

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ESTRESSE LUMINOSO E SILÍCIO EM *Alibertia edulis*:
PROCESSOS FOTOQUÍMICOS E CRESCIMENTO DE
MUDAS**

ESTEVÃO HONORATO LEMES DE PAULA
LUCAS RODRIGUES PAULINO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

**ESTRESSE LUMINOSO E SILÍCIO EM *Alibertia edulis*:
PROCESSOS FOTOQUÍMICOS E CRESCIMENTO DE MUDAS**

ESTEVÃO HONORATO LEMES DE PAULA
LUCAS RODRIGUES PAULINO

Orientador: Prof. Dr. CLEBERTON CORREIA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Curso de
Bacharelado em Agronomia, para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2020

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Rosalina Lemes Bueno e Oliveira Honorato de Paula, que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, que apesar de todas às dificuldades me fortaleceu e foi muito importante.

À minha namorada Aline Louise Souza Nunes, por me acompanhar nesse momento, por cada palavra de conforto e compreender a minha ausência. Você é um dos principais dessa batalha.

À minha avó Agripina Silvestre Bueno que me ensinou a ser grato por tudo, nos momentos bons e ruins.

Ao meu amigo Lucas Paulino obrigado pelo apoio, confiança e pela amizade.

Ao meu professor, amigo e orientador Cleberton Correia Santos, obrigado pela sua dedicação, paciência em ensinar, confiança e apoio. Você é uma pessoa especial um exemplo a ser seguido.

Ao meu irmão Dario Honorato Lemes de Paula, sou extremamente grato a você, por tudo que fizeste em minha vida, pelos conselhos, participando da formação do meu caráter.

Aos meus amigos, Alyson canhete, Erick Mudolon, Eduardo Schanoski, Felipe Ferreira, Fernando Figueiredo, Isabelle Maethe Souza Nunes, Leidiomar Rodrigues, Lucas Ferraz, Marcos Vinícios Seidenfus, Matheus Roman, Neder Lima e aos demais, que de forma direta ou indireta contribuíram na minha vida acadêmica. Obrigado por tudo.

À Eunice Lemes Bueno, Geraldo Marcial de Paula e Paulo Henrique que sempre me apoiou e nunca perderam a fé nos meus sonhos (*In memoriam*).

Estevão Honorato Lemes de Paula

AGRADECIMENTOS

Agradeço, à Deus e Nossa Senhora Aparecida por terem me iluminado e abençoado tanto ao longo da minha trajetória, sempre sendo presentes em minha vida.

À todos os professores, aos quais tive a oportunidade de caminhar junto, e de um modo muito especial:

Ao nosso orientador Cleberton Correia Santos, que não mediu esforços para nos ajudar, sempre disposto a transmitir seu conhecimento com uma excelente didática, que sempre nos incentivou e demonstrou muita paciência.

Aos meus colegas de sala, especialmente, ao meu amigo Estevão Honorato, pelo apoio e ajuda mútua, pelo coleguismo e companheirismo.

Ao meu irmão Tiago Rodrigues Paulino, por todo amor e cuidado transmitido a mim, por todos os conselhos e exemplos que me deu, participando na formação do meu caráter.

E por fim, aos meus pais, sempre batalhadores, que nunca mediram esforços para me proporcionar oportunidades, que sempre, em toda a vida, me aconselharam e deram exemplos de pessoas corretas, humildes e honestas. Que por toda minha vida me senti amado e seguro, muito obrigado.

