

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**AGENTES PROMOTORES DA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM
MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.**

VANDA MARIA DE AQUINO FIGUEIREDO

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2024

**AGENTES PROMOTORES DA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM
MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.**

VANDA MARIA DE AQUINO FIGUEIREDO

Engenheira agrônoma

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

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F475a Figueiredo, Vanda Maria De Aquino
AGENTES PROMOTORES DA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE
Talisia esculenta (A. St. Hil) Radlk. [recurso eletrônico] / Vanda Maria De Aquino Figueiredo. --
2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon.
Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Pitombeira. 2. sombreamento. 3. silício. 4. ácido salicílico. 5. estresse hídrico. 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.

"AGENTES PROMOTORES DA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE
Talisia esculenta (A. St. Hil) Radlk."

por

VANDA MARIA DE AQUINO FIGUEIREDO

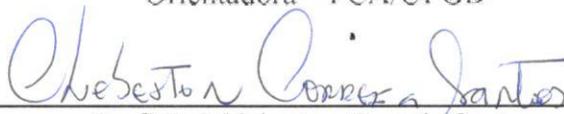
Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 07/03/2024

gov.br

Documento assinado digitalmente
SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON
Data: 17/02/2025 20:27:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

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

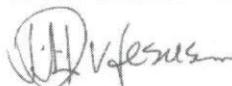


Prof^o Dr^o Cleberton Correia Santos
Membro Titular Interno – FCA/UFGD

gov.br

Documento assinado digitalmente
ELISANGELA DUPAS
Data: 17/02/2025 22:42:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dr^a Elisangela Dupas
Membro Titular Interno – FCA/UFGD



Prof^o Dr^o Mailson Vieira Jesus
Membro Titular Externo – UNIGRAN

DAIANE MUGNOL
DRESCH:01375486055

Digitally signed by DAIANE MUGNOL DRESCH:01375486055
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=34173962000318, ou=Secretaria de
Recursos Humanos do Brasil - RFB, ou=RFB e-CPF, A1, ou=(EM BRANCO),
ou=presencial, cn=DAIANE MUGNOL DRESCH:01375486055
Reason: I am the author of this document
Location: Vila Rica
Date: 2025.02.17 22:34:17-0300
Foxit PDF Reader Version: 2024.2.0

Dr^a Daiane Mugnol Dresch
Membro Titular Externo

“Mais vale o fim de uma coisa do que seu
começo. Um espírito paciente vale mais do que
um orgulhoso” (Eclesiastes 7; 8)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por seu imenso amor e cuidado. Sua presença em minha vida, me manteve forte e disposta a viver tudo que o Mato Grosso do Sul me proporcionou.

A minha família, de modo especial a minha mãe Virleide Aquino e a minha tia Vanda Maria, agradeço por todo apoio, cuidado e incentivo, por sonharem comigo e hoje vivermos juntas a alegria dessa realização. Sem essa rede de apoio, repleta de amor, carinho e compreensão eu não conseguiria. Vocês são meu alicerce!

A Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela construção do conhecimento e realização de um sonho.

A minha orientadora Prof^ª Dr^ª Silvana Scalon, por todo incentivo, apoio e contribuição para o meu crescimento acadêmico. Agradeço a oportunidade de conhecer e ser orientada por uma profissional comprometida, ética e paciente.

Ao Prof^º Dr^º Cleberton agradeço por todas as orientações que foram repletas de conhecimento e principalmente acolhimento e leveza.

Aos examinadores deste trabalho, Prof^ª Dr^ª Elisângela Dupas, ao Dr^º Mailson Jesus e a Dr^ª Daiane Dresch pela participação e pelas contribuições oferecidas a ele.

Aos amigos do GEEP, em especial Thainá Casavechia, João Lucas, Wallás Matos, Jéssica Linné, Juliana Silvério e Victor Vincentin, obrigada por todos os momentos vividos ao longo do doutorado. Agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que eu pudesse viver a alegria dessa realização.

A amiga Carolina Taíra que esteve comigo e viveu cada momento de alegria, incerteza e realizações, sendo sempre um apoio. Obrigada por toda parceria e cuidado!

Aos amigos que conquistei ao longo dessa jornada acadêmica Marina, Luiza, Luana, Caroline, Rafael e Renan. Agradeço por todo apoio, cuidado e incentivo. Tê-los em minha vida é uma grande dádiva.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO GERAL.....	xii
ABSTRACT GENERAL.....	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
1.1 A pitombeira.....	14
1.2 Déficit hídrico.....	15
1.3 Efeito do sombreamento em plantas.....	17
1.4 Silício e ácido salicílico como mitigadores do estresse hídrico.....	18
2. HIPÓTESE.....	20
3.OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPÉCIFICOS.....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO I. EFEITO DO SOMBREAMENTO NO CRESCIMENTO E NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO DE MUDAS DE <i>Talisia</i> <i>esculenta</i> Radlk.....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
1. INTRODUÇÃO	28
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34

4. CONCLUSÃO.....	43	
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44	
CAPÍTULO II: O SILÍCIO E O ÁCIDO SALICÍLICO ATENUAM OS DANOS D		
DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS <i>DE TALISIA</i>		
<i>ESCULENTA</i> RADLK. ?.....		46
RESUMO.....	46	
ABSTRACT	47	
1. INTRODUÇÃO.....	48	
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50	
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53	
4. CONCLUSÃO.....	72	
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77	
ANEXO.....	78	

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL	PÁGINA
Figura 1. Pitombeira, <i>Talisia esculenta</i> (A. St. Hil) Radlk.....	14
CAPÍTULO I.	
Figura 1. Temperatura (°C) e Umidade relativa (%) do período experimental obtidos da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal da Grande Dourados, em Dourados – MS.....	30
Figura 2. Taxa fotossintética – A (A); condutância estomática (Gs) – (B); transpiração – E (C) e eficiência de carboxilação A/Ci (D) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (PS-Pleno sol, 30% e 70%).....	34
Figura 3. Índice de clorofila – SPAD (A) e teor de prolina em folhas (B) e raiz (C) e índice de qualidade de Dickson (D) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (PS-Pleno sol, 30% e 70%).....	36
Figura 4. Taxa fotossintética – A (A), condutância estomática – Gs (B), transpiração – E (C) e eficiência de carboxilação da rubisco – A/Ci (D) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH).....	38
Figura 5. Fluorescência inicial – F0 (A), eficiência fotoquímica máxima de FSII – Fv/Fm (B) e índice de clorofila – SPAD (C) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH).....	40
Figura 6. Conteúdo de prolina em folhas (A) e raízes (B) e índice de qualidade de Dickson (C) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH).....	41

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Fotossíntese – A (A) e condutância estomática – Gs (B), concentração de CO₂ nos espaços intercelulares – C (C) e eficiência de carboxilação – A/C (D) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....53
- Figura 2.** Conteúdo relativo de água em mudas de *Talisia esculenta* Radlk. durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....56
- Figura 3.** Fluorescência inicial – F₀ (A), eficiência fotoquímica máxima de FSII – F_v/F_m (B) e clorofila total (C) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....58
- Figura 4.** Conteúdo de prolina na folha (A) e em raiz (B) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....61
- Figura 5.** Polifenóis extraíveis totais (PET) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....63
- Figura 6.** Conteúdo de proteína (A), atividade da peroxidase – POD (B) e atividade da superóxido dismutase – SOD (C) em folhas de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....65
- Figura 7.** Conteúdo de proteína (A), atividade da peroxidase – POD (B) e atividade da superóxido dismutase – SOD (C) em raízes de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....67
- Figura 8.** Índice de qualidade de Dickson de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica.....69

ANEXO

- Figura 1.** Mudanças de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 e 15 Dias sem irrigação) e após (REC) período de restrição hídrica.....78

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II	PÁGINA
Tabela 1. Índice de plasticidade fenotípica da fotossíntese (A), eficiência de carboxilação da rubisco (A/Ci), eficiência fotoquímica máxima de FSII (Fv/Fm) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>Talisia esculenta</i> Radlk. após 15 dias de restrição hídrica.....	70

AGENTES PROMOTORES DA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.

RESUMO GERAL

A seca é condição cada vez mais frequente e preocupante no cenário agrícola e por isso tem crescido a busca por estratégias de mitigação dos efeitos deletérios dessa condição que pode causar alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas, sendo estas decisivas durante a produção e desenvolvimento de mudas de diversas espécies. Como alternativa a essa problemática, temos a utilização de substâncias e aplicação de técnicas que proporcionem redução do impacto do estresse hídrico nas plantas. No entanto, são escassos os dados sobre a ação desses mitigadores em espécies florestais, especialmente em espécies nativas brasileiras. Assim, objetivamos avaliar o potencial do sombreamento e da aplicação de silício e ácido salicílico em mitigar o efeito estressante do déficit hídrico em mudas de *Talisia esculenta* Radlk. No primeiro experimento, dividido em dois ensaios experimentais dispostos em delineamento inteiramente casualizado, foi avaliado o impacto do sombreamento no desenvolvimento e no metabolismo fotossintético das mudas, sendo elas cultivadas sob o regime de 0, 30 e 70% de sombreamento durante 30 dias, além de avaliado o efeito do sombreamento perante o déficit hídrico no desenvolvimento e no metabolismo das mudas, cultivadas por 30 dias sob os seguintes tratamentos: 0% + irrigação; 0% + Suspensão hídrica; 30% + irrigação; 30% + Suspensão hídrica; 70% + irrigação; 70% + Suspensão hídrica. Quando avaliado apenas o impacto do sombreamento, observou-se que o nível de 70% foi mais benéfico ao desenvolvimento de mudas de *T. esculenta*, pois proporcionou mudas de maior qualidade e de maior desempenho fotossintético. Quando avaliado o sombreamento perante o déficit hídrico submetido às mudas, pode-se observar que o déficit causou prejuízos as atividades fotoquímicas no fotossistema II e nas trocas gasosas, refletindo em mudas com menor qualidade. O sombreamento de 70% aliviou o efeito estressante do déficit hídrico, possibilitando melhor desempenho fotossintético e qualidade das mudas. No segundo experimento foi avaliado o potencial das aplicações de silício (SI) e ácido salicílico (AS) na mitigação dos efeitos do déficit hídrico no metabolismo das mudas que foram cultivadas sob os tratamentos: irrigação, suspensão de irrigação, suspensão de irrigação + SI 0,5 g L⁻¹, suspensão de irrigação + SI 1,0 g L⁻¹, suspensão de irrigação + AS 50 mg L⁻¹ e suspensão de irrigação + AS 100 mg L⁻¹. As menores doses de SI e AS foram eficientes na mitigação dos danos do déficit hídrico, promovendo uma rápida recuperação da capacidade fotossintética das mudas após retorno da irrigação, bem como proporcionando mudas de maior qualidade após este período. A aplicação de 0,5 g de Si também proporcionou os maiores índices de plasticidade de A , A / C_i e F_v/F_m , o que indica um maior potencial de resiliência ecológica. Portanto, a condição de 70% apresentou o maior potencial para o desenvolvimento inicial e estabelecimento da espécie, enquanto que a aplicação de silício e do ácido em doses baixas foi capaz de mitigar os efeitos deletérios do déficit hídrico.

Palavras-chave: Pitombeira, sombreamento, silício, ácido salicílico, estresse hídrico.

**PROMOTING AGENTS OF WATER DEFICIT MITIGATION IN SEEDLINGS
OF *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.**

ABSTRACT GENERAL

Drought is an increasingly frequent and worrying condition in the agricultural scenario, and therefore the search for strategies to mitigate the deleterious effects of this condition has increased, which can cause morphological and physiological changes in plants, which are decisive during the production and development of seedlings of several species. As an alternative to this problem, we have the use of substances and application of techniques that provide a reduction in the impact of water stress on plants. However, data on the action of these mitigators in forest species, especially in native Brazilian species, are scarce. Thus, we aimed to evaluate the potential of shading and the application of silicon and salicylic acid in mitigating the stressful effect of water deficit in seedlings of *Talisia esculenta* Radlk. In the first experiment, divided into two experimental trials arranged in a completely randomized design, the impact of shading on the development and photosynthetic metabolism of seedlings was evaluated, which were grown under 0, 30 and 70% shading for 30 days. In addition, the effect of shading in the face of water deficit on the development and metabolism of seedlings grown for 30 days under the following treatments was evaluated: 0% + irrigation; 0% + water suspension; 30% + irrigation; 30% + water suspension; 70% + irrigation; 70% + water suspension. When only the impact of shading was evaluated, it was observed that the 70% level was more beneficial to the development of *T. esculenta* seedlings, as it provided higher quality seedlings with greater photosynthetic performance. When shading was evaluated in view of the water deficit submitted to seedlings, it was observed that the deficit caused damage to the photochemical activities in photosystem II and gas exchange, resulting in seedlings with lower quality. The 70% shading alleviated the stressful effect of the water deficit, enabling better photosynthetic performance and seedling quality. In the second experiment, the potential of silicon (SI) and salicylic acid (SA) applications in mitigating the effects of water deficit on the metabolism of seedlings that were grown under the treatments: irrigation, irrigation suspension, irrigation suspension + SI 0.5 g L⁻¹, irrigation suspension + SI 1.0 g L⁻¹, irrigation suspension + SA 50 mg L⁻¹ and irrigation suspension + SA 100 mg L⁻¹ was evaluated. The lowest doses of SI and AS were efficient in mitigating the damage caused by water deficit, promoting a rapid recovery of the photosynthetic capacity of the seedlings after the return of irrigation, as well as providing higher quality seedlings after this period. The application of 0.5 g of Si also provided the highest plasticity indices of A , A/C_i and F_v/F_m , which indicates a greater potential for ecological resilience. Therefore, the 70% condition presented the greatest potential for the initial development and establishment of the species, while the application of silicon and acid at low doses was able to mitigate the deleterious effects of water deficit.

Keywords: Pitombeira, shading, silicon, salicylic acid, water estress.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk.

Talisia esculenta (A. St. Hil) Radlk. é uma arbórea florestal da família Sapindaceae, nativa da região amazônica com ampla ocorrência na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, conhecida popularmente como pitombeira, pitomba, olho-de-boi, pitomba-da-mata, pitombarana, feijão-cru e pitomba-de-macaco, a espécie (ACEVEDO-RODRÍGUEZ, 2015).

Podendo atingir até 12 metros de altura é uma planta perenifólia ou semidecídua, característica da floresta ombrófila densa, sendo encontrada tanto no interior da mata primária densa, como em formações secundárias, porém sempre em várzeas pluviais ou fundo de vales (LORENZI, 2016).

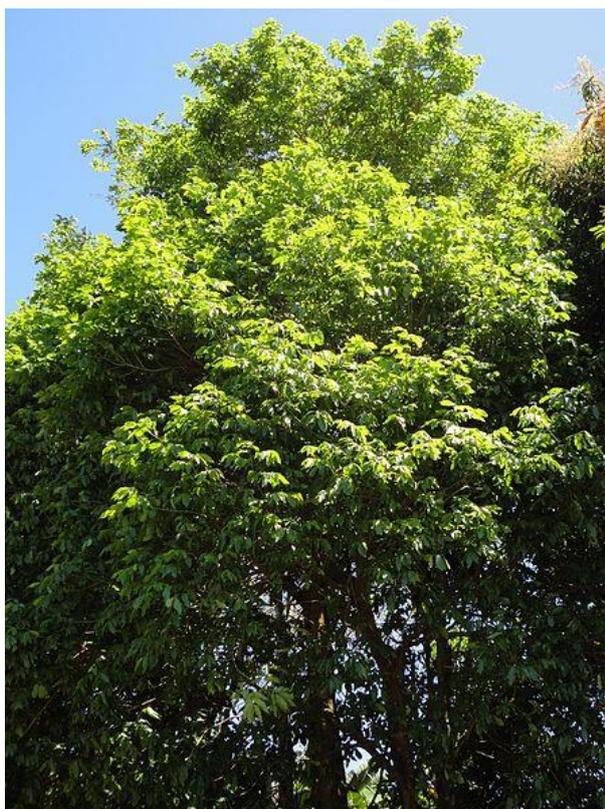


Figura 1. Pitombeira, *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk. Fonte: César Henrique. Licenciado sob CC0 via Wikimedia Commons. Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20801306>> Acesso em 11 fev. 2024

A espécie tem frutos do tipo drupa, e polpa envolta por epicarpo, com coloração entre o verde e o marrom, com propriedades nutricionais e sabor característico, sendo consumidos *in natura* e na forma de subprodutos, como polpas, compotas, doces e geleias (CARVALHO et al., 2020). O comércio geralmente é feito em mercados locais durante o período de colheita, com frutos sendo colhidos principalmente, de árvores silvestres ou pomares domésticos (RODRIGUES et al., 2018). A madeira também é um dos produtos utilizados, sendo aplicada na construção civil para obras internas como forros, molduras, batentes, assoalhos e carpintaria (LORENZI, 2016).

A espécie também é explorada medicinalmente. Naturalmente, as plantas possuem uma série de moléculas bioativas, conhecidas como metabólitos secundários, que desempenham função vital na adaptação a condições ambientais adversas e também na defesa das plantas (DIVEKAR et al., 2022). A pitombeira em especial é uma espécie rica nesses compostos, entre eles fenóis, taninos condensados, antocianinas, leucoantocianidinas, catequinas, flavonas, alcalóides, esteróides, triterpenóides e flavonóides, e por isso pode ser explorada como fonte de antioxidantes, apresentando assim potencial para uso no tratamento e prevenção de doenças, como por exemplo o câncer (DANTAS et al., 2020; NERI-NUMA et al., 2014).

1.2 Déficit hídrico

A água é um recurso de extrema importância para a manutenção da vida, no entanto, é um recurso limitado. Para as plantas, ela é o principal fator responsável pelo crescimento, e também o mais restritivo, já que sem ela as plantas não completam seus processos fisiológicos para se manter (CAMPOS et al., 2021). Sabendo da importância desse recurso, as condições geradas pelas mudanças climáticas que afetam a disponibilidade hídrica, como estiagens e alagamentos, são atualmente entraves para o desenvolvimento das plantas, e conseqüentemente para a produção agrícola, isso porquê a má distribuição da água acaba por gerar uma condição de estresse para o vegetal.

Segundo Ahmad et al. (2016), estresse em plantas é compreendido como um fator que altera o funcionamento normal de uma série de mecanismos desses organismos, sendo os estresses abióticos responsáveis por uma infinidade de alterações nos processos fisiológicos, moleculares e bioquímicos que operam nas plantas.

