydrogel and water regimes in the chlorophyll-*a* fluorescence and growth of *Campomanesia xanthocarpa* seedlings. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 3, p. 330-337, 2021.

SANTOS, W. R.; SOUZA, L. S. B.; PACHECO, A. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F. Eficiência do Uso da Água para Espécies da Caatinga: uma Revisão Para o Período de 2009- 2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2573-2591. 2021.

SANTOS, L.C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S. BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, 19 p., 2021.

SANTOS, C. C.; LIMA, N. M.; SARACHO, L. C. S.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic acid alleviates water restriction on photochemical apparatus and quality of *Schinus terebinthifolia* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 10, p. 747-752, 2022.

SARACHO, L. C. S.; LIMA, N. M.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic Acid Increases Growth of *Schinus terebinthifolia* Seedlings Subjected to Varyng Irrigation Intervals. **FLORAM**, v. 28, p. 1-10, 2021.

SIDDIQUI, M. H.; AL-KHAISHANY, M. Y.; AL-QUTAMI, M. A.; AL-WHAIBI, M. H.; GROVER, A.; ALI, H. M.; AL-WAHIBI, M. S.; BUKHARI, N. A. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 12, p. 10214-10227, 2015.

SILVA, D. C.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L.; LIMA, L. M.; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943023019>. Acesso em: 01 jul. 2022.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 339-366, 1981.

UMETSU, R. K.; GIRARD, P.; MATOS, D. M. S.; SILVA, C. J. Efeito da inundação

lateral sobre a distribuição da vegetação ripária em um trecho do rio Cuiabá, MT. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1077-1087, 2011.

VIEIRA, F. A.; GUSMÃO, E. Biometria, armazenamento de sementes e emergência de plântulas *Talisia esculenta* Radlk. (Sapindaceae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1073-1079, 2008.

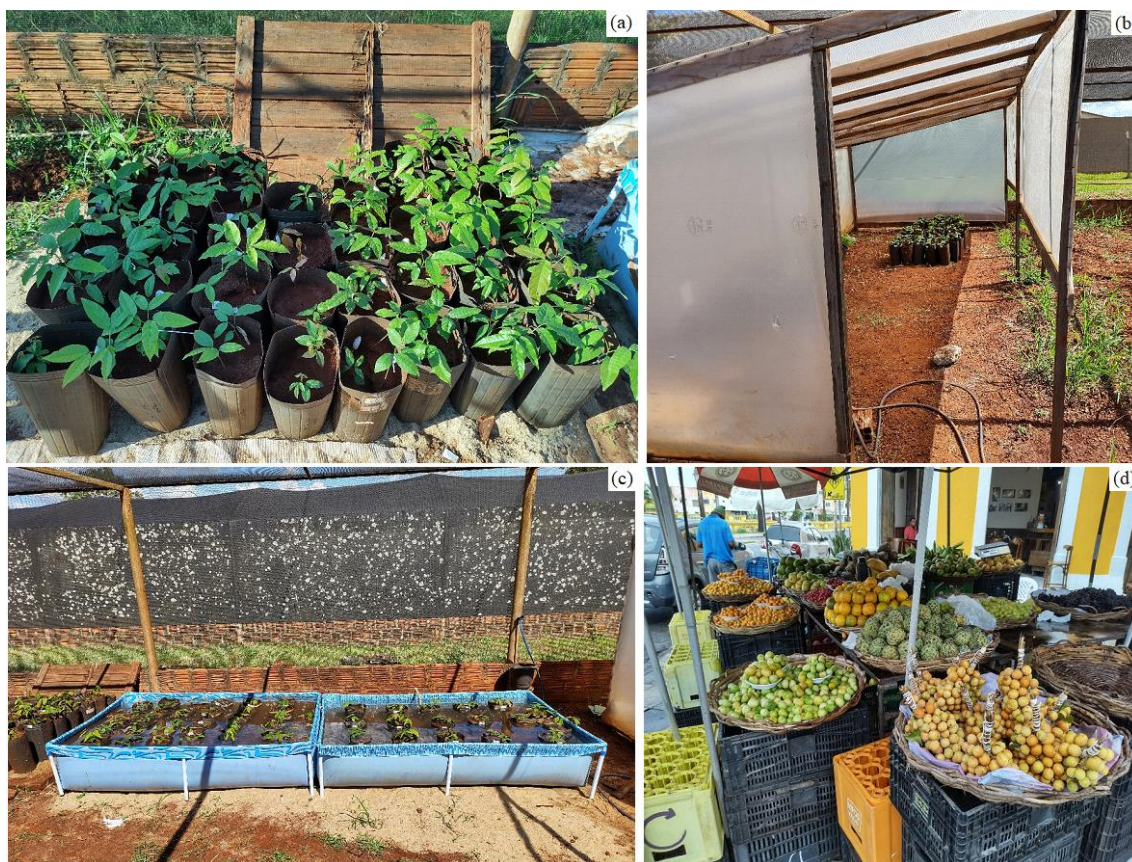
YORDANOVA, R. Y.; CHRISTOV, K. N.; POPOVA, L. P. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 2, p. 93-101, 2004.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao estresse hídrico, a *T. esculenta* demonstrou ser sensível tanto ao déficit quanto ao alagamento. No entanto, o uso de produtos que visem mitigar esses efeitos, como o silicato de potássio, mostrou-se uma estratégia viável para a produção e crescimento de mudas em condições ambientais diversas.

O uso de silicato de potássio e ácido salicílico são efetivos em atenuar os efeitos da restrição hídrica por um período de 15 dias. O silicato de potássio, com a dose utilizada, foi mais eficiente em mitigar os efeitos do estresse causado pelo alagamento mais prolongado (45 dias), entretanto, o uso de ácido salicílico mostrou-se ineficaz no crescimento de plantas alagadas.

APÊNDICE



Mudas de *T. esculenta* em regime de controle (a), submetidas à restrição hídrica (b) submetidas as condições de alagamento (c) e comercialização em feira livre (em feixes no 1º cesto à direita inferior), Olinda – PE (d). Fonte: ALMEIDA, J.L.C.S. (2022).