Lucas Rodrigues Paulino

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
4 CONCLUSÕES	20
5 REFERÊNCIAS	21

ESTRESSE LUMINOSO E SILÍCIO EM *Alibertia edulis*: PROCESSOS FOTOQUÍMICOS E CRESCIMENTO DE MUDAS

RESUMO

Alibertia edulis (Rich) A. Rich (marmelo-do-cerrado, Rubiaceae) é uma espécie arbórea e frutífera, encontrada no Cerrado e apresenta diversos usos. No entanto, o estresse abiótico por baixa ou alta disponibilidade luminosa pode acarretar em danos ao aparato fotoquímico e crescimento das mudas dessa espécie. O silício, na forma de silicatos, tem contribuído na tolerância das plantas as condições adversas. Para a *A. edulis* não há estudos associando esse elemento ao estresse luminoso. Objetivou-se avaliar o efeito do silício nos processos fotoquímicos e crescimento de mudas de *A. edulis* sob diferentes disponibilidades luminosas. O experimento foi realizado em vasos plásticos, testando quatro doses de silício (silicato de potássio – K_2SiO_3) via pulverização foliar: 0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 mL L⁻¹, dispostos sob três disponibilidades luminosas baseando-se nos níveis de sombreamento de 0% (pleno sol), 30% e 70%. As avaliações foram realizadas aos 60 dias após o transplante. O cultivo à pleno sol e 70% foram estressantes para essa espécie. As maiores características de crescimento ocorreram em mudas cultivadas sob 30% de sombra. A aplicação crescente de K_2SiO_3 ocasionou danos ao centro de reação por meio dos menores rendimentos fotoquímicos sob pleno sol, e aumentou a eficiência fotoquímica no fotossistema II quando em 30% de sombra. As mudas sob 70% de sombra são pouco responsivas ao K_2SiO_3 e apresentam menor crescimento e produção de biomassa. O uso de K_2SiO_3 contribuiu na regulação hídrica foliar. A aplicação de 10,0 mL L⁻¹ promoveu incremento dos índices de clorofila, área foliar, produção de biomassa, índices morfofisiológicos e de qualidade das mudas cultivadas sob 0% e 30% de sombra. Portanto, o uso do K_2SiO_3 na dose de 10,0 mL L⁻¹ mitigou os efeitos negativos do estresse luminoso do pleno sol e contribui na obtenção de mudas de *A. edulis* de elevada qualidade em ambiente com alta e moderada disponibilidade luminosa.

Palavras-chave: atividades fotoquímicas, fotossistema II, K_2SiO_3 , disponibilidade luminosa, qualidade de mudas.

LUMINOUS STRESS AND SILICON IN *Alibertia edulis*: PHOTOCHEMICAL PROCESSES AND GROWTH OF SEEDLING

ABSTRACT

Alibertia edulis (Rich) A. Rich (marmelo-do-cerrado, Rubiaceae) is a tree and fruit species, found in the Cerrado and has several uses. However, abiotic stress due to low or high luminous availability can lead to damage to the photochemical device and seedling growth of this species. Silicon, in the form of silicates, has contributed to plant tolerance the adverse conditions. For *A. edulis* there are no studies associating this element with luminous stress. The objective of this study was to evaluate the effect of silicon on photochemical processes and *A. edulis* seedling growth of under diferente light availability. The experimente was carried out in plastic pots, testing four doses of silicon (potassium silicate - K_2SiO_3) leaf path spraying: 0.0; 2.5; 5.0; and 10.0 mL L⁻¹, arranged under three luminous availability based on 0% shading levels (full sun), 30% and 70%. The evaluations were performed at 60 days after transplanting. The cultivation in full sun and 70% shade were stressful for thid species. The greatest growth characteristics occurred in seedlings grown uner 30% shade. The increasing application of K_2SiO_3 caused damage to the reaction center through the lowest photochemical yields under full sun, and increased photochemical efficiency on photosystem II when in 30% shade. Seedlings under 70% shade are little responsive to K_2SiO_3 and have lower growth and biomass production. The use of K_2SiO_3 contributed to leaf water regulation. The application of 10.0 mL.L⁻¹ promoted na increase in chlorophyll indexes, leaf area, biomass production, morphophysiological índices and quality of seedlings grown under 0% and 30% shade. Therefore, the use of K_2SiO_3 at a dose of 10.0 mL.L⁻¹ mitigated the negative effects of luminous stress from the full sun and contributed to obtaining high quality *A. edulis* seedlings in environment with high and moderate light availability.