Em meio aos diversos estresses abióticos, o déficit hídrico é o mais severo entre eles, já que a água possui um papel vital na produção das plantas, por estar ligada à manutenção da turgescência, além de servir como meio de transporte de nutrientes e ter papel na regulação térmica e osmótica, sendo a falta de água no solo, responsável por causar diversos prejuízos ao vegetal e, conseqüentemente, ao potencial produtivo de uma cultura (BÁEZ et al., 2020; CAMPOS et al., 2021; RASOOL et al., 2019).

O déficit hídrico na planta, se desenvolve quando há o desequilíbrio hídrico nas relações solo-planta-atmosfera, sendo que a concentração de água no solo e sua taxa de absorção pela planta, são hipossuficientes em relação à evapotranspiração, sendo o fornecimento determinado pela quantidade de água retida no solo até a profundidade do sistema radicular das culturas e a demanda por água pela taxa de transpiração das plantas ou evapotranspiração da cultura, que inclui tanto a transpiração das plantas quanto a evaporação do solo (BIANCHI et al., 2016).

Essa condição gera diversos prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, isso porque afeta gravemente a fotossíntese, devido ao fechamento dos estômatos e à diminuição da difusão de CO₂ para os cloroplastos (RASOOL et al., 2019). Silva et al. (2022) relatam os prejuízos do déficit hídrico para mudas de *Dypterix alata* Vogel como redução da taxa fotossintética, da condutância estomática e da transpiração, levando à diminuição significativa da qualidade dessas mudas. A redução da taxa fotossintética, nesses casos, pode estar associada também a danos no aparelho fotossintético, como concluiu Rosa et al. (2021), ao avaliar o déficit hídrico em mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. Assim, as medidas de fluorescência da clorofila podem ser utilizadas como parâmetros na identificação da condição de estresse causado pelo déficit hídrico (REIS et al., 2020).

Para lidar com o estresse sofrido, as plantas adotam diversas estratégias de sobrevivência, entre elas alterações no potencial osmótico celular, potencial hídrico, ativação dos seus sistemas de defesa antioxidante, enzimático (superóxido dismutase, peroxidase, catalase) e não-enzimático, e o acúmulo de osmólitos, como por exemplo a prolina e os compostos fenólicos (WAHAB et al., 2022).

Costa et al. (2023) avaliando a influência do déficit hídrico na qualidade de mudas de *Piptadenia moniliformis* observaram que as plantas são severamente afetadas sob intervalos de rega superiores a seis dias, apresentando relação proporcional em que,

quanto menor a quantidade de água, menor a qualidade das mudas. Para *Moringa oleifera* o período de déficit suportado, sem grandes prejuízos para as mudas seria de cinco dias, sendo o período sob déficit de até 20 dias indicado como técnica de rustificação para a produção de mudas (Costa et al., 2019).

1.3 Efeito do sombreamento em plantas

A luz desempenha papel relevante na regulação da produção primária, contribuindo de forma eficaz para o crescimento das plantas, tendo influencia tanto a intensidade como a qualidade da radiação por exercerem efeitos diretos sobre a fotossíntese, abertura estomática e síntese da clorofila (SABINO et al., 2020; SCHORN et al., 2020). Alterações na intensidade, alcance e duração podem ocasionar respostas de aclimatação, danos celulares e até mesmo a morte das plantas (NOGUEIRA et al., 2021).

Cada espécie apresenta uma necessidade e um padrão de resposta fisiológica em relação a luminosidade a que é exposta, sendo importante a compreensão desse comportamento quando se busca a seleção de espécies para restauração florestal em diferentes condições de luz (LIMA et al., 2021). Para esse tipo de avaliação, o uso de sombreamento artificial, vem auxiliando pesquisadores na determinação das necessidades das plantas a partir da utilização de telas de sombreamento que bloqueiam uma determinada porcentagem de luz, e também a qualidade da luz, possibilitando filtrar determinados espectros de radiação pela cor das telas utilizadas. (ALMEIDA et al., 2023; SOARES et al., 2022). A adoção da técnica promove um ambiente que reduz a temperatura ao passo que também favorece a umidade relativa.

A partir dessa técnica diversos autores vem observando a ação mitigadora do sombreamento frente aos diversos tipos de estresses abióticos. Oliveira (2022) indica que o sombreamento para mudas de *Talisia esculenta* Radlk. funciona como um atenuador dos danos causados pelo alagamento, proporcionando aumento da qualidade das mudas afetadas por essa condição. Jesus et al. (2021) observou que o sombreamento em mudas de *Campomanesia xanthocarpa* Berg. favoreceu as trocas gasosas das mudas, proporcionando redução da intensidade da transpiração e aumento na eficiência de carboxilação da RuBisCO

Já sob condições de déficit hídrico o sombreamento proporciona aumento da atividade antioxidante das enzimas superóxido dismutase e peroxidase, além de evitar danos permanentes ao fotossistema II em mudas de *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg (BARTIERES et al., 2023). Reis et al. (2023) avaliando o sombreamento durante o déficit hídrico em *Hymenaea courbaril* L. concluiu que sombreamentos intermediários (30%) além de mitigarem os danos do déficit hídrico também auxiliam na recuperação das mudas após a retomada da irrigação, sem que haja alterações ou danos permanentes no fotossistema II, permitindo a retomada do crescimento e da qualidade das mudas.

1.4 Silício e ácido salicílico como mitigadores do estresse hídrico

O silício é um metalóide que vem ganhando a atenção mundial dos fisiologistas vegetais devido ao seu impacto benéfico no crescimento e desenvolvimento das plantas. Há tempos ele vem sendo estudado como agente mitigador do efeito de estresses das mais variadas naturezas, como déficit hídrico, estresse salino, toxicidade de cádmio entre outros (GAUR et al., 2020; ZHANG et al., 2017; LIU et al., 2013).

Na planta, além de formar uma dupla camada de sílica, o silício é absorvido na forma de ácido monossilícico e translocado pelo xilema a partir da taxa de transpiração dos órgãos vegetais (MENECALE et al., 2015)

O silício também está associado à maior tolerância das plantas diante de déficit hídrico por desempenhar importantes papéis fisiológicos e metabólicos nas plantas, com aplicações que possibilitam a mitigação dos efeitos adversos do estresse, aumentando a eficiência no uso da água e a atividade antioxidante, além de causar rigidez à parede celular e outros elementos da célula (CASSEL et al., 2021; SILVA et al., 2019). Essa rigidez contribui para regulação das trocas gasosas e servirão de resistência à invasão de patógenos (LINNÉ et al., 2022).

Em mudas de *H. courbaril* submetidas ao déficit hídrico, o silício contribuiu para o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, que mitigaram o efeito do déficit e favoreceram a recuperação do metabolismo fotossintético, antioxidante e a qualidade das mudas (REIS, 2022). No entanto, em mudas de *T. esculenta* a aplicação mitigou alguns efeitos negativos da restrição hídrica, sobretudo no metabolismo fotossintético, porém, não apresentou efeito no crescimento das mudas (ALMEIDA, 2022).

Um outro composto que vem sendo avaliado para mitigação dos efeitos deletérios de estresses é o ácido salicílico, um composto fenólico com ação reguladora em diversos processos fisiológicos na planta, que compõe uma nova classe de substâncias de crescimento de plantas, sendo sua aplicação avaliada como uma estratégia promissora para incrementar a tolerância das culturas frente a estresses bióticos, abióticos e xenobióticos (FERMINIANO et al., 2018; GASTL FILHO et al., 2017).

Nessa perspectiva, a aplicação exógena de ácido salicílico vem sendo avaliada em diversos cultivos agrícolas com o objetivo de se investigar a atuação do composto na mitigação dos efeitos adversos causados pelos mais variados tipos de estresses. Efeitos positivos dessa aplicação contra o déficit hídrico foram relatados por Foresti et al. (2022) em *Eugenia myrcianthes* Nied. e por Santos et al. (2022) em *Schinus terebinthifolia* Raddi.

A aplicação foliar de ácido salicílico em mudas de eucalipto submetidas a déficit hídrico proporcionou atenuação dos efeitos negativos do estresse sobre o crescimento das plantas conforme demonstrado por Mazzuchelli et al. (2014). No estudo, as mudas tratadas com o ácido salicílico mesmo no período de déficit hídrico permaneceram com as taxas fotossintéticas equilibradas. Ainda no mesmo estudo, os autores observaram que o aumento das dosagens proporcionou aumento da área foliar, o que para eles está relacionado a interações cruzadas do ácido com outros fito-hormônios, que acabam por regular ações gênicas do indivíduo. Para os autores, a aplicação de ácido salicílico se constitui em uma técnica de manejo eficiente para auxiliar no processo de rustificação das plantas.

Em mudas de milho submetidas a alagamento, a aplicação exógena de ácido salicílico além de reduzir o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e aumentar a atividade de enzimas antioxidantes, também melhorou a fotossíntese nas folhas e promoveu o crescimento das mudas (WANG et al., 2021)

As diferentes respostas encontradas na literatura com a aplicação de silício e ácido salicílico evidenciam que as respostas das aplicações acabam variando em função de alguns fatores, entre eles, a espécie e o tipo de estresse a que o vegetal é submetido.

2. HIPÓTESE

Hipotetizamos que a espécie seja sensível ao sombreamento e a aplicação de silício e ácido salicílico podem mitigar o efeito estressante do déficit hídrico sobre o crescimento, o metabolismo fotossintético e osmorregulador das mudas de *T. esculenta* Radlk e sobre o potencial de recuperação.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Avaliar o efeito de níveis de sombreamento e da aplicação de doses de silício e ácido salicílico em mudas de *T. esculenta* submetidas à déficit hídrico.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar o efeito do sombreamento sob o crescimento, metabolismo fotossintético e osmorregulador de mudas de *T. esculenta*;
- Determinar o efeito da aplicação de silício e ácido salicílico no crescimento, metabolismo fotossintético e osmorregulador de mudas de *T. esculenta*;
- Caracterizar a influência dos agentes mitigadores no potencial de recuperação das mudas após a retomada da irrigação;

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P. *Talisia* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20984>>. Acesso em: 31 de jan. 2024.

AHMAD, P.; LATEF, A. A. A.; RASOOL, S.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M.; GUCEL, S. Role of proteomics in crop stress tolerance. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1336, 2016.

ALMEIDA, R. S.; CARVALHO, C. A.; CUNHA, F. L.; DINIZ, P. C.; GONZAGA, M. D.; MELO, L. A. Shading periods in the production of seedlings of forest species. **Revista Ciência Agrícola**, v. 21, 2023.

ALMEIDA, J. L. C. S. **Estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.** 2022. 72 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; ROCHA, M. R.; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 3-12, 2020.

BARTIERES, E. M. M.; DRESCH, D. M.; REIS, L. C.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 244718, 2023.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

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

CARVALHO, A. T.; PAES, M. M.; CUNHA, M. S.; BRANDÃO, G. C.; MAPELI, A. M.; RESCIA, V. C.; OESTERREICH, S. A.; VILLAS-BOAS, G. R. Ethnopharmacology of fruit plants: a literature review on the toxicological, phytochemical, cultural aspects, and a mechanistic approach to the pharmacological effects of four widely used species. **Molecules**, v. 25, n. 17, p. 3879, 2020.

CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PIMENTA, B. D.; LUDWIG, R. L.; SANTOS, D. B. Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 6601-6615, 2021.

COSTA, J. R. S.; HOLANDA, A. C.; PINHEIRO, E. S.; SILVEIRA, G. V. S.; ALVES, A. R.; SILVA, M. R. Influência do déficit hídrico na produção e qualidade de mudas de *Piptadenia moniliformis* Benth. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, p. 1-15, 2023.

COSTA, J. R. S.; ALMEIDA, G. N.; SILVA, L. G. C.; ALMEIDA, G. N.; SILVA, E. C. A. Condicionamento de mudas de moringa a diferentes ciclos de rega. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 1, p. 80-87, 2019.

DANTAS, L. V. B.; LOPES, F. F. S.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; CARDOSO, A. L. H.; MORAIS, S. M. Avaliação Fitoquímica, quantificação de Fenóis e Flavonóides totais, Atividade antioxidante e antiacetilcolinesterase do extrato etanólico Da *Talísia esculenta* (Pitomba). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60597-60602, 2020.

DIVEKAR, P. A.; NARAYANA, S.; DIVEKAR, B. A.; KUMAR, R.; GADRATAGI, B. G.; RAY, A.; SINGH, A. K.; RANI, V.; SINGH, V.; SINGH, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, R. P.; MEENA, R. S.; BEHERA, T. K. Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection. **International journal of molecular sciences**, v. 23, n. 5, p. 2690, 2022.

FERMIANO, A. P.; KASEKER, J. F.; NOHATTO, M. A.; OLIVEIRA, J. D.; ROSA, E. D. F. F.; NUNES, D. H. Aplicação de ácido salicílico em plantas de arroz submetidas a competição com arroz-vermelho. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 3, p. 198-203, 2018.

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.

GASTL FILHO, J.; BONETTI, L. L. S.; ARAUJO, R. S.; SANTI, S. L.; NASCIMENTO, V. A.; VILARINHO, M. S. Ácido salicílico e potencial germinativo na germinação de sementes de pepino. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 7-12, 2017.

GAUR, S.; KUMAR, J.; KUMAR, D.; CHAUHAN, D. K.; PRASAD, S. M.; SRIVASTAVA, P. K. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 202, p. 110885, 2020.

JESUS, M. V.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; LINNÉ, J. A.; REIS, L. C. Physiological behavior of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. seedlings under flooding and shading. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 6, p. 3149-3166, 2021.

LIMA, M. S.; ARAUJO, M. M.; AIMI, S. C.; OLIVEIRA, V. V.; BERGHETTI, A. L.; NASCIMENTO, N. F.; TAROUCO, C. P. Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 501, p. 119659, 2021.

LINNÉ, J. A.; CARDOSO, E. A. S.; FIGUEIREDO, V. M. A.; SILVERIO, J. M.; OLIVEIRA, T. C. C.; LIMA, V. T.; JESUS, M. V.; SCALON, S. P. Q. O silício no manejo de estresses bióticos e abióticos. In: SANTO, C. C. **Agrobiodiversidade: Manejo e Produção Sustentável**. Nova Xavantina: Pantanal, 2022. p. 132-146.

LIU, J.; ZHANG, H.; ZHANG, Y.; CHAI, T. Silicon attenuates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* L. by reducing cadmium uptake and oxidative stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 68, p. 1-7, 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 7. ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016. 384 p.

MAZZUCHELLI, E. H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 443-450, 2014.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. Silício: Interação Com o Sistema Solo-Planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p. 435-454, 2015.

NERI-NUMA, I. A.; SILVA, L. B. C.; FERREIRA, J. E. M.; MACHADO, A. R. T.; MALTA, L.G.; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J. E.; Pastore, G. M. Preliminary evaluation of antioxidant, antiproliferative and antimutagenic activities of pitomba (*Talisia esculenta*). **Lwt-food science and technology**, v. 59, n. 2, p. 1233-1238, 2014.

NOGUEIRA, L. T.; HÜTHER, C. M.; ARGE, L. W. P.; FERREIRA, V. F.; CECCHIN, D.; BORELLA, J.; MACHADO, T. B. Indicação de sombreamento artificial para o

cultivo de Carapichea Ipecacuanha de acordo com a atividade fotoquímica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 64742-64751, 2021.

OLIVEIRA, T. C. C. O **Sombreamento atenua o efeito estressante por alagamento em mudas de *Talisia esculenta* (A. ST.-HILL) RADLK?**. 2022. 39 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RASOOL, S.; MIR, B. A.; REHMAN, M.; AMIN, I.; MIR, M. U. R.; AHMAD, S. B. Abiotic Stress and Plant Senescence. 2019. In: **Senescence Signalling and Control in Plants**. Academic Press. p. 15-27, 2019.

REIS, L. C. **Sombreamento e aplicação de silício em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob déficit hídrico e seu potencial de recuperação**. 2022. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

REIS, L. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; 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**, v. 48, p. 210–220, 2020.

RODRIGUES, S.; BRITO, E. S.; SILVA, E.O. Pitomba— *Talisia esculenta*. **Exotic Fruits**, v. 1, p. 351–354, 2018.

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.

SABINO, M.; FERNEDA, B. G., MARTIM, C. C., BOUVIÉ, L.; SILVA, C. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; FELIPE, R. T. A. Crescimento inicial de ipê-amarelo amazônico e de cerrado cultivados sob diferentes intensidades de sombreamento e comprimento espectral de onda. **Interciencia**, v. 45, n. 4, p. 183-191, 2020.

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

SCHORN, L. A.; GUCZAK, J. T.; SILVA, M. C.; ANDRADE, E. R.; FENILLI, T. A. B.; BITTENCOURT, R. Desempenho em viveiro de três espécies florestais nativas sob

diferentes ambientes de luminosidade. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 21, n. 1, p. 15-29, 2020.

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**, v. 82, 2022.

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

SOARES, E. L. V.; OTANI, F. S.; FELSEMBURGH, C. A.; FONSECA JÚNIOR, E. M. Crescimento inicial de mudas de açaí, sob diferentes níveis de sombreamento. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 10, n. 4, p. 302-309, 2022.

WAHAB, A.; ABDI, G.; SALEEM, M. H.; ALI, B.; ULLAH, S.; SHAH, W.; MUMTAZ, S.; YASIN, G.; MURESAN, C. C.; MARC, R. A. Plants' physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress: A comprehensive review. **Plants**, v. 11, n. 13, p. 1620, 2022.

WANG, J.; SHI, S. H.; WANG, D. Y.; SUN, Y.; ZHU, M.; LI, F. H. Exogenous salicylic acid ameliorates waterlogging stress damages and improves photosynthetic efficiency and antioxidative defense system in waxy corn. **Photosynthetica**, v. 59, n. 1, p. 84-94, 2021.

ZHANG, W.; XIE, Z.; WANG, L.; LI, M.; LANG, D.; ZHANG, X. Silicon alleviates salt and drought stress of *Glycyrrhiza uralensis* seedling by altering antioxidant metabolism and osmotic adjustment. **Journal of plant research**, v. 130, n. 3, p. 611-624, 2017.

CAPÍTULO I: SOMBREAMENTO NO CRESCIMENTO E NA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO DE MUDAS DE *Talisia esculenta* Radlk.