Keywords: photochemical activities, photosystem II, K_2SiO_3 , light availability, seedling quality.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as espécies arbóreas frutíferas e nativas que habitam o Cerrado, encontra-se a *Alibertia edulis* (Rich) A. Rich., conhecida popularmente como marmelo do cerrado, marmelada-bola, marmelão, marmelada de cachorro, é pertencente à família Rubiaceae (LORENZI et al., 2006). Na fase adulta pode alcançar aproximadamente 8 metros de altura (ZAPPI, 2013). *A. edulis* é dioica com grupo flores masculinas sésseis, folhas opostas, fixas no ápice dos ramos, e as flores femininas são sozinhas ou em pares (SILVA JUNIOR e PEREIRA, 2009). Seus frutos podem ser consumidos *in natura* ou processados em doces, geleia e sucos (OLIVEIRA et al., 2016). A espécie também possui propriedades medicinais como antiinflamatória (AQUINO et al., 2017), antibacteriana e leishmanicida (MARQUES et al., 2013).

A espécie ocorre em mata de transição, mata de várzea, Cerrado, Cerradão, Campo Cerrado, matas de brejo e matas de galeria (CAMPOS FILHO, 2009). No entanto, as informações ecofisiológicas e aclimatização da *A. edulis* são incipientes, especialmente na fase de crescimento inicial. A disponibilidade luminosa é um fator ambiental determinante na capacidade de sobrevivência das plantas em atividades silviculturais (CAMPOS e UCHIDA, 2002), uma vez que, as plantas podem ser inseridas em áreas de clareiras, sub-bosques ou matas densas nas diferentes fitofisionomias no Cerrado.

Em geral, as plantas são categorizadas de ambiente pleno sol e outras de sombreamento moderado ou intenso. Assim, a alta ou baixa intensidade de luz pode promover alterações na produção de fotoassimilados, pois afeta a estrutura dos tilacoides (PETROVA et al., 2020), condutância do mesófilo e eficiência da carboxilação da RUBISCO (MENDES et al., 2017), acarretando em diferença na amplitude da A_{max} . Por outro lado, algumas espécies apresentam a capacidade de aclimatização a essas condições, uma vez que ajustam seu metabolismo por meio de receptores que controlam a expressão gênica da divisão celular e formação de tecidos meristemáticos (ANPO et al., 2018).

Portanto, o uso de agentes promotores da mitigação dos efeitos negativos do estresse ambiental em espécies de interesse arbóreo torna-se relevante. Na literatura tem-se verificado que o silício (Si), um elemento benéfico, na forma de silicatos, contribui positivamente na tolerância das plantas às condições adversas tanto por estresses

abióticos quanto bióticos (HASHEMI et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2019; ARAS et al., 2020).

O Si é absorvido via fluxo de massa na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Quando o ácido monossilícico é translocado pelo xilema (EPSTEIN e BLOOM, 2006; QUEIROZ et al., 2018), deposita-se na forma de sílica amorfa hidratada nas paredes das células epidérmicas, promovendo aumento da espessura da epiderme adaxial e da funcionalidade de estômatos e tricomas (EPSTEIN, 1999; COSTA et al., 2018).

Os benefícios na parte aérea das plantas estão associados a mitigação na taxa de transpiração pelo Si nas folhas, em função de formar uma dupla camada sobre o poro estomático, contribuindo em maior eficiência do uso da água (MA e YAMAJI, 2006; CHUNG et al., 2020), dos processos fotoquímicos da fotossíntese e do crescimento da planta. Além disso, o Si influencia positivamente na arquitetura, tornando as folhas mais eretas, melhorando a interceptação de luz e estabilizando a regulação hormonal e de enzimas antioxidantes do metabolismo (HOSSAIN et al., 2006; MENDONÇA et al., 2013).

Considerando o fato de que a *A. edulis* é caracterizada secundária inicial (LELES et al., 2011), hipotetizamos que tanto a baixa quanto alta disponibilidade luminosa pode reduzir o metabolismo fotoquímico e qualidade das mudas, mas o Si atenua os efeitos deletérios, aumentando a capacidade de aclimatização às condições ambientais adversas. Assim, objetivou-se averiguar os efeitos do silício na mitigação do estresse luminoso sobre as respostas morfofisiológicas de mudas de *Alibertia edulis* Rich.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta de sementes, obtenção de plântulas e condições gerais

O experimento foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrárias (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Os frutos maduros de *A. edulis* foram coletados (Registro de Acesso nº A9CDAAE – CGEN-MMA, de 15/10/2018) de matrizes localizadas em área renascente de Cerrado (Fazenda Santa Madalena), cujo uma exsicata está depositada no herbário DDMS, sob nº 4649. Então, foi feito o beneficiamento manual e a semeadura em bandejas de poliestireno expandido de 128 células preenchidas com Tropstrato® (Figura 1).

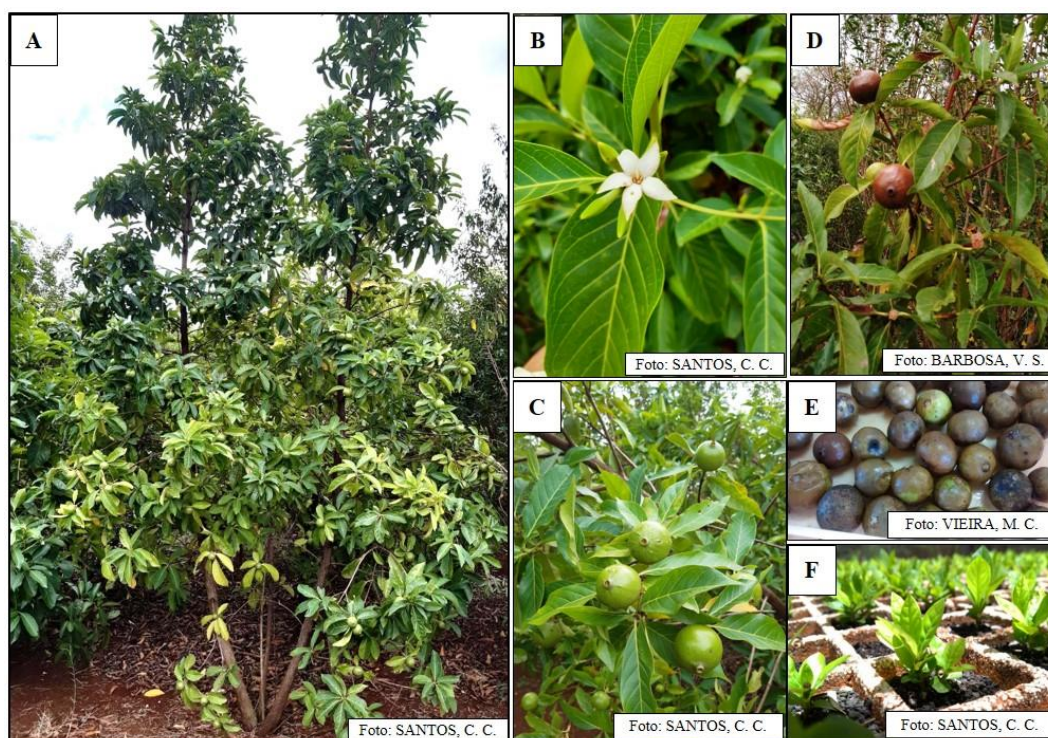


FIGURA 1. Planta adulta (A), flor (B), frutos verdes (C), maduros (D-E) e plântulas de *A. edulis*.