RESUMO

Talisia esculenta Radlk. é uma espécie arbórea frutífera nativa da região amazônica com ampla distribuição na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica e que possui aptidão para uso em programas de restauração de áreas degradadas, no entanto, ainda são escassas as informações sobre a sua ecofisiologia e as exigências para o seu pleno desenvolvimento. Assim, com esse trabalho objetivou-se avaliar o desenvolvimento das mudas de *T. esculenta* sob níveis de sombreamento e seu potencial em mitigar o efeito estressante do déficit hídrico. O trabalho foi dividido em dois experimentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado: I - Avaliando o efeito do sombreamento (0, 3 e 70%) em mudas sob irrigação contínua; II - Avaliando os sombreamentos associados ao déficit hídrico, sendo as mudas divididas nos seguintes tratamentos: 0% + irrigação; 0% + Suspensão hídrica; 30% + irrigação; 30% + Suspensão hídrica; 70% + irrigação; 70% + Suspensão hídrica. Em ambos experimentos foram avaliadas as trocas gasosas, o índice de clorofila, o teor de prolina foliar e radicular e o Índice de Qualidade de Dickson. O sombreamento de 70% favoreceu a taxa fotossintética das mudas além de ter proporcionado maior Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Quando as mudas foram submetidas a déficit hídrico, o sombreamento também se mostrou eficaz em mitigar os danos causados pelo estresse hídrico. *T. esculenta* é sensível ao cultivo a pleno sol, e o sombreamento, especialmente de 70% mitiga os danos estressantes do déficit hídrico por até 20 dias de cultivo.

Palavras-chave: Pitombeira, sombreamento, estresse hídrico, metabolismo fotossintético.

CHAPTER I: SHADE IN GROWTH AND MITIGATION OF WATER DEFICIT OF *Talisia esculenta* Radlk SEEDLING.

ABSTRACT

Talisia esculenta Radlk. is a fruit-bearing tree species native to the Amazon region with wide distribution in the Caatinga, Cerrado and Atlantic Forest and which is exclusively used in restoration programs for degraded areas. However, information about its ecophysiology and instructions for its full development are still scarce. Thus, the aim of this study was to evaluate the development of *T. esculenta* seedlings under different levels of shading and their potential to mitigate the stressful effect of water deficit. The study was divided into two experiments arranged in a completely randomized design: I - Evaluating the effect of shading (0, 3 and 70%) on seedlings under continuous irrigation; II - Evaluating shading associated with water deficit, with the seedlings divided into the following treatments: 0% + irrigation; 0% + water suspension; 30% + irrigation; 30% + water suspension; 70% + irrigation; 70% + water suspension. In both experiments, gas exchange, chlorophyll index, leaf and root proline content and Dickson Quality Index were evaluated. The 70% shading favored the photosynthetic rate of the seedlings and provided a higher Dickson Quality Index (DQI). When the seedlings were subjected to water deficit, shading was also effective in mitigating the damage caused by water stress. *T. esculenta* is sensitive to cultivation in full sun, and shading, especially 70%, mitigates the stressful damage caused by water deficit for up to 20 days of cultivation.

Keywords: Pitombeira, shading, water stress, photosynthetic metabolism.

1. INTRODUÇÃO

Talisia esculenta é uma espécie arbórea florestal, nativa da região amazônica e com ampla ocorrência na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica que além de ter aplicação em projetos da construção civil também é indicada para plantio em áreas degradadas de preservação permanente (LORENZI, 2016; ACEVEDO-RODRÍGUEZ, 2015). A espécie possui potencial para plantio e recuperação de matas ciliares por se adaptar muito bem em ambiente ripário e também apresentar abundante produção de sementes, além de um desenvolvimento moderado das mudas. No entanto, apesar de bem distribuída geograficamente, poucos são os estudos que abordam os aspectos produtivos, como luminosidade e necessidade hídrica da espécie, e são justamente essas informações que poderiam dar suporte a programas de reflorestamento, elucidando as suas necessidades, principalmente no período de formação inicial das mudas (VIEIRA; GUSMÃO, 2008).

O conhecimento desses aspectos é importante visto que cada espécie apresenta uma necessidade e um padrão de resposta fisiológica em relação a luminosidade a que é exposta, e por isso é importante que se tenha estudos com níveis de luminosidade para que assim se possa compreender o comportamento e as exigências das espécies (TRIBUZY et al, 2023; LIMA et al., 2021). Além disso, o sombreamento, segundo Bartieres et al. (2023), apresenta ação mitigadora dos danos causados pelo déficit hídrico, o que o torna uma ferramenta útil para a propagação da espécie, já que esta é uma condição cada vez mais recorrente devido as alterações climáticas.

Silva et al. (2018) definem o déficit hídrico como um desequilíbrio entre a disponibilidade de água no solo e a demandada pela cultura pela taxa de transpiração das plantas ou evapotranspiração da cultura. Na planta, a condição de déficit hídrica gera uma série de danos que geram impactos negativos na sua estrutura, crescimento e metabolismo (BIANCHI et al., 2016).

Portanto, compreender o comportamento de *T. esculenta* perante o efeito do sombreamento de forma isolada, bem como frente ao déficit hídrico, é um processo importante diante projetos de preservação da espécie e de recuperação de áreas degradadas, priorizando, inclusive, uma exploração sustentável frente ao extrativismo que a espécie vem sendo submetida. Assim, objetivou-se avaliar o comportamento de *T.*

esculenta sob diferentes níveis de sombreamento e sob déficit hídrico e suas consequências no crescimento e no metabolismo fotossintético das mudas

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução

Foram realizados dois experimentos independentes, ambos realizados na área de viveiros da Faculdade de Ciências Agrárias (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados – MS, Brasil.

Durante o período experimental, os dados de temperatura e umidade relativa durante o período experimental foram obtidos da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal da Grande Dourados, em Dourados – MS (Figura 1).

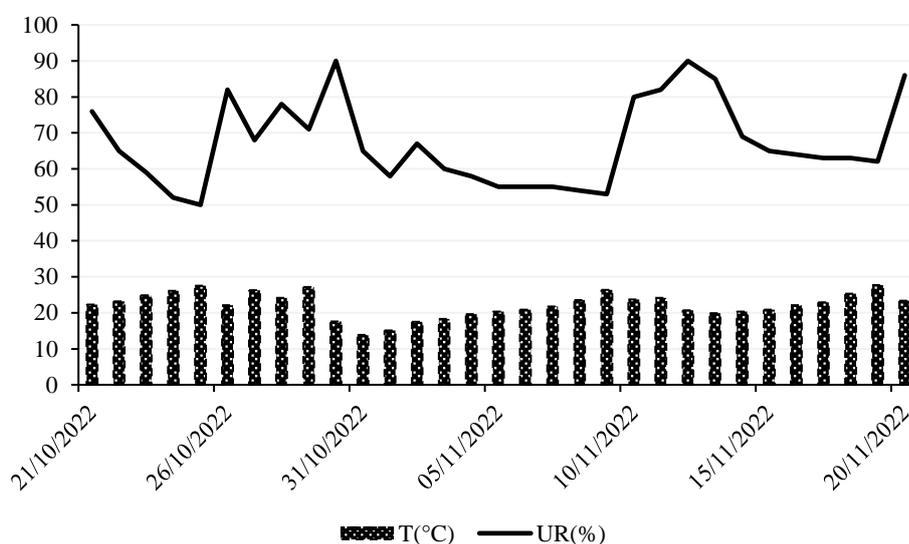


Figura 1. Temperatura (°C) e Umidade relativa (%) do período experimental obtidos da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal da Grande Dourados, em Dourados – MS

Produção das mudas

Frutos de *T. esculenta* foram colhidos de matrizes em área remanescente de Cerrado na região da Grande Dourados (MS), e após o beneficiamento manual, com a retirada da polpa, foi realizada a semeadura em tubetes plásticos de 50 x 190 mm, com substrato comercial composto por turfa sphagnum, vermiculita, casca de arroz carbonizada e hidrofibra. Os tubetes foram mantidos em viveiro revestido com tela de

nylon com 70% de sombreamento, sendo irrigados três vezes ao dia com microaspersores e nebulizadores automáticos.

As mudas foram transplantadas quando atingiram em média 10 cm de altura para vasos de 7 L preenchidos com latossolo de textura argilosa e areia grossa (3:1, v/v). Após o período de 20 dias de aclimatização, as mudas foram alocadas em viveiros com 0% (pleno sol), 30% e 70% de sombreamento, onde permaneceram por mais 15 dias até o início das avaliações. O viveiro com 0% de sombreamento possuía cobertura plástica transparente, enquanto os viveiros de 30 e 70% de sombreamento possuíam cobertura com tela de nylon preta.

Descrição dos experimentos

Esse estudo foi dividido em 2 experimentos, identificados aqui como Experimento I e Experimento II, onde no experimento I comparou-se o efeito do sombreamento no desenvolvimento das mudas, e no experimento II foi avaliado o efeito do sombreamento no alívio dos danos do déficit hídrico.

Experimento I: As mudas foram mantidas em viveiros com 0 (pleno sol), 30 e 70% de sombreamento, sendo irrigadas diariamente, com avaliações a cada 10 dias, durante 30 dias, período no qual as mudas de algum dos níveis de sombreamento atingiram valores de fotossíntese próximo a zero. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições, compostas por um vaso com 2 mudas cada.

Experimento II: As mudas foram mantidas em viveiros com 0 (pleno sol), 30 e 70% de sombreamento, sendo avaliadas em condições de irrigação (I) e de déficit hídrico (RH) representado pela suspensão da irrigação, caracterizando seis condições de cultivo: 0% I, 0% RH, 30% I, 30% RH, 70% I e 70% RH durante 20 dias, e avaliações a cada 10 dias, contando com três repetições, compostas por um vaso com 2 mudas cada. O segundo experimento também foi disposto em delineamento inteiramente casualizado e avaliado por 20 dias pois após esse período as mudas a pleno sol associadas ao déficit hídrico não apresentavam qualidade para continuar as avaliações.

Variáveis avaliadas

- **Trocas gasosas:** Realizadas sempre no período das 8:00 às 11:00 horas da manhã, utilizando-se folhas totalmente expandidas, completamente expandidas, com auxílio do medidor portátil de fotossíntese, e analisador de CO₂ por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA), para a análise dos seguintes parâmetros: Taxa fotossintética (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração de CO₂ nos espaços intercelulares (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), e eficiência de carboxilação (A/C_i). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) foi de 1,300; 700; e 400 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob 0, 30 e 70% de sombreamento, respectivamente.

- **Índice de clorofila:** Determinado utilizando clorofilômetro portátil modelo SPAD-502 (Konica-Minolta), sendo realizada leitura em folha totalmente expandida localizada no terço médio das mudas.

- **Prolina:** O teor de prolina das folhas e das raízes foi determinado por espectrofotometria seguindo extração proposta por Bates et al. (1973), no qual 400 mg do material foi macerado com 10 mL de ácido sulfosalicílico a 3% e posteriormente centrifugados para obtenção do sobrenadante. A determinação foi realizada segundo método de Colton-Gagnon et al. (2014), com leituras a 520 nm de absorvância.

- **Qualidade das mudas:** Avaliada com base no Índice de Qualidade de Dickson de acordo com a proposta de Dickson et al. (1960) utilizando a seguinte equação:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{D}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)}$$

Onde: MST = Matéria seca total; H = Altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes.

- **Fluorescência da clorofila *a*:** Avaliada apenas no experimento II utilizando-se fluorômetro portátil, model OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). As mesmas folhas utilizadas nas avaliações das trocas gasosas foram submetidas à condição de escuro durante 30 minutos. Foram considerados a fluorescência inicial (F_0) e a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m).

Análise estatística

Os dados do experimento I foram submetidos à análise de variância e pelo teste F ($p \leq 0,05$). Em cada tempo de exposição, as médias dos dados de trocas gasosas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2019). No experimento II, os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativas as médias dos períodos de avaliação foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e os tratamentos pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$) por meio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento I

De maneira geral, observamos que entre o 5º e o 10º dia ocorreu queda abrupta da temperatura (FIGURA 1), o que acarretou em redução nas trocas gasosas das mudas de *T. esculenta* nesse período. O cultivo das mudas ao pleno sol (0%) reduziu a taxa fotossintética (A), condutância estomática (G_s), transpiração (E) e eficiência intrínseca de carboxilação (A/C_i), apresentando menores valores em comparação as mudas sombreadas, especialmente sob 70% (FIGURA 2A, B, C e D), indicando que o pleno sol foi uma condição estressante para o metabolismo e crescimento das mudas. Aos 30 dias de cultivo, as mudas sob pleno sol atingiram valores de taxa fotossintética próximos a zero (0,4), enquanto que aquelas sombreadas apresentaram taxas de 4,34 e 6,06 para os sombreamentos de 30 e 70%, respectivamente.

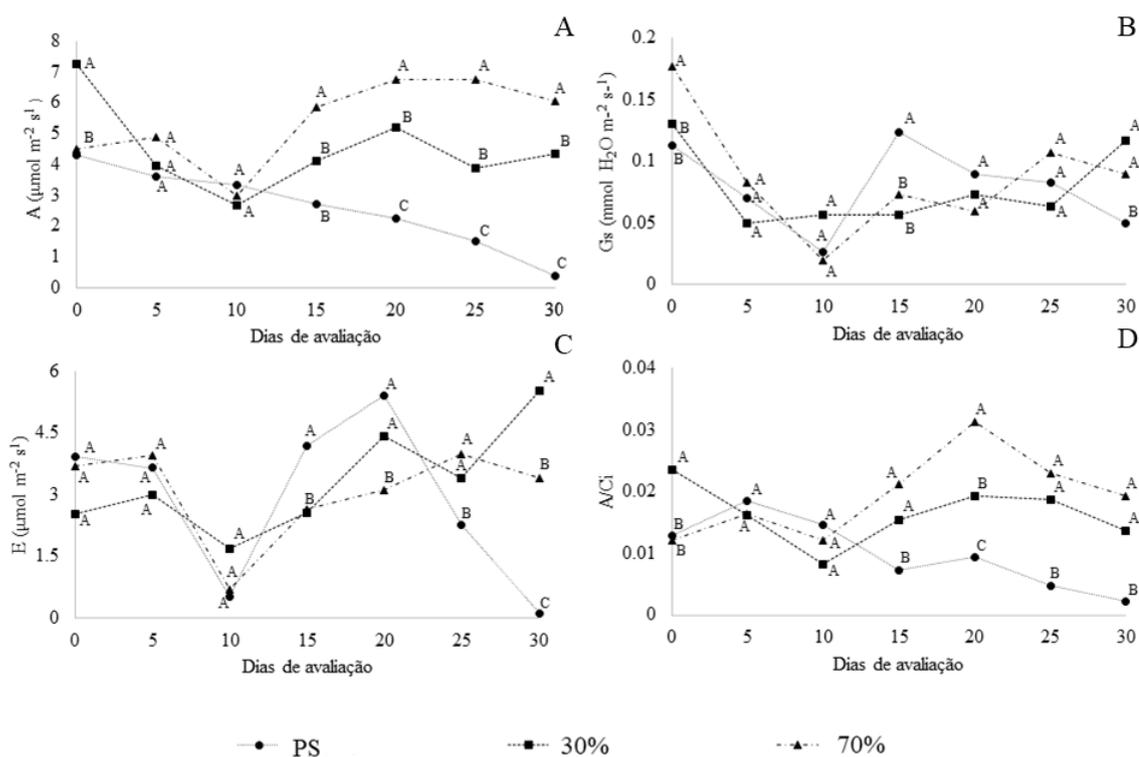


Figura 2. Taxa fotossintética – A (A); condutância estomática (G_s) – (B); transpiração – E (C) e eficiência de carboxilação A/C_i (D) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (PS-Pleno sol, 30% e 70%). Letras iguais em cada período de avaliação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey $p > 0,05$

Em geral, o cultivo a pleno sol pode ser sido estressante devido ao fato de que nessa condição ocorre o ponto de saturação luminosa, na qual as plantas não aproveitam toda a energia luminosa, ocasionando a fotoinibição, e redução do potencial de assimilação de CO₂, tal como observado em nosso estudo. As melhores respostas sob 70% de sombra, reforça a classificação ecológica da espécie em secundária inicial a tardia. Entre os sombreamentos, o de 70% foi o que proporcionou maior capacidade fotossintética das mudas assim como o observado por Bartieres et al. (2020) em mudas de *Campomanesia xanthocarpa*. Esse comportamento reforça a classificação desta espécie como de sucessão tardia, já que espécies assim classificadas quando em condições de pouca luz tendem a apresentar aumento nas trocas gasosas, diminuição dos pontos de compensação de luz, além de taxas de crescimento rápidas (SANTOS et al., 2019).

Observa-se que a transpiração permaneceu mais elevada nas mudas que estavam à pleno sol, até o 20º dia de avaliação, quando passou a apresentar queda nesses valores (FIGURA 2C).

A redução nos valores da condutância estomática e da transpiração das mudas sem sombreamento após o 20º dia reforçam a teoria que a exposição a pleno sol é prejudicial para as mudas de *T. esculenta*. Esse é um comportamento natural em condições de estresse, pois a planta tende a fechar seus estômatos causando uma redução da transpiração foliar causando consequentemente redução na perda de água, além de redução da taxa fotossintética (TAIZ et al., 2017).

O índice de clorofila (SPAD) aumentou nas mudas sob 70% de sombreamento e reduziu até os 20 dias de cultivos nas demais condições, período que mostra tendência de ajuste e retomada dos valores (FIGURA 3A).

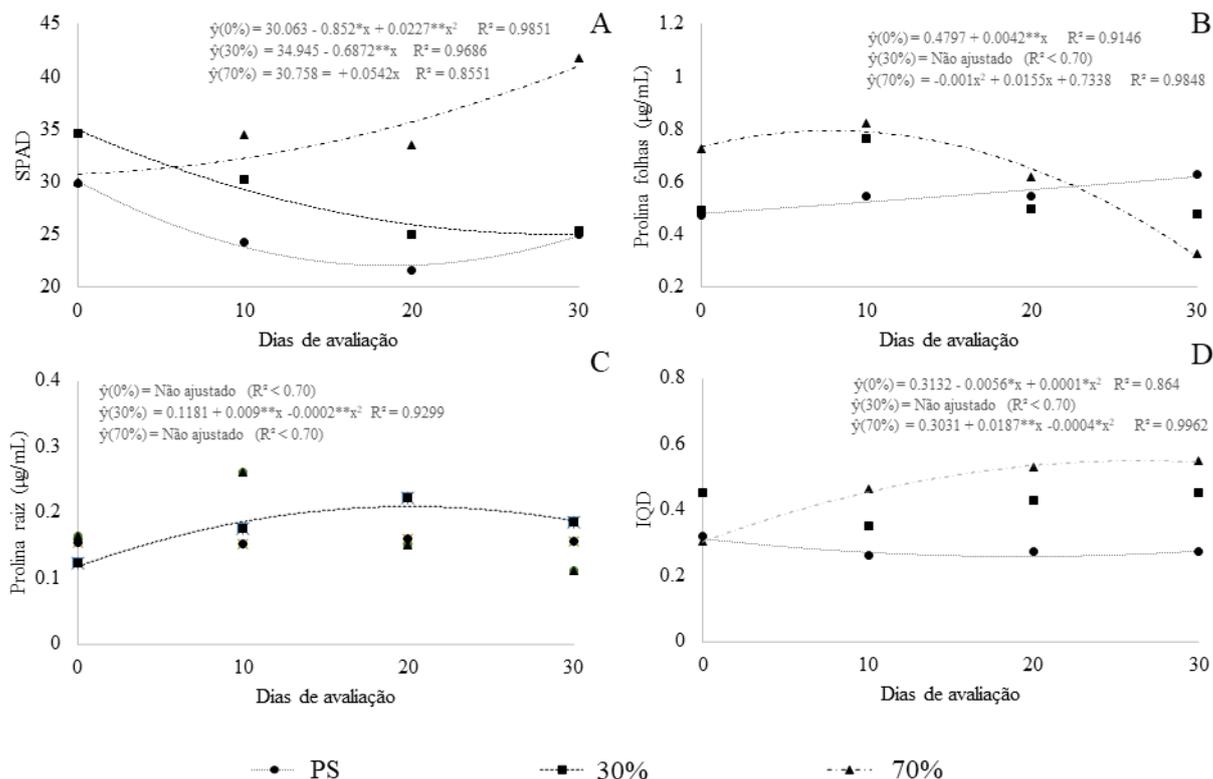


Figura 3. Índice de clorofila – SPAD (A) e teor de prolina em folhas (B) e raiz (C) e índice de qualidade de Dickson (D) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (PS-Pleno sol, 30% e 70%).

Santos et al. (2022) ao avaliarem o efeito do sombreamento em *Protium apiculatum* Swart. observaram comportamento semelhante, com aumento gradativo e exponencial dos teores de clorofila das mudas sob menor sombreamento. Esse aumento da clorofila sob maior sombreamento caracteriza compensação à menor quantidade de radiação disponível; além disso, a taxa de degradação dos pigmentos clorofilados é menor quando comparada a uma planta que está exposta a ambientes com luminosidade plena

O conteúdo de prolina na folha foi crescente nas mudas mantidas a pleno sol, entretanto, nas mudas sombreadas aumentou até os 10 dias, reduzindo em seguida no sombreamento de 70% (FIGURA 3B). Em relação ao conteúdo de prolina na raiz (FIGURA 3C), os resultados variaram nos diferentes sombreamentos. Os valores foram muito menores que nas folhas além disso, não houve acúmulo durante o período de avaliação, indicando que na raiz, o déficit hídrico foi menos estressante que nas folhas. Esse comportamento sugere que as baixas temperaturas e umidade durante esse período

acentuaram o estresse pela exposição ao pleno sol, sendo o aumento da prolina uma resposta para a proteção da planta.

A prolina é um dos osmoprotetores e moléculas sinalizadoras mais eficazes, com poder para desencadear mecanismos de prevenção e tolerância ao estresse, agindo na remoção de espécies reativas de oxigênio que são extremamente prejudiciais para o metabolismo fotossintético, porém a sua ação é variável de acordo com o seu transporte interno na planta (CERQUEIRA et al., 2023; HOSSEINIFARD et al., 2022).

A qualidade das mudas, avaliada pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi maior naquelas mantidas sob sombreamento durante todo período de avaliação, entretanto, não houve ajuste para os valores de IQD das mudas sob 30% de sombreamento (FIGURA 3D).

O índice de Dickson é considerado um bom indicador de qualidade de mudas, pois utiliza tanto a relação altura e diâmetro quanto o equilíbrio da biomassa avaliada pela relação raiz e parte aérea (PIMENTEL et al., 2021). Segundo Gomes et al. (2019) o valor mínimo desta variável, em situações onde se tem um volume maior de substrato, seria em torno de 0,35. Assim, considerando a qualidade das mudas, o cultivo sombreado é o que proporcionou maior qualidade para elas, refletindo maior investimento na produção de fotoassimilados.

Assim, esses resultados mostraram que o sombreamento foi fator positivo para o crescimento e desenvolvimento das mudas de *T. esculenta*, especialmente a condição de 70%, evidenciando que as mudas dessa espécie são sensíveis à luminosidade, principalmente na fase inicial de formação.

Experimento II

As mudas de *T. esculenta* foram afetadas negativamente pelo déficit hídrico, indicando sensibilidade a essa condição. Por outro lado, tendo o sombreamento de 70% apresentado efeito mitigante quanto aos danos causados nas trocas gasosas (FIGURA 4). Aos 20 dias de avaliação as mudas que tiveram a irrigação suspensa e que estavam na condição de pleno sol e de 30% de sombreamento atingiram valores de fotossíntese próximos a zero, enquanto as que estavam sob sombreamento de 70% apresentaram

valores significativamente mais elevados comparadas as irrigadas a pleno sol (FIGURA 4A).

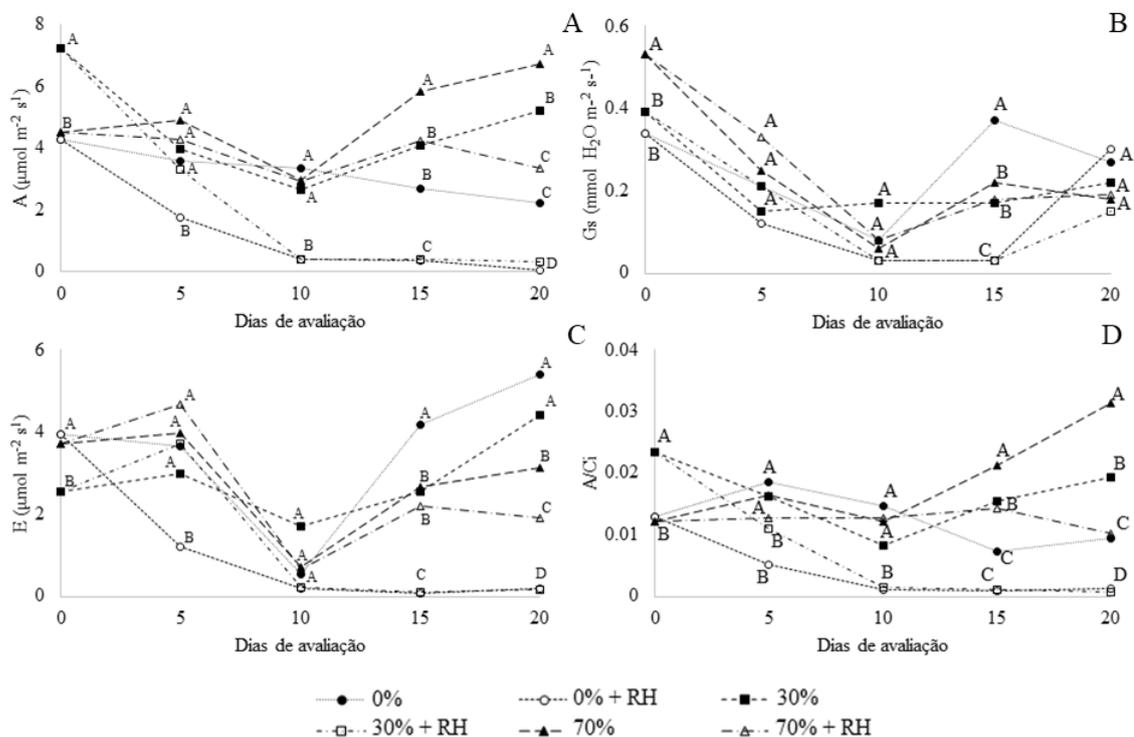


Figura 4. Taxa fotossintética – A (A), condutância estomática – Gs (B), transpiração – E (C) e eficiência de carboxilação da rubisco – A/Ci (D) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH). Letras iguais em cada período de avaliação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey $p > 0,05$.

A condutância estomática (Gs), assim como a transpiração (E), reduziram nos 10 primeiros dias, porém, após esse período houve aumento nas plantas que permaneceram irrigadas (Figura 4B e C). Essa redução certamente ocorreu em função da condição climática, pois, registrou-se nesse período, queda acentuada da temperatura ambiente com aumento posterior. Considerando o fato de que a transpiração também é um mecanismo de redução de temperatura foliar, e quando em temperaturas próximas ou dentro da faixa ideal de cada espécie os processos fotossintéticos passam a ser otimizados (SADOK et al., 2020).

A eficiência intrínseca de carboxilação da Rubisco (A/Ci) diminuiu nas mudas sob restrição hídrica mantidas a pleno sol e 30% de sombreamento, a partir do

décimo dia, enquanto que as mudas sombreadas que receberam irrigação contínua apresentaram os maiores valores da relação (FIGURA 4D).

A restrição hídrica promoveu aumento nos valores da fluorescência inicial (F_0), sendo os menores valores encontrados no sombreamento de 70% (FIGURA 5A). A eficiência quântica potencial do fotossistema II, expressa pela relação F_v/F_m , apresentou redução acentuada nas mudas submetidas ao déficit hídrico, com exceção daquelas sob o sombreamento de 70%, que permaneceram com valores similares aos das mudas hidratadas (FIGURA 5B). O sombreamento de 70% também foi o único a proporcionar a manutenção dos valores do índice de clorofila (SPAD), diferentemente das demais condições que apresentaram redução desse índice, especialmente perante o déficit hídrico (FIGURA 5C).

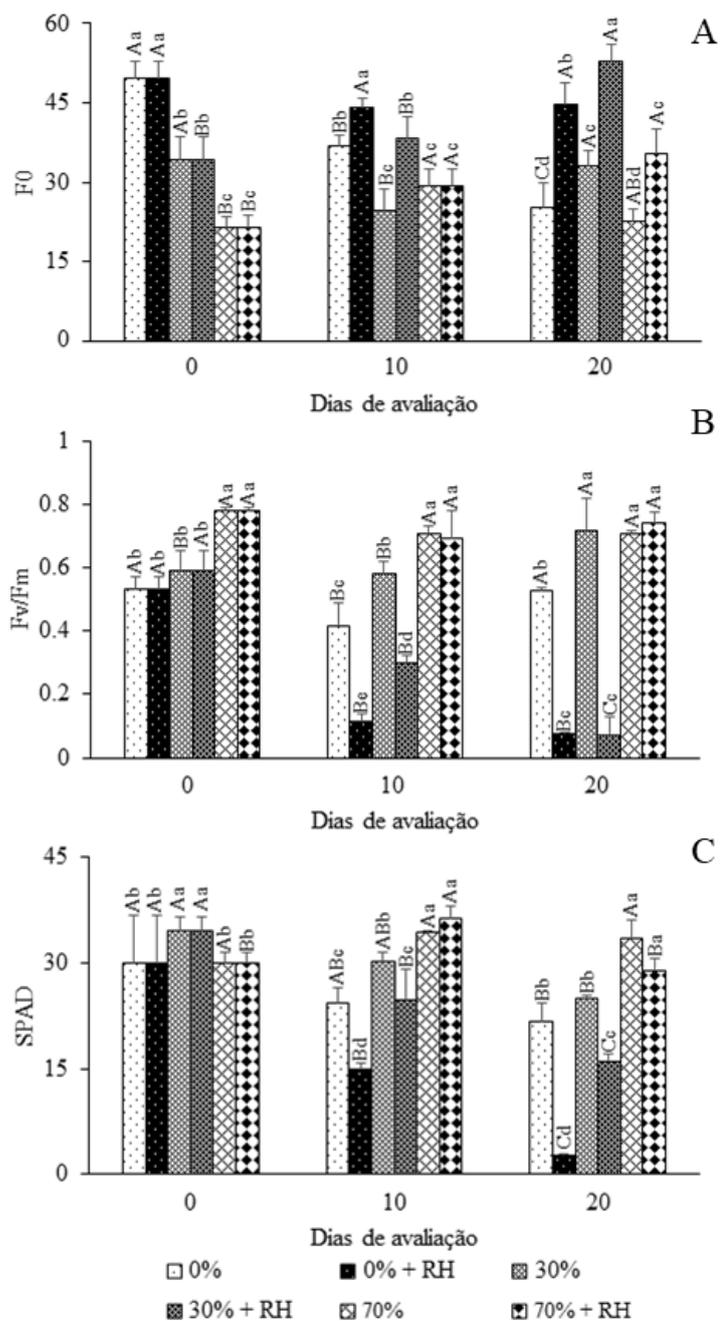


Figura 5. Fluorescência inicial – F0 (A), eficiência fotoquímica máxima de FSII – Fv/Fm (B) e índice de clorofila – SPAD (C) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH). Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

As medidas de fluorescência apontam a integridade e funcionalidade do aparato fotossintético, sendo assim utilizadas como ferramenta na identificação da condição de estresse (REIS et al., 2020). Segundo Foresti et al. (2022) o aumento dos valores de F0 são um indicativo da condição estressante de cultivo, o que para Bartieres et al. (2023) é reforçado quando acompanhado da redução dos valores da relação Fv/Fm. Considerando essas informações da literatura e baseado em nossos resultados, reforçamos a ideia de que o cultivo a pleno sol, comparado com as demais condições de luminosidade, se mostrou fator estressante para *T. esculenta*, visto que desde o início das avaliações os valores de F0 se encontravam elevados nessa condição.

O conteúdo de prolina nas folhas e raízes das mudas sob restrição hídrica aumentou sob pleno sol e 30% de sombra, enquanto que das mudas sob 70% manteve-se baixo aos 10 dias, enquanto que aos 20 dias ocorreu aumento independente dos níveis de sombreamento. mas em todas as condições de sombreamento no entanto, sob sombreamento de 70% este aumento só pode ser observado no 20º dia de avaliação (FIGURA 6A).

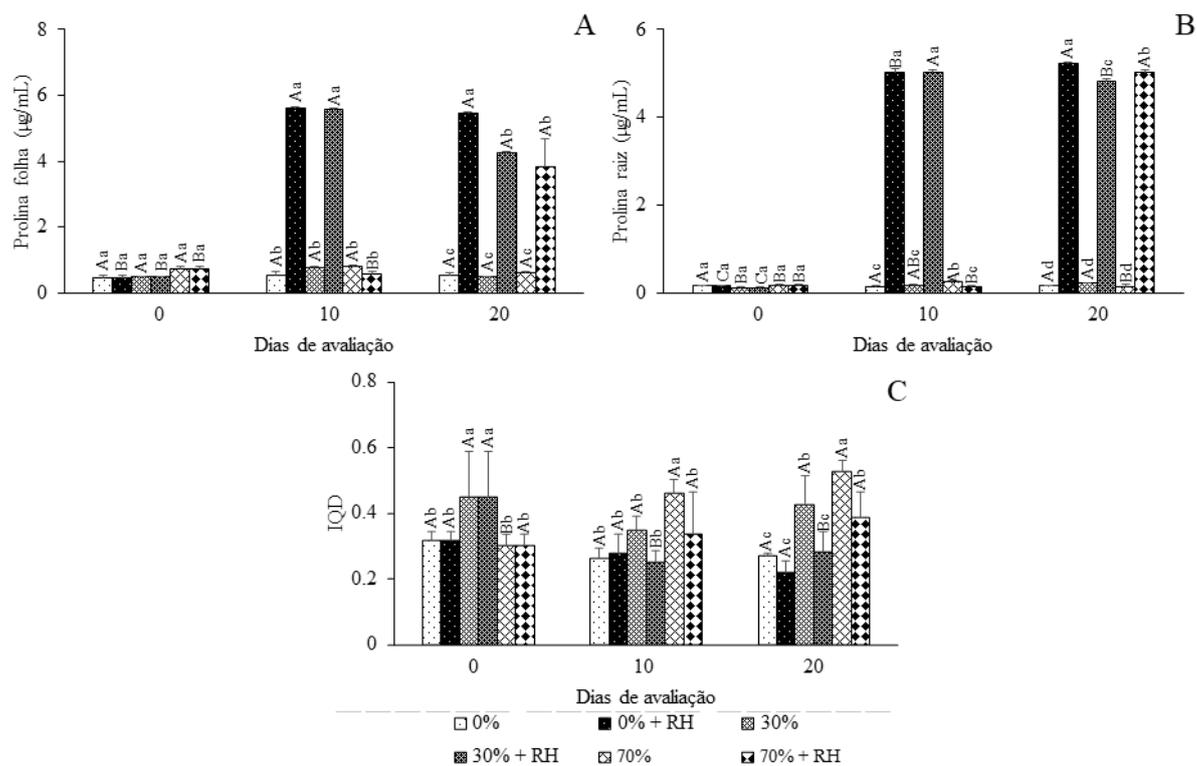


Figura 6. Conteúdo de prolina em folhas (A) e raízes (B) e índice de qualidade de Dickson (C) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. em razão de intensidades de sombreamento (0, 30 e 70%) submetidas, ou não, a restrição hídrica (RH). Letras

maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

O acúmulo mais acentuado de prolina nas mudas de *T. esculenta* nas condições de déficit hídrico evidenciam que a prolina se apresenta como mecanismo de proteção e resistência aos danos causados pelo estresse. Esse acúmulo, segundo Hosseinifard et al. (2022), proporciona aumento da fotossíntese, da atividade antioxidante enzimática e não enzimática, além de regular a concentração de osmólitos e a homeostase de sódio e potássio, proporcionando assim resistência das plantas ao estresse.

O índice de qualidade de Dickson foi influenciado negativamente pela condição de déficit hídrico independente da condição de sombreamento. O sombreamento de 70%, irrigado, foi o que proporcionou mudas de maior qualidade com valor de IQD igual a 0,53 (FIGURA 6C). A condição de pleno sol, com e sem irrigação, proporcionou os menores valores de IQD (0,27 e 0,21, respectivamente).

A partir desses resultados, comprova-se que o sombreamento possui papel importante no crescimento e qualidade de mudas de *T. esculenta*, principalmente diante de situações de déficit hídrico. Conhecer esses comportamentos se faz necessário para desenvolver técnicas e tecnologias eficientes para a propagação de mudas dessa espécie de forma a contribuir para projetos de recuperação de áreas degradadas ou para exploração sustentável da espécie.

4. CONCLUSÃO

Mudas de *T. esculenta* são sensíveis ao pleno sol e ao déficit hídrico. O sombreamento na fase de formação de mudas favorece o metabolismo fotossintético além de proporcionar maior qualidade das mudas, sendo 70% de sombreamento o mais indicado para a etapa inicial de crescimento das mudas, pelo menos até os 30 dias de cultivo avaliados.

O déficit hídrico associado ao pleno sol causa prejuízos ao metabolismo fotossintético e à eficiência do fotossistema II, sendo o acúmulo de prolina um mecanismo das mudas de *T. esculenta* para superar os danos causados pelo estresse.

T. esculenta é sensível ao cultivo a pleno sol desde o início, e o sombreamento, especialmente de 70% mitiga os danos estressantes do déficit hídrico por até 20 dias de cultivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P. Talisia in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Acesso em: 30 de dezembro de 2023 (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB20984>)

ALMEIDA, R. S.; CUNHA, F. L.; ROSSI, J. A.; MELO, L. A. Intensidade de sombreamento e formulação de substrato afetam a qualidade de mudas de *Cordia trichotoma*. **Ciência Florestal**, v. 33, 2023.

BARTIERES, E. M. M.; DRESCH, D. M.; REIS, L. C.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, 2023.

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

CERQUEIRA, W. M.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C.; SANTIAGO, E. F.; ALMEIDA, J. L. C. S.; FIGUEIREDO, V. M. A.; LINNÉ, J. A.; SILVERIO, J. M. Ecophysiological mechanisms and growth of *Inga vera* Willd. under different water and light availability. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, 2023.

COLTON-GAGNON, K.; ALI-BENALI, M. A.; MAYER, B. F.; DIONNE, R.; BERTRAND, A.; CARMO, S.; CHARRON, J. B. Comparative analysis of the cold acclimation and freezing tolerance capacities of seven diploid *Brachypodium distachyon* accessions. **Annals of botany**, v. 113, n. 4, p. 681-693, 2014.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, 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.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019.

HOSSEINIFARD, M.; STEFANIAK, S.; JAVID, M. G.; SOLTANI, E.; WOJTYLA, Ł.; GARNCZARSKA, M. Contribuição da prolina exógena para a tolerância a estresses abióticos em plantas: uma revisão. **Revista Internacional de Ciências Moleculares**, v. 9, pág. 5186, 2022.

LIMA, M. S.; ARAUJO, M. M.; AIMI, S. C.; OLIVEIRA, V. V.; BERGHETTI, A. L.; NASCIMENTO, N. F.; TAROUÇO, C. P. Uso de atributos fisiológicos na seleção de

espécies florestais nativas para restauração florestal no bioma Mata Atlântica Sul, Brasil. **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 501, 2021.

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

PIMENTEL, N., GAZZANA, D., SPANEVELLO, J. F., LENCINA, K. H., BISOGNIN, D. A. Effect of mini-cutting size on adventitious rooting and morphophysiological quality of *Ilex paraguariensis* plantlets. *Journal of Forestry Research*, v. 32, n. 2, p. 815-822, 2021.

REIS, L. C.; SCALON, S. P.; 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**, v. 48, n. 1, p. 210-220, 2020.

SADOK, W.; LOPEZ, J. R.; SMITH, K. P. Transpiration increases under high-temperature stress: Potential mechanisms, trade-offs and prospects for crop resilience in a warming world. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, n. 7, p. 2102-2116, 2021.

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

SANTOS, O. D. O.; MENDES, K. R.; MARTINS, S. V. C.; SILVA, W. B.; SANTOS, M. A.; FIGUEIRÔA, J. M.; SOUZA, E. R.; FERNANDES, D.; ARAÚJO, W. L.; POMPELLI, M. F. Parâmetros fisiológicos e plasticidade como fatores-chave para a compreensão de espécies pioneiras e de sucessão tardia na Mata Atlântica. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 1-18, 2019.

SANTOS, C. C.; LIMA, N. M.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; SCALON, S. P. Q. Metabolismo fotossintético em mudas de *Pereskia aculeata* Plum. propagadas por estaquia sob diferentes disponibilidades luminosas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 712-719, 2019b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TRIBUZY, A. S.; FINGER, C. A. G.; TABALDI, L. A.; PAULETTO, D.; ARAÚJO, A. J. C.; CAMARGO, P. B.; SILVA, K. G.; TRIBUZY, E. S. INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE *Myrcarpus frondosus* Allemão (FABACEAE). **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 10, p. 17533-17553, 2023.

CAPÍTULO II: O SILÍCIO E O ÁCIDO SALICÍLICO ATENUAM OS DANOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS *DE TALISIA ESCULENTA* RADLK.?

RESUMO

O déficit hídrico é um dos fatores que mais influenciam o crescimento e a produtividade das plantas. Na tentativa de aliviar o efeito estressante causado pela restrição de água, diversos compostos vêm sendo utilizados como agentes mitigadores, a exemplo do silício e do ácido salicílico. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de silício e ácido salicílico e do déficit hídrico no crescimento e no metabolismo fotossintético e osmorregulador de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. e seu potencial de recuperação após a retomada da irrigação. Foram realizados seis tratamentos: irrigação, suspensão de irrigação, suspensão de irrigação + silício na dose de $0,5 \text{ g L}^{-1}$, suspensão de irrigação + silício na dose de $1,0 \text{ g L}^{-1}$, suspensão de irrigação + ácido salicílico na dose de 50 mg L^{-1} e suspensão de irrigação + ácido salicílico a 100 mg L^{-1} . As avaliações foram realizadas no início do experimento, aos 10 e 15 dias após a suspensão da irrigação, quando as mudas apresentavam taxa fotossintética próxima de zero, e na recuperação. As plantas foram submetidas à restrição hídrica por até 15 dias e depois reirrigadas até o ponto de recuperação, que foi monitorado com base na taxa fotossintética. A aplicação de silício atenuou os efeitos nocivos do déficit hídrico nas trocas gasosas e na fluorescência inicial, promoveu o acúmulo de prolina na folha e na raiz e proporcionou maior qualidade das mudas. A aplicação de ácido salicílico contribuiu para a manutenção do teor relativo de água das folhas durante o período de déficit hídrico. As aplicações de silício e ácido salicílico podem atenuar os efeitos nocivos do estresse hídrico, sendo o silício o agente mais eficaz na manutenção do seu crescimento e metabolismo.

Palavras-chave: estresse abiótico, pitomba, plasticidade fenotípica, metabolismo fotossintético, prolina.

CHAPTER II: DO SILICON AND SALICYLIC ACID MITIGATE THE DAMAGE OF WATER DEFICIT IN TALISIA ESCULENTA RADLK SEEDLINGS.?

ABSTRACT

Water deficit is one of the factors that most influences plant growth and productivity. In an attempt to alleviate the stressful effect caused by water restriction, several compounds have been used as mitigating agents, such as silicon and salicylic acid. Thus, this study aimed to evaluate the effect of silicon and salicylic acid application and water deficit on the growth and photosynthetic and osmoregulatory metabolism of *Talisia esculenta* Radlk. seedlings and their recovery potential after resumption of irrigation. Six treatments were performed: irrigation, irrigation suspension, irrigation suspension + silicon at a dose of 0.5 g L⁻¹, irrigation suspension + silicon at a dose of 1.0 g L⁻¹, irrigation suspension + salicylic acid at a dose of 50 mg L⁻¹ and irrigation suspension + salicylic acid at 100 mg L⁻¹. The evaluations were performed at the beginning of the experiment, at 10 and 15 days after the suspension of irrigation, when the seedlings presented photosynthetic rate close to zero, and during recovery. The plants were subjected to water restriction for up to 15 days and then re-irrigated until the point of recovery, which was monitored based on the photosynthetic rate. The application of silicon attenuated the harmful effects of water deficit on gas exchange and initial fluorescence, promoted the accumulation of proline in the leaf and root, and provided higher seedling quality. The application of salicylic acid contributed to the maintenance of the relative water content of the leaves during the period of water deficit. The applications of silicon and salicylic acid can attenuate the harmful effects of water stress, with silicon being the most effective agent in maintaining their growth and metabolism.

Keywords: abiotic stress, pitomba, phenotypic plasticity, photosynthetic metabolism, proline.

1. INTRODUÇÃO

Talisia esculenta Radlk. (*Sapindaceae*), também conhecida como olho-de-boi, pitomba-do-mato e pitomba-de-macaco, é uma árvore frutífera nativa da região amazônica, encontrada naturalmente em todo o Brasil, está bem adaptada ao Cerrado brasileiro, e também é encontrado na Bolívia e no Paraguai (Rodrigues et al., 2018). As frutas são exploradas durante a colheita no Nordeste brasileiro, sem cultivo organizado, sendo os frutos originários de cultivos domésticos ou mesmo de ocorrência natural, sendo vendidos em feiras livres e ao longo de rodovias. Sua madeira também é utilizada na construção civil para obras internas como forros, esquadrias, batentes, pisos e carpintarias (Lorenzi, 2016). Apesar de bem adaptada ao Cerrado, pouco se sabe sobre as necessidades hídricas da espécie.

O estresse hídrico afeta o desempenho da planta, causando uma redução na eficiência quântica do fotossistema II e uma redução na condutância estomática, na atividade da Rubisco e na taxa fotossintética, o que leva a menor crescimento e qualidade da planta (Foresti et al., 2022; Santos et al., 2022; Silva et al., 2022). O efeito negativo desses fatores pode ser mitigado pela síntese de agentes antioxidantes e osmorreguladores como a prolina (Guirra et al., 2022; Queiroz et al., 2017).

Neste contexto, vários estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de mitigar os impactos do estresse hídrico nas plantas e compreender os padrões e mecanismos de resposta das plantas sob esta condição. O silício tem sido estudado como agente mitigador do efeito de tensões dos mais variados tipos. Segundo Silva et al. (2019), o silício (Si) desempenha um importante papel fisiológico e metabólico nas plantas, mitigando os efeitos adversos do estresse hídrico nas culturas e aumentando a eficiência do uso da água e a atividade antioxidante. O ácido salicílico (AS) é outro composto que vem sendo avaliado quanto ao seu potencial uso, por ser um composto fenólico com ação regulatória em diversos processos fisiológicos em plantas, e sua aplicação é avaliada como uma estratégia promissora para aumentar a tolerância das culturas aos efeitos bióticos, estresses abióticos e xenobióticos (Ferminiano et al., 2018; Gastl Filho et al., 2017).

Os efeitos da aplicação de mitigadores no crescimento e na fisiologia de *T. esculenta* ainda são desconhecidos. Assim, levantamos a hipótese de que a aplicação de

mitigadores reduz os efeitos nocivos do estresse hídrico nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila a, favorece a síntese de prolina em mudas de *T. esculenta* e mantém seu crescimento. Também levantamos a hipótese de que o aumento da prolina atenua os efeitos do estresse hídrico, mantendo o metabolismo fotossintético e a qualidade das mudas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de Si e AS e do estresse hídrico no crescimento e no metabolismo fotossintético e osmorregulador de mudas de *T. esculenta* e seu potencial de recuperação após a retomada da irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal, condições de crescimento e tratamentos

Frutos de *T. esculenta* foram colhidos de plantas parentais em área remanescente de Cerrado na região da Grande Dourados, MS, Brasil. Após o processamento manual, a semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido preenchidas com substrato comercial composto por turfa sphagnum, vermiculita, casca de arroz carbonizada e hidrofibra, as quais foram mantidas em viveiro sob sombreamento de 30% e sob cobertura plástica de 150 microns para proteção contra chuvas. As mudas foram transplantadas para vasos de 7 L preenchidos com Latossolo Argiloso e areia grossa (3:1, v / v) quando atingiram em média 10 cm de altura.

O experimento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6×4 com três repetições compostas por duas plantas cada. As mudas receberam os seguintes tratamentos: (1) irrigação (sem estresse = 70% da capacidade de retenção de água do substrato), conforme metodologia de (SOUZA et al., 2000), (2) suspensão de irrigação (estresse), (3) suspensão de irrigação + silício a $0,5 \text{ g L}^{-1}$, (4) suspensão para irrigação + silício a $1,0 \text{ g L}^{-1}$, (5) suspensão para irrigação + ácido salicílico a 50 mg L^{-1} e (6) suspensão para irrigação + ácido salicílico a 100 mg eu^{-1} . As avaliações foram realizadas no início do experimento (T0), aos 10 (10 DIS) e 15 (15 DIS) dias após suspensão da irrigação e recuperação (REC). O número de dias após a suspensão da irrigação (DIS) foi determinado a partir de pré-testes para avaliar quando as mudas apresentariam taxa fotossintética próxima a um.

As plantas foram pulverizadas até gotejamento (10 mL de solução por planta). As aplicações foram realizadas quando as mudas apresentavam em média 15 cm de altura. Silicato de potássio (12% Si e densidade de $1,40 \text{ g L}^{-1}$) consistiu na fonte de silício. Após a aplicação, as plantas foram submetidas à restrição hídrica, exceto no tratamento irrigado.

As mudas foram reirrigadas após a avaliação aos 15 DIS para avaliar a recuperação, mantendo 70% da capacidade de retenção de água do substrato. A taxa fotossintética foi monitorada a cada dois dias até que a taxa fotossintética das mudas que passaram pelo déficit hídrico apresentasse valor igual ou superior a 80% dos valores encontrados nas plantas que não foram submetidas ao estresse.

Variáveis avaliadas

- **Trocas gasosas:** Determinada sempre das 8h00 às 11h00 usando folhas novas e completamente expandidas, usando um medidor de fotossíntese portátil e um analisador infravermelho de CO₂ (Infra Red Gas Analyzer - IRGA, Modelo ACD BioScientific Ltd., Hoddesdon, Reino Unido) para analisar os seguintes parâmetros: taxa fotossintética (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (G_s) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração de CO₂ nos espaços intercelulares (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). Utilizando dados de A e C_i , a eficiência de carboxilação (A / C_i) foi calculada de acordo com o proposto em Santos et al. (2023) e Capitulino et al. (2023). O ponto de saturação do sistema fotossintético foi determinado estabelecendo o valor da densidade de fluxo dos fótons fotossintéticos em $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD.

- **Conteúdo relativo de água nas folhas (CRA):** Determinado em três folhas de cada tratamento, conforme expressão matemática: $\text{MCR} = 100 [(massa\ fresca - massa\ seca)/(massa\ saturada - massa\ seca)]$. As folhas foram coletadas pela manhã, levadas ao laboratório e cortadas em cilindros de área conhecida. Após pesagem da massa fresca, as folhas foram colocadas em recipiente com água destilada e cobertas com papel alumínio por 24 horas para saturação. Após a pesagem, os discos saturados foram secos em estufa de circulação para determinação da massa seca.

- **Fluorescência da Clorofila a:** Avaliada por meio de fluorômetro portátil OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, NY, EUA). As folhas foram submetidas ao escuro por 30 min. Foram consideradas a fluorescência inicial (F_0) e a eficiência quântica do potencial fotoquímico do fotossistema II (F_v/F_m).

- **Índice de clorofila:** Determinada utilizando-se medidor portátil de clorofila ClorofiLOG[®] CFL 1030 (Falker), com leituras em folhas totalmente expandidas.

- **Conteúdo de prolina foliar e raiz:** Determinado por espectrofotometria seguindo a extração proposta por Bates et al. (1973), na qual 400 mg do material foram macerados com 10 mL de ácido sulfossalicílico a 3% e posteriormente centrifugados para obtenção do sobrenadante. A determinação foi realizada conforme método de Colton-Gagnon et al. (2014), com leituras em 520 nm de absorvância.

- **Polifenóis extraíveis totais:** O teor de polifenóis extraíveis totais (PET, $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) foi determinado por extração em metanol a 50% e acetona a 70% e medições por espectrofotometria, como descrito por Larrauri et al. (1997).

- **Proteínas totais:** As proteínas totais em folhas e raízes foram determinadas por espectrofotometria pelo método de Bradford (1976). As leituras de absorvância foram realizadas em triplicatas no comprimento de onda de 595 nm por meio de espectrofotômetro (Metash Visible Spectrophotometer- modelo V5000).

- **Enzimas antioxidantes :** A Atividade de peroxidase (POD) em folhas e raízes (mg proteína^{-1}) foi determinada pelo método espectrofotométrico direto como descrito por Broetto et al. (2014) no comprimento de onda de 470 nm.

A Atividade da Superóxido Dismutase (SOD) em folhas e raízes (mg proteína^{-1}) foi determinada por espectrofotometria conforme Giannogiopolitis e Reis (1977) no comprimento de onda de nm.

- **Qualidade de Mudas:** Para avaliar a qualidade das mudas foram utilizados dados de altura, diâmetro e biomassa seca da parte aérea e das raízes e calculado o índice de qualidade de Dickson – IQD (DICKSON et al., 1960).

- **Potencial de resiliência ecológica:** Estimado através do índice de plasticidade fenotípica (PPI) de A , A / C_i , F_v/F_m e IQD, conforme proposta de Valladares et al. (2006), utilizando a equação: $\text{PPI} = (M - m)/M$, onde M é o valor da média mais alta e m o valor da média mais baixa. Calculamos o IPP utilizando os maiores e menores valores entre as mudas mantidas sob irrigação e aquelas mantidas sob restrição hídrica com e sem aplicação de mitigadores. Os resultados foram apresentados apenas para caracterização, não aplicando análise estatística.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias dos períodos de avaliação foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mudas de *T. esculenta* foram sensíveis ao déficit hídrico, pois reduziram as características fotoquímicas e bioquímicas da fotossíntese e aumentaram muito os teores de prolina. As características fisiológicas das mudas foram melhor ajustadas que as características de crescimento, o que demonstra a expressão mais rápida das respostas metabólicas ao déficit hídrico.

As mudas que receberam aplicação de Si na dose de 0,5 g apresentaram os maiores valores de taxa fotossintética (A) aos 10 dias de suspensão da irrigação, exceto em comparação à testemunha. Aos 15 dias de restrição hídrica, todas as mudas sob tratamentos estressados apresentaram resultados semelhantes com valores de A próximos a um, enquanto as mudas controle mantiveram valores elevados (Figura 1A).

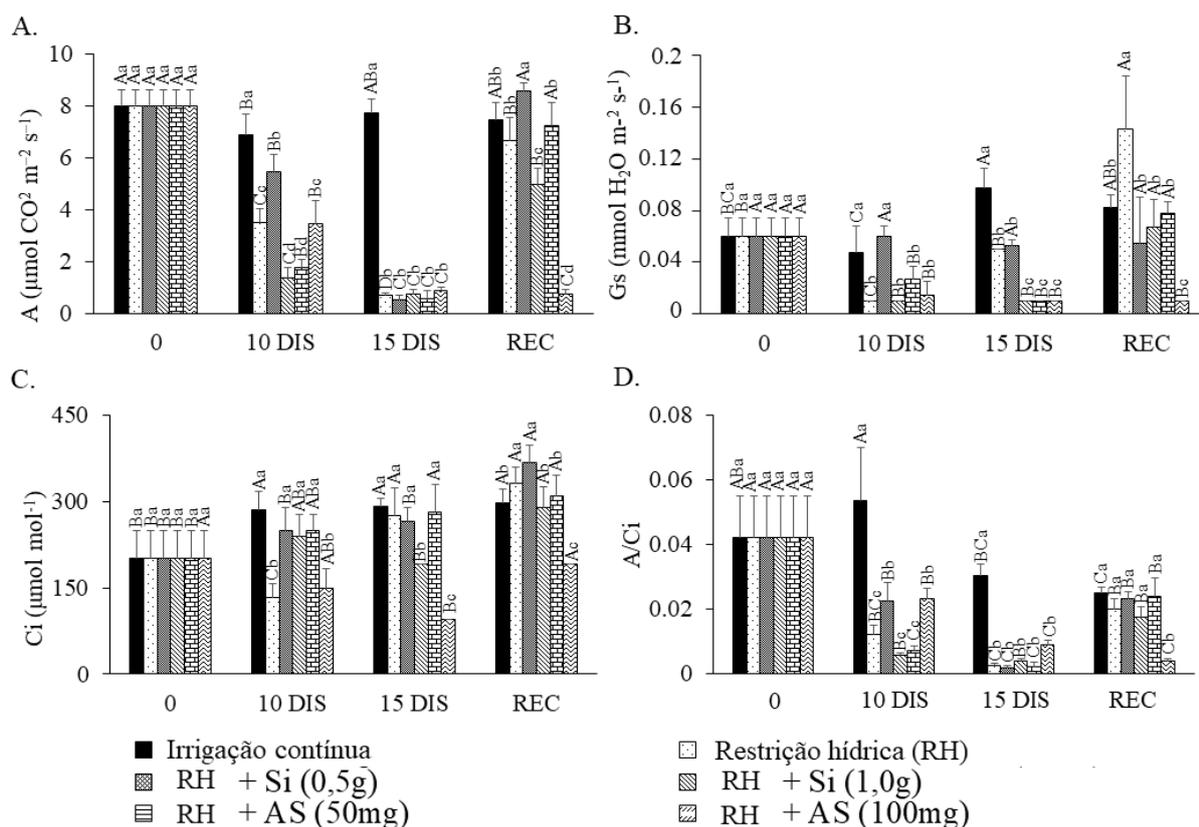


Figura 1. Fotossíntese – A (A) e condutância estomática – G_s (B), concentração de CO_2 nos espaços intercelulares – C_i (C) e eficiência de carboxilação – A/C_i (D) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos

num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Entretanto, as mudas que receberam as menores doses de Si ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) e AS (50 mg L^{-1}) no período de recuperação aumentaram os valores *de A* sete dias após a retomada da irrigação, o que demonstra o efeito desses compostos sobre a recuperação fisiológica de mudas. Em contrapartida, as maiores doses de Si ($1,0 \text{ g L}^{-1}$) e AS (100 mg L^{-1}) não tiveram o mesmo efeito na taxa fotossintética aos 15 DIS (dias de irrigação suspensa). As mudas tratadas com maior dose de Si recuperaram somente após 28 dias, enquanto aquelas tratadas com maior dose de AS não conseguiram recuperar sua capacidade fotossintética, mesmo após passarem esse período sob irrigação contínua. Além disso, enfatizamos que a aplicação de 100 g AS L^{-1} em mudas previamente estressadas não contribuiu para o aumento de *A* no REC. O déficit hídrico causou redução na condutância estomática (*Gs*) das mudas de *T. esculenta*, principalmente aos 10 DIS. No período de estresse, com exceção daquelas tratadas com dose de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ de silício, que permaneceram com valores semelhantes em todos os períodos, as demais mudas apresentaram valores inferiores (Figura 1B). No REC, todas as mudas, exceto aquelas com 100 mg AS L^{-1} , aumentaram os valores *de Gs*, principalmente aquelas previamente estressadas sem a aplicação dos produtos mitigadores.

Diferentemente de *A* e *Gs*, que apresentaram redução no período de restrição hídrica, a concentração interna de CO_2 (C_i) aumentou nesse período, principalmente nas mudas tratadas com as duas doses de Si e a menor dose de AS quando comparadas às mudas sob déficit sem aplicação de produtos e aquelas com 100 mg AS aos 10 DIS, enquanto aos 15 DIS, mesmo as mudas com déficit sem Si e AS também aumentaram os valores (Figura 1C). No REC, as mudas de todos os tratamentos, exceto 100 mg AS L^{-1} , aumentaram os valores.

Assim observamos que a eficiência de carboxilação da Rubisco (A / C_i) reduziu durante o período de déficit hídrico apresentando valores inferiores em relação às mudas que permaneceram sob irrigação aos 10 DIS destacando que embora os valores tenham sido reduzidos em relação ao controle as mudas com $0,5 \text{ g Si L}^{-1}$ e 100 mg AS L^{-1} permaneceram superiores às demais mudas submetidas ao estresse no mesmo período. Aos 15 DIS, houve redução nos valores de A / C_i para todas as mudas, exceto

para a testemunha. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes aos das mudas irrigadas durante a recuperação, exceto aquelas tratadas com 100 mg AS L⁻¹ (Figura 1D).

O efeito positivo do Si se deve à sua capacidade de modular certos genes relacionados à fotossíntese, regulando também o processo fotoquímico da fotossíntese (ZHANG et al., 2018). Este efeito do Si na fotossíntese também foi apontado por Santos et al. (2022) em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied. O potencial positivo do Si em mitigar o estresse devido ao déficit hídrico e favorecer a recuperação após a retomada da irrigação depende da dose, pois o efeito é menor em doses mais altas.

A redução na condutância estomática é um dos primeiros efeitos da restrição hídrica, pois a redução na disponibilidade de água para as plantas diminui o potencial hídrico foliar, o que resulta em perda de turgor nas células estomáticas e fechamento dos estômatos (FLEXAS et al., 2004). A redução da *G_s* durante o déficit hídrico foi descrita por diversos autores em espécies arbóreas como *E. myrcianthes* (FORESTI et al., 2022) e *Dipteryx alata* Vogel (SILVA et al., 2022), variando a intensidade da resposta de acordo com a espécie estudada. Um efeito positivo da aplicação foliar de Si também foi observado em *G_s* para mudas de alface submetidas ao estresse, com aumento nos valores de *G_s* com o aumento das doses de silício (FÁTIMA et al., 2019).

Da mesma forma, Silva et al. (2022) também observaram aumento nos valores de *C_i* ao avaliar a aplicação de Si em *D. alata* durante o estresse hídrico, que não foi acompanhado pela fotossíntese, que também apresentou redução, conforme observado em nosso estudo. Estes resultados levam-nos a acreditar que a fotossíntese também pode ter sido limitada por fatores enzimáticos.

Outras espécies apresentaram resposta semelhante às observadas para *T. esculenta*, como mudas de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg (JUNGLOS et al., 2016) e *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg. (BARTIERES et al., 2020) quando submetido a déficit hídrico. A falta de água para as plantas é responsável por prejudicar o sistema fotossintético, reduzindo o metabolismo do mesófilo, o que leva à diminuição da atividade da Rubisco carboxilase, restringindo assim a absorção de CO₂ nos cloroplastos e aumentando a atividade da Rubisco oxigenase, levando a um aumento na fotorrespiração do fechamento estomático (JUNGLOS et al., 2016).

Houve redução no teor relativo de água (CRA) nas folhas das mudas de todos os tratamentos durante a restrição hídrica, mas as mudas tratadas com dose de AS de 50 mg L⁻¹ somente apresentaram essa redução aos 15 DIS (Figura 2). AS na dose de 100 mg L⁻¹ foi a única dose que não proporcionou aumento durante o período de recuperação das plântulas.

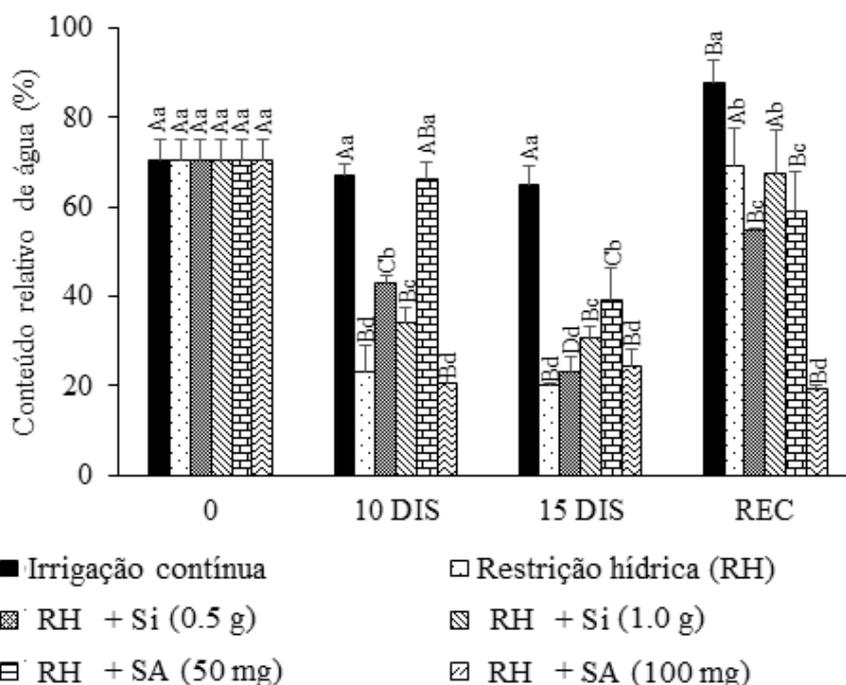


Figura 2. Conteúdo relativo de água em mudas de *Talisia esculenta* Radlk. durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey.

Destacamos que o CRA nas folhas de plântulas de *T. esculenta* tratadas com AS a 100 mg L⁻¹ não conseguiu recuperar o turgor mesmo após a reirrigação, mostrando que essas plântulas podem ter atingido o ponto de murcha permanente, o que justifica o padrão de resposta de as características avaliadas, sem recuperação do metabolismo fotossintético ou crescimento. A redução do teor de água foliar durante o estresse hídrico está relacionada à redução da umidade do solo, o que gera redução do potencial hídrico do apoplasto, o que acaba diminuindo o turgor e o volume (TAIZ et al., 2017).

O efeito benéfico do AS sugere que esse fitohormônio contribuiu para a manutenção do turgor foliar mesmo em condições de déficit hídrico, conforme relatado por Foresti et al. (2022) para mudas de *E. myrcianthes*. O AS desempenha um papel importante no crescimento de *Olea europaea* L. submetida à seca (BRITO et al., 2018), pois sua aplicação proporciona melhorias nas respostas adaptativas da espécie no acúmulo de osmólitos, que são cruciais para a manutenção do turgor foliar, favorecendo a manutenção de um estado hídrico mais favorável no período seco e durante sua recuperação.

As aplicações de Si e AS proporcionaram aumento nos valores iniciais de fluorescência (F0) até o 10º dia de restrição hídrica, com redução dos valores no 15º dia. Entretanto, mudas tratadas com 50 mg L⁻¹ de AS apresentaram aumento de F0 ao longo do período de restrição, enquanto a aplicação de 100 mg L⁻¹ de AS manteve valores reduzidos ao longo deste período (Figura 3A). Os valores de F0 aumentaram nas mudas sob estresse hídrico independente das aplicações de Si e AS, exceto nas mudas tratadas com AS na dose de 100 mg L⁻¹. Entretanto, a F0 diminuiu aos 15 dias, exceto para mudas que receberam AS na dose de 50 mg L⁻¹. É importante mencionar que os valores de F0 voltaram a aumentar após a retomada da irrigação, exceto nas mudas tratadas com Si na dose de 1,0 g L⁻¹.

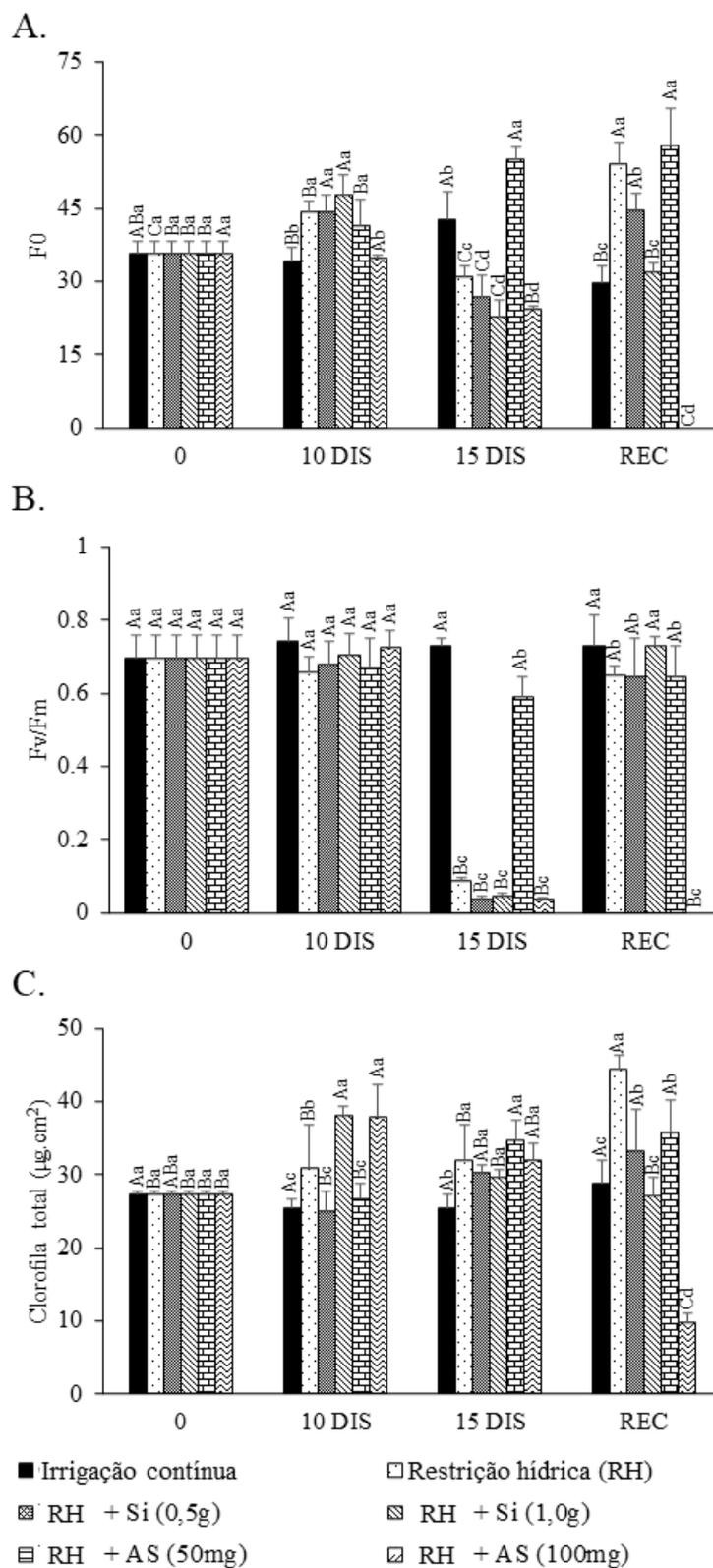


Figura 3. Fluorescência inicial – F0 (A), eficiência fotoquímica máxima de FSII – Fv/Fm (B) e clorofila total (C) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey

($p > 0.05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0.05$).

A eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) foi reduzida somente após 15 dias de restrição hídrica, e as mudas tratadas com 50 mg L⁻¹ de AS mantiveram valor significativamente superior a todos os outros tratamentos nesse período. Porém, durante a recuperação, todas as plântulas previamente estressadas recuperaram os valores de Fv/Fm, exceto aquelas que receberam AS na dose de 100 mg L⁻¹ (Figura 3B).

O estresse hídrico não causou danos permanentes ao Fv/Fm, pois as mudas conseguiram recuperar seus valores após retomarem a irrigação independentemente dos tratamentos com os mitigadores, exceto quando tratadas com AS na dose de 100 mg L⁻¹.

Avaliando as variáveis de fluorescência da clorofila *a*, observamos na literatura que o aumento nos valores de F0 é um indicativo da condição estressante de cultivo (FORESTI et al., 2022). A menor disponibilidade de água em *C. xanthocarpa* também levou a um aumento significativo nos valores de F0 (SANTOS et al., 2021).

As mudas apresentaram baixos rendimentos quânticos somente após 15 dias de suspensão da irrigação, mostrando assim alterações relevantes na eficiência fotoquímica potencial de plantas de *T. esculenta* submetidas à suspensão hídrica por período igual ou superior a este. Indica que o tempo de exposição ao estressor, aqui representado pela suspensão da irrigação, prejudicou o metabolismo fotoquímico das mudas.

Observamos na literatura que plantas com valores de razão Fv/Fm superiores a 0,75 têm seu aparato fotossintético preservado, mas valores inferiores a este sugerem um potencial fotossintético reduzido (SANTOS et al., 2023; ROSA et al., 2021; BARTIERES et al., 2021). Assim, a avaliação das variáveis da fluorescência da clorofila *a* é importante, pois mudas transplantadas em condições de campo estão expostas a estressores como luz intensa, seca e calor (BARTIERES et al., 2021).

As doses de Si (1,0 g L⁻¹) e AS (100 mg L⁻¹) proporcionaram maior teor de clorofila total nas mudas após 10 dias de suspensão da irrigação (38,1 e 37,9,

respectivamente). Porém, as menores concentrações de Si e AS durante o período de recuperação das plântulas foram as que proporcionaram o maior aumento de clorofila (Figura 3C).

Esse aumento em mudas sob déficit hídrico é um resultado atípico, pois a literatura registra redução dos pigmentos fotossintéticos em plantas submetidas a condições estressantes. No entanto, semelhantemente aos resultados observados para *T. esculenta*, Moura et al. (2016) também observaram um aumento no teor de clorofila na noz de Barbados sob déficit hídrico, o que sugere resistência da espécie ao déficit hídrico para melhorar o desempenho da assimilação fotossintética de CO₂ das plantas e manter seu desenvolvimento. Porém, concentrações elevadas de AS podem gerar certo comprometimento da estrutura do cloroplasto. Assim, concentrações de AS a partir de 1 mM podem causar depleção de tilacóides e deformação do lúmen, o que afeta diretamente a concentração total de clorofila, conforme sugerido por Poór et al. (2019).

O conteúdo de prolina aumentou significativamente durante ambos os períodos de restrição hídrica. O teor de prolina foliar aumentou durante o período de estresse, com os tratamentos com silício mantendo níveis reduzidos por até 10 dias e recuperando as mudas (Figura 4A). As mudas não recuperaram os valores, permanecendo elevados e até reduzindo o teor de prolina nas folhas após a retomada da irrigação. Além disso, a menor dose de AS proporcionou o menor acúmulo de prolina na raiz até 10 dias sem irrigação ($0,63 \mu\text{g mL}^{-1}$), enquanto o Si favoreceu a maior redução de prolina durante o período de recuperação (Figura 4B).

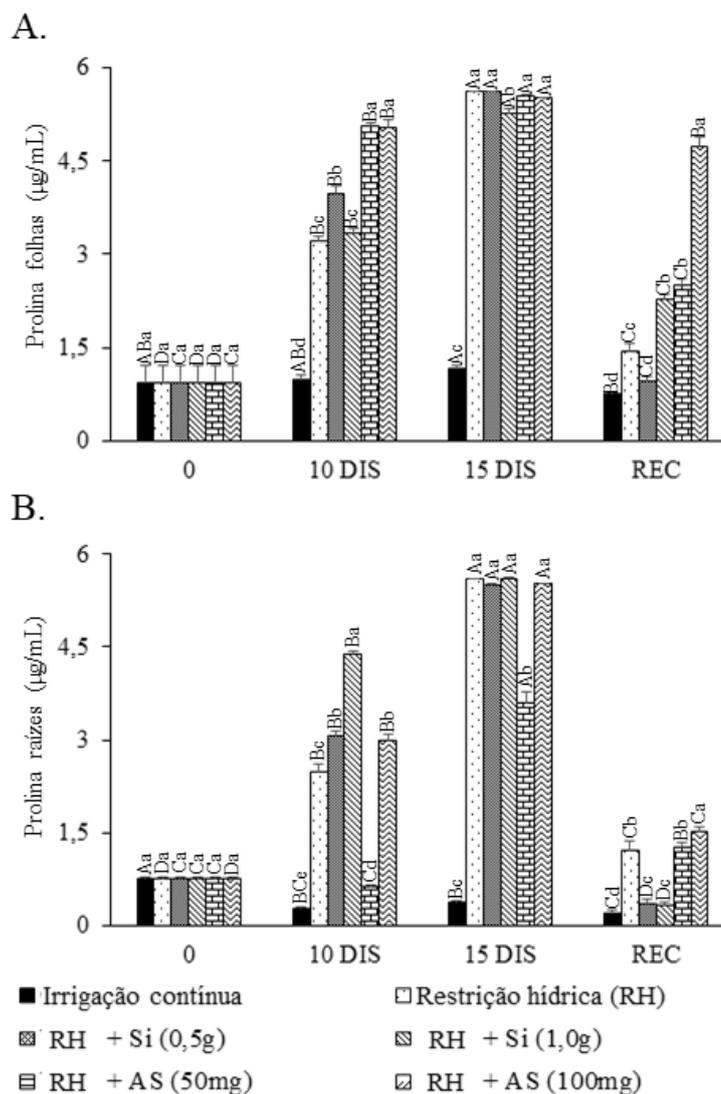


Figura 4. Conteúdo de prolina na folha (A) e em raiz (B) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Embora o teor de prolina tenha aumentado sob restrição hídrica, esse aminoácido, considerado importante agente osmoprotetor e mitigador de estresse nas plantas, não foi eficiente em mitigar os danos causados pela deficiência hídrica em mudas de *T. esculenta*. Na verdade, a prolina não conseguiu manter uma F0 baixa em REC, embora possa ter contribuído para manter o equilíbrio Fv/Fm em 10 DIS e reduzir

F0 em 15 DIS. Além disso, o aumento de prolina em ambos os períodos de avaliação não atuou positivamente na manutenção da taxa fotossintética ou CRA nas folhas.

O acúmulo e o metabolismo da prolina estão associados a mecanismos de prevenção do estresse abiótico nas plantas e estão relacionados a muitos processos celulares, como pressão osmótica, status energético, disponibilidade de nutrientes, alterações no equilíbrio redox e até mesmo defesas contra patógenos (ÁLVARES et al., 2022; FURLÁN et al., 2020).

Uma revisão de Szabados e Saviouré (2010) mostrou que o aumento da taxa de biossíntese de prolina em cloroplastos durante condições adversas pode contribuir para a estabilização do equilíbrio redox e a manutenção da homeostase, dissipando o excesso de potencial redutor quando o transporte de elétrons está saturado. Além disso, os efeitos nocivos do oxigênio singleto e dos radicais hidroxila no fotossistema II nas membranas dos tilacóides podem ser reduzidos pela prolina, pois ela pode proteger e estabilizar enzimas que eliminam ROS, como peroxidase, glutathione-S-transferase, superóxido dismutase e ativam vias alternativas de desintoxicação.

O conteúdo de polifenóis aumentou no período de déficit hídrico tanto nas folhas (FIGURA 5A) quanto nas raízes (FIGURA 6B), passando por redução durante o período de recuperação das mudas, chegando a atingir valores semelhantes aos valores iniciais.

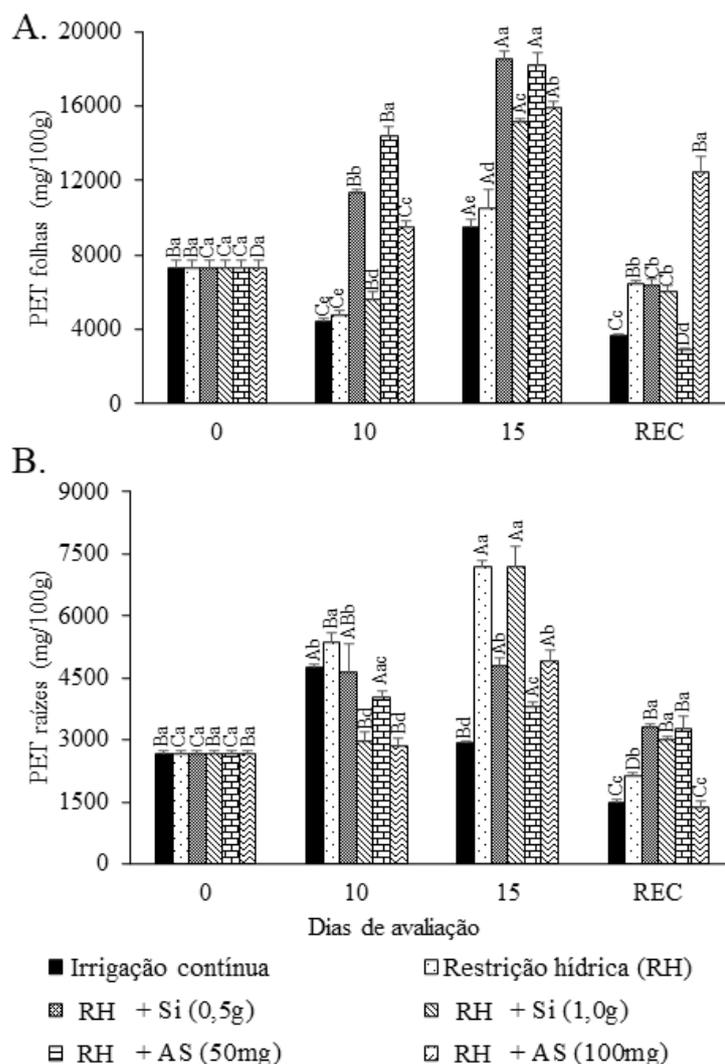


Figura 5. Polifenóis extraíveis totais (PET) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Os polifenóis são componentes com importante papel no desenvolvimento dos vegetais que são produzidos no metabolismo secundário dos vegetais e o seu acúmulo favorece maiores níveis de defesas a espécies que apresentam taxas de crescimento reduzida (LAZZAROTTO et al., 2020; ROCHA 2014). O acúmulo de polifenóis pode ser um indicativo de períodos de estresse bem como da ação do mecanismo de defesa antioxidante do vegetal.

Com relação ao conteúdo de proteína nas folhas, foi observado acúmulo conforme o avanço do período de seca (FIGURA 6A). Quanto a peroxidase (POD) a

atividade nas folhas foi intensificada principalmente nas mudas submetidas ao déficit hídrico sem aplicação de Si e AS, enquanto que a aplicação de 0,5 g de Si e 50 mg de AS promoveram os menores incrementos na atividade dessa enzima (FIGURA 6B). Também foi observado aumento na atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), onde foi encontrada intensa atividade mesmo quando no período de recuperação das mudas (FIGURA 6C).

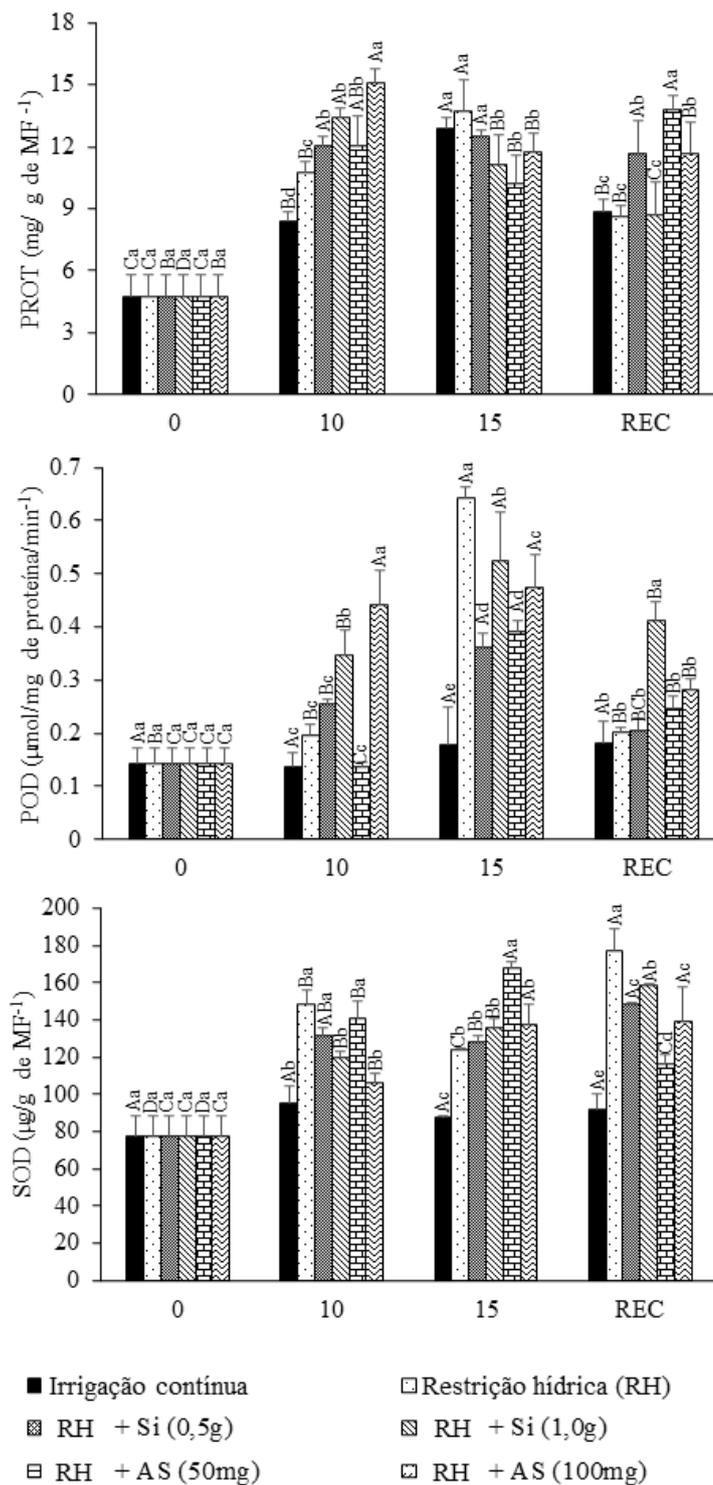


Figura 6. Conteúdo de proteína (A), atividade da peroxidase – POD (B) e atividade da superóxido dismutase – SOD (C) em folhas de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$)

Nas raízes o conteúdo de proteínas também apresentou aumento a partir do 10º dia de restrição hídrica, porém a partir do 15º dia de restrição é possível observar redução no conteúdo para alguns tratamentos, sinalizando assim que as mudas passam por uma condição estressante (FIGURA 7A). A atividade da peroxidase aumentou com o avanço do déficit hídrico e perdurou até o período de recuperação das mudas, com exceção daquelas tratadas com AS que tiveram redução da atividade no período de recuperação (FIGURA 7B). O mesmo comportamento foi observado na atividade da superóxido dismutase, com todos os tratamentos apresentando redução na atividade durante o período de recuperação, no entanto, mesmo após a reidratação no período de recuperação, as mudas que não receberam tratamento durante o período de déficit permaneceram com alta atividade de SOD (FIGURA 7C).

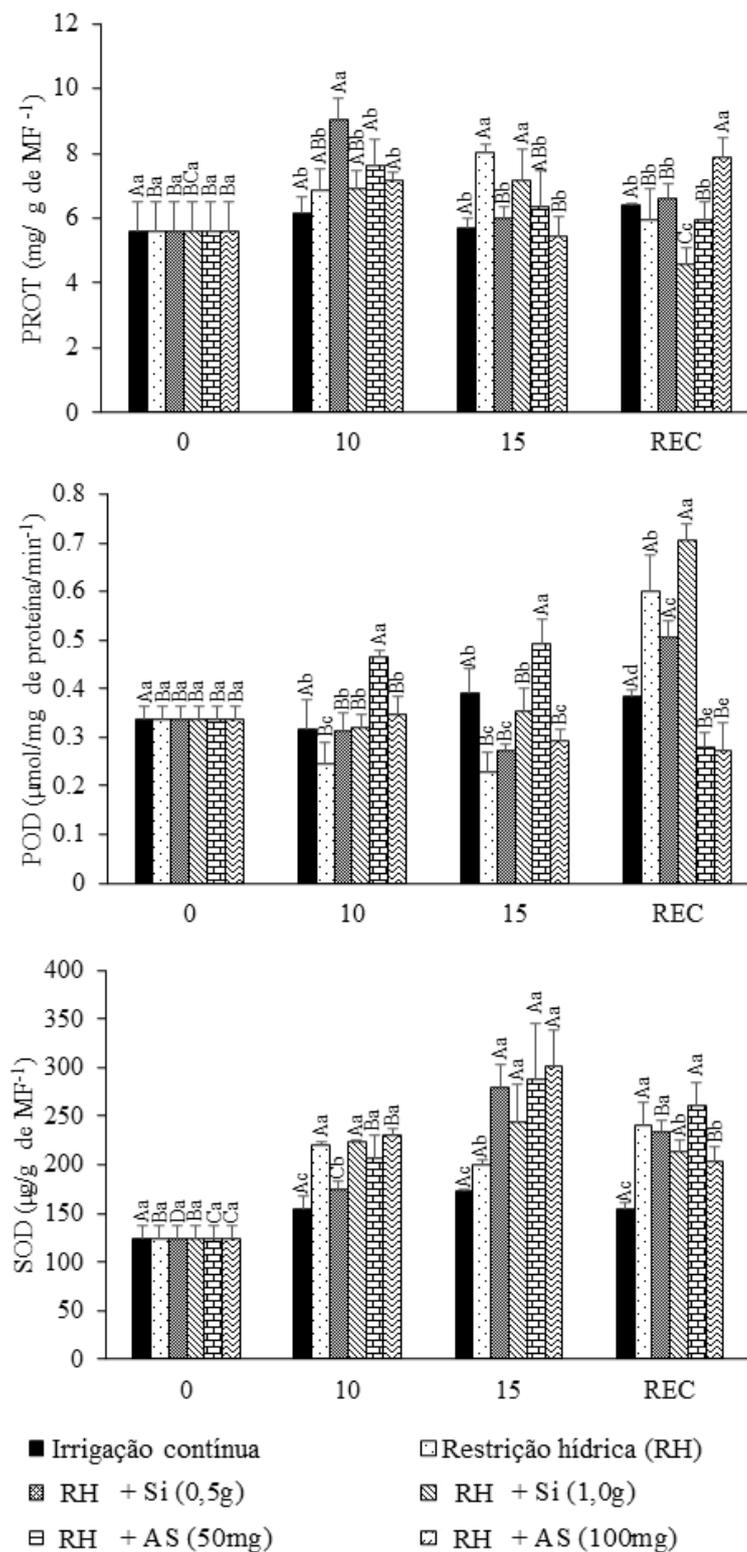


Figura 7. Conteúdo de proteína (A), atividade da peroxidase – POD (B) e atividade da superóxido dismutase – SOD (C) em raízes de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente

entre si pelo teste Tukey ($p>0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p>0,05$).

O acúmulo de proteína nas folhas não é um comportamento esperado perante condições de déficit hídrico, porém, esse comportamento pode estar atrelado ao aumento do índice de clorofila também observado aqui, já que segundo Silva et al. (2021) há relação direta entre o índice de clorofila e o conteúdo de proteínas, com estas variáveis apresentando relação proporcional entre si, ao passo que quanto maior o índice maior será o conteúdo de proteínas.

O estresse hídrico afeta o desempenho da planta por meio da superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam diversos danos às plantas como peroxidação lipídica, deterioração das membranas, degradação de proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Kaushal e Wani, 2016; Sun et al., 2020). Para o combate a esses danos a planta intensifica a atividade do seu metabolismo antioxidante enzimático, assim como observado no nosso estudo. Esse comportamento, de aumento da atividade antioxidante da POD e SOD, também foi relatado por Rosa et al. (2021) em *Copaifera langsdorffii*, Foresti et al. (2022) em *Eugenia myrcianthes* e Bartieres et al. (2023) em *Campomanesia xanthocarpa*.

De acordo com o índice de qualidade de Dickson, a aplicação de Si proporcionou maior qualidade das mudas até o 10º dia de restrição hídrica. Porém, o Si ainda proporcionou valores de IQD superiores aos tratamentos com AS, mesmo com redução aos 15 dias, sendo que as mudas tratadas com $1,0 \text{ g L}^{-1}$ apresentaram valores semelhantes às mudas que permaneceram sob irrigação (FIGURA 8).

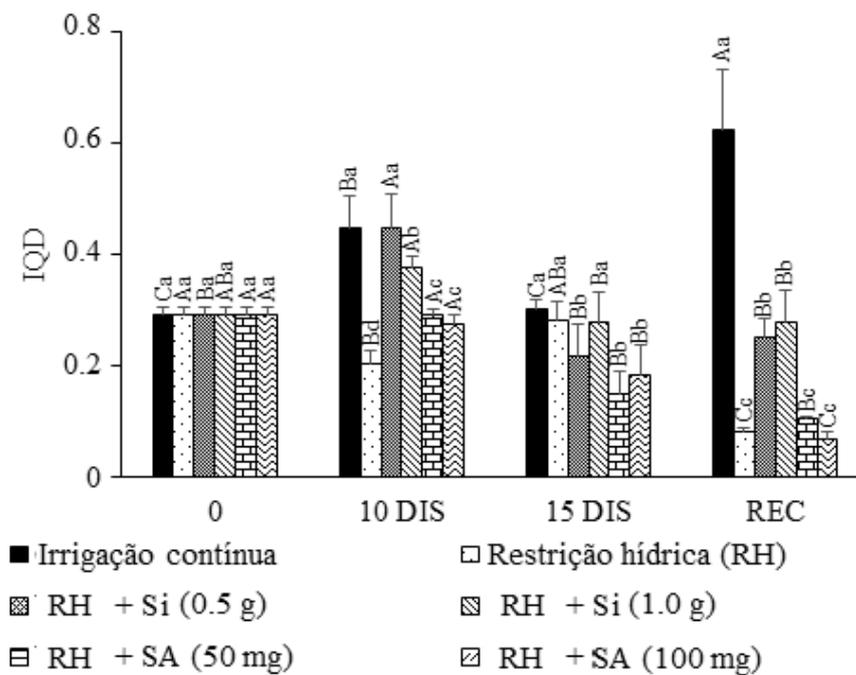


Figura 8. Índice de qualidade de Dickson de mudas de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 DIS e 15 DIS) e após (REC) período de restrição hídrica. Letras maiúsculas (tratamento em diferentes períodos de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$) e minúsculas (tratamentos num mesmo período de avaliação) iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

As mudas não recuperaram a qualidade pois apresentaram valores significativamente menores que das mudas controle. Entretanto, a qualidade foi maior nas tratadas com ambas as doses de silício. Szabados e Savouré (2010) observaram que o catabolismo da prolina nas mitocôndrias está relacionado à respiração oxidativa, que fornece energia para a retomada do crescimento após o estresse, mas esse comportamento parece não ter sido eficiente em mudas de *T. esculenta*. Embora o teor de prolina tenha diminuído significativamente após a retomada da irrigação, não verificamos ganho significativo no crescimento das mudas. Essa resposta pode ser atribuída ao número de dias que as mudas de cada tratamento levaram para recuperar a taxa fotossintética (7 dias para Si a $0,5 \text{ g L}^{-1}$ e AS a 50 mg L^{-1} e 28 dias para Si a $1,0 \text{ g L}^{-1}$). Portanto, acreditamos que se as avaliações fossem realizadas em um período mais prolongado, o crescimento das mudas poderia ser mais expressivo.

O índice de qualidade de Dickson é indicado por Reis et al. (2016) como um dos melhores indicadores de qualidade de mudas, pois fornece o padrão e os parâmetros morfológicos das mudas, como altura da parte aérea, diâmetro do colo e massa seca. Segundo Gomes et al. (2018), o valor mínimo desta variável em condições em que há maior volume de substrato, como é o caso deste estudo, ficaria em torno de 0,35. Porém, nenhum tratamento atingiu valores iguais ou superiores aos sugeridos pelo autor, exceto para mudas que receberam irrigação durante todo o período experimental. Mostra que esse parâmetro apresenta variações e, portanto, não é parâmetro suficiente para determinar qual tratamento produz sozinho as melhores mudas, sendo necessária a consideração de outras características físicas e/ou bioquímicas da espécie.

Também foi observados maiores valores dos índices de plasticidade de A , A/C_i e F_v/F_m nas mudas que receberam a aplicação de 0,5 g de Si em comparação às demais mudas (Tabela 1). Além disso, os valores do IQD foram menores quando comparados aos metabolismos bioquímico e fotoquímico.

Tabela 1. Índice de plasticidade fenotípica da fotossíntese (A), eficiência de carboxilação da rubisco (A/Ci), eficiência fotoquímica máxima de FSII (Fv/Fm) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Talisia esculenta* Radlk. após 15 dias de restrição hídrica.

<u>Tratamentos</u>	PPI (0,00 a 1,00)			
	A	A/Ci	Fv/Fm	IQD
Estresse hídrico	0,909061	0,900543	0,883402	0,069024
Estresse hídrico + Si (0,5 g)	0,931068	0,923442	0,948788	0,278752
Estresse hídrico + Si (1,0 g)	0,902589	0,851954	0,938272	0,278752
Estresse hídrico + AS (50 mg)	0,925566	0,917749	0,190672	0,499342
Estresse hídrico + AS (100 mg)	0,888673	0,663373	0,947417	0,388007

A plasticidade fenotípica é a capacidade dos genótipos de expressar diferentes fenótipos em resposta às condições ambientais. Esse índice varia entre 0,00 e 1,00, e valores próximos de 1,00 representam maior plasticidade na característica (STOTZ et al., 2021; VALLADARES et al., 2006). Nesse sentido, a aplicação dos produtos contribui para a indução da tolerância ao estresse, principalmente na dose de Si de 0,5 g, o que favorece o aumento da atividade enzimática antioxidante e a indução de genes de

resistência ao déficit hídrico, dependendo da dose e da espécie alvo. Por outro lado, embora as mudas tratadas com 100 mg de AS apresentassem elevada plasticidade nesta condição, não foi suficiente para garantir a manutenção dos processos metabólicos durante o período de déficit hídrico e contribuir para a recuperação pós-estresse.

4. CONCLUSÃO

Nossos resultados mostram que embora *T. esculenta* seja encontrada em locais de clima árido, suas mudas foram muito sensíveis ao déficit hídrico, com redução significativa na taxa fotossintética, condutância estomática, eficiência de carboxilação da Rubisco, teor relativo de água nas folhas e eficiência quântica potencial do fotossistema II e aumento do conteúdo de prolina. As mudas recuperaram a taxa fotossintética em apenas sete dias após retomarem a irrigação quando tratadas com Si na dose de 0,5 g L⁻¹ e AS na dose de 50 mg L⁻¹.

As mudas apresentaram aumento significativo nas demais características avaliadas independente da aplicação desses mitigadores, embora demoraram para recuperar a taxa fotossintética ou não recuperaram os valores das demais características avaliadas na maioria dos tratamentos.

A dose de ácido salicílico de 100 mg L⁻¹ não é recomendada porque não permitiu a recuperação das características das mudas.

Nossos resultados também confirmam a hipótese de que Si e AS nas menores doses avaliadas atenuam os efeitos do estresse hídrico na taxa fotossintética. Contudo, a hipótese de que o aumento da prolina seja um recurso decisivo nesta mitigação não pôde ser comprovada pelos nossos dados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, M. E.; SAVOURÉ, A.; SZABADOS, L. Proline metabolism as regulatory hub. **Trends in Plant Science**, v. 27, n. 1, p. 39-55, 2022.
- BARTIERES, E. M. M.; DRESCH, D. M.; REIS, L. C.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, 2023.
- BARTIERES, E. M.; SCALON, S. P.; DRESCH, D. M.; CARDOSO, E. A.; JESUS, M. V.; PEREIRA, Z. V. Shading as a means of mitigating water deficit in seedlings of *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 1, p. 234-244, 2020.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. A.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BOKHARI, U. G.; TRENT, J. D. Proline concentrations in water stressed grasses. **Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives**, v. 38, n. 1, p. 37-38, 1985.
- BRITO, C.; DINIS, L. T.; MEIJÓN, M.; FERREIRA, H.; PINTO, G.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Salicylic acid modulates olive tree physiological and growth responses to drought and rewatering events in a dose dependent manner. **Journal of plant physiology**, v. 230, p. 21-32, 2018.
- 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. 28006-28014, 2020.
- COLTON-GAGNON, K.; ALI-BENALI, M. A.; MAYER, B. F.; DIONNE, R.; BERTRAND, A.; CARMO, S.; CHARRON, J. B. Comparative analysis of the cold acclimation and freezing tolerance capacities of seven diploid *Brachypodium distachyon* accessions. **Annals of botany**, v. 113, n. 4, p. 681-693, 2014.
- CORRÊA, M. J. P.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1136-1145, 2010.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The forestry chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.
- FATIMA, R. T.; JESUS, E. G.; GUERRERO, A. C.; ROCHA, J. L. A.; BRITO, M. E. B. Adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e trocas gasosas do alface. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 170-178, 2019.
- FERMIANO, A. P.; KASEKER, J. F.; NOHATTO, M. A.; OLIVEIRA, J. D.; ROSA, E. D. F. F.; NUNES, D. H. Aplicação de ácido salicílico em plantas de arroz submetidas a

competição com arroz-vermelho. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 3, p. 198-203, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant biology**, v. 6, n. 03, p. 269-279, 2004.

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.

FURLAN, A. L.; BIANUCCI, E.; GIORDANO, W.; CASTRO, S.; BECKER, D. F. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 566-578, 2020.

GASTL FILHO, J.; BONETTI, L. L. S. ARAUJO, R. S.; SANTI, S. L.; NASCIMENTO, V. A.; VILARINHO, M. S. Ácido salicílico e potencial germinativo na germinação de sementes de pepino. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. 7-12, 2017.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019.

GUIRRA, B. S.; SILVA, J. A.; LEAL, C. C. P.; TORRES, S. B.; SILVA, J. E. S. B.; GUIRRA, K. S.; PEREIRA, K. T. O. Growth and metabolism of *Pityrocarpa moniliformis* Benth. seedlings under water deficit. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 923-938, 2022.

JACINTO JÚNIOR, S. G.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B.; SILVA, B. D. N.; SOUSA, G. G. D.; OLIVEIRA, L. L. B.; Mesquita, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 413-422, 2019.

JUNGLOS, F. S.; JUNGLOS, M. S.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, N. S.; KODAMA, F. M.; SCALON, S. P. Q. Recovery of the photosynthetic capacity of *Campomanesia adamantium* (Myrtaceae) after water deficit. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, p. 541-546, 2016.

KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2016.

KORDI, S.; SAIDI, M.; GHANBARI, F. Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. **International Journal of Agricultural and Food Research**, v. 2, n. 2, p. 18-26, 2013.

LAZZAROTTO, S. R. S.; SCHERRUTH, M. S. F.; CALIXTO, P. S.; CARRARO, M. M.; SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, M. Método de Folin Ciocalteau adaptado para quantificar polifenóis em extratos de erva-mate. **Revista Movimenta**, v. 13, n. 3, 2020.
LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, v.1, 7.ed., p. 384, 2016.

MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A.; LIMA, T. V. D. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 345-354, 2016.

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

QUEIROZ, T. B.; ROCHA, S. M. G.; FONSECA, F. S. A.; MARTINS, E. R.; ALVARENGA, I. C. A. Efeitos do déficit hídrico no cultivo de mudas de Eucalipto. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 659-674, 2017.

REIS, S. M.; MARIMON-JÚNIOR, B. H.; MORANDI, P. S.; SANTOS, C. O.; OLIVEIRA, B. D.; MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 11-20, 2016.

ROCHA, J. N.; JOHANSSON, L. A. P. S.; MIRANDA, L. V.; LOPES, G. C.; DINIZ, A.; MELLO, J. C. P.; SOUZA, J. R. P. Desenvolvimento de *Maytenus ilicifolia* e de seus polifenóis totais sob condição de sombreamento e poda. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, p. 663-669, 2014.

RODRIGUES, S.; BRITO, E. S.; SILVA, E. O. Pitomba - *Talisia esculenta*. In: **Frutas Exóticas**. Academic Press, p. 351-354, 2018.

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.; SCALON, S. P. Q.; FORESTI, A. C.; REIS, L. C.; DRESCH, D. M. The role of silicon in the mitigation of water stress in *Eugenia myrcianthes* Nied. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022.

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**, v. 82, 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, 2020.

STOTZ, G. C.; SALGADO-LUARTE, C.; ESCOBEDO, V. M.; VALLADARES, F.; GIANOLI, E. Global trends in phenotypic plasticity of plants. **Ecology Letters**, v. 24, n. 10, p. 2267-2281, 2021.

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

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in plant science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of ecology**, v. 94, n. 6, p. 1103-1116, 2006.

ZHANG, Y.; YU, S. H. I.; GONG, H. J.; ZHAO, H. L.; LI, H. L.; HU, Y. H.; WANG, Y. C. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 10, p. 2151-2159, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação a pitombeira, esta foi pouco estudada quanto as suas exigências, sendo este um entrave na sua valorização como espécie nativa e florestal. Neste sentido, se faz necessário gerar informação, a fim de ampliar, diversificar e maximizar o conhecimento sobre a espécie, além de agregar valor e proporcionar bem estar e desenvolvimento para os indivíduos e regiões envolvidas.

Os nossos resultados confirmam a hipótese de que a aplicação de silício e do ácido salicílico podem mitigar o efeito estressante do déficit hídrico em mudas de *Talisia esculenta*, no entanto, são recomendadas doses baixas de ambos componentes, sendo Si na dose de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ e AS na dose de 50 mg L^{-1} , havendo ainda a necessidade de estudos que avaliem outras dosagens e os mecanismos de ação diante de outros tipos de estresse.

A condição de 70% apresentou o maior potencial para o desenvolvimento inicial e estabelecimento da espécie, favorecendo o metabolismo fotossintético das mudas. Diante do que foi observado no nosso estudo, a espécie possui aptidão para compor programas de recuperação de áreas degradadas, no entanto, inicialmente a condição de sombreamento é indispensável, sendo assim o seu plantio indicado para áreas que já possuam outras espécies plantadas de forma que estas venham proporcionar condições de luminosidade adequadas para o desenvolvimento da pitombeira.

ANEXO

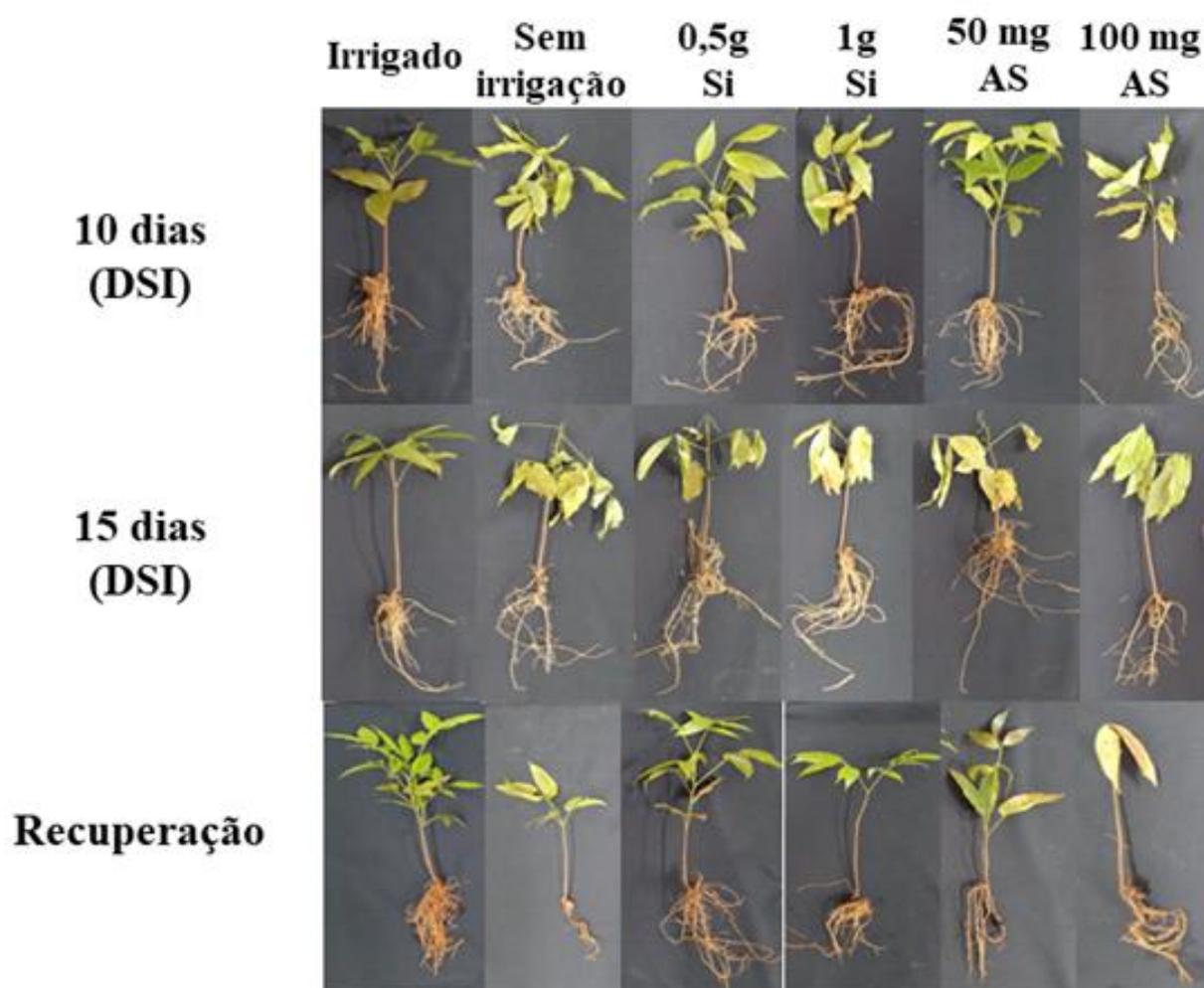


Figura 1. Mudanças de *Talisia esculenta* Radlk durante (10 e 15 Dias sem irrigação) e após (REC) período de restrição hídrica.