Quando as plântulas atingiram altura média de 6,0 cm, realizou-se o transplântio para vasos plásticos com capacidade de 5 kg preenchidos com Latossolo

Vermelho Distroférico de textura argilosa (SANTOS et al., 2018) com os seguintes atributos químicos: pH em CaCl_2 = 6,2; P= 1,7 mg dm^{-3} ; Ca= 6,7 $\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$, K= 3,0 $\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$; Mg= 1,8 $\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$; Al= 0,12 $\text{mmol}^c \text{dm}^{-3}$; H+Al= 29,9 $\text{mmol}^c \text{dm}^{-3}$; SB= 12,9 $\text{cmol}^c \text{dm}^{-3}$; CTC= 42,4 $\text{mmol}^c \text{dm}^{-3}$ e V%= 60,5, permanecendo por 30 dias após o transplântio (DAT) com irrigações diárias e sombreamento de 50%, caracterizando o período de aclimatização.

2.2. Fatores estudados e desenho experimental

As mudas receberam aplicação via pulverização foliar de quatro doses de silício utilizando como fonte o silicato de potássio – K_2SiO_3 (12% Si, 15% K_2O e densidade: 1,40 g/L) via foliar: 0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 mL L^{-1} , correspondendo a 0,42; 0,84 e 1,68 g Si L^{-1} e a 0,525; 1,05; 2,10 g K_2O L^{-1} , com adição de 2 mL (0,17 L ha^{-1}) de adjuvante LI 700 (base de lecitina de soja) visando favorecer a aderência do produto nas folhas, sendo que os vasos foram mantidos em ambiente protegido de precipitações por 24 horas. Posteriormente, os vasos foram dispostos sob três disponibilidades luminosas baseando-se nos níveis de sombreamento de 0% (pleno sol), 30% e 70%. O sombreamento foi simulado utilizando tela de nylon de coloração preta com os níveis de retenção luminosa correspondentes. As doses de silicato foram aplicadas duas vezes, sendo a primeira no tempo zero, e a segunda aos 45 dias.

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram arrançados no esquema de subparcelas, sendo as parcelas compostas por níveis de sombreamentos, e as subparcelas categorizadas pelas doses de silicato de potássio. A unidade experimental foi constituída por três vasos plásticos, com duas plantas cada. Durante o período experimental, os tratos culturais foram constituídos de irrigações diárias e arranquio de plantas espontâneas, quando necessário.

2.3. Características morfofisiológicas avaliadas

Aos 60 dias após o transplântio as mudas foram avaliadas quanto às seguintes características:

(a) crescimento: foi medida a altura de plantas – AP (cm) (distância do coleto até inflexão da folha mais alta), utilizando régua graduada em cm; diâmetro do coleto – DC (mm) ($\pm 1,0$ cm acima do nível do substrato) com paquímetro digital, e calculada a relação altura/diâmetro (RAD) e contabilizado o número de folhas expandidas (NF).

(b) pigmentos clorofilianos: os índices de clorofila *a*, *b* e total (*a* + *b*) utilizando clorofilômetro portátil ClorofiLOG® (Falker CFL 1030), no período matutino.

(c) fluorescência da clorofila-*a*: as folhas totalmente expandidas foram submetidas à condição de escuro por 30 minutos, com cliques foliares. Utilizando fluorômetro portátil (OS-30p; Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, NY, USA), sob flash de $1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foram determinadas as fluorescências inicial (F_0) e máxima (F_m) da clorofila-*a*, e a eficiência quântica fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m). A partir desses dados foi calculada a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$), eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e o rendimento máximo não fotoquímico (F_0/F_m), sendo os resultados expressos em elétrons quantum⁻¹.

(d) balanço hídrico foliar: quatro discos foliares de cada muda em função dos diferentes tratamentos foram obtidos por meio de vazador com área conhecida, sendo pesados ($0,0001$ g) e obtido a massa fresca (MF). Logo após, esses discos foram acondicionados em recipiente com água destilada por 24 horas, deixando-os com massa saturada (M_{sat}). Os discos foram acondicionados em estufa sob $60 \pm 5^\circ\text{C}$, até massa seca constante (MS). A partir desses dados foi calculado o conteúdo relativo de água – CRA (TURNER et al., 1981) [1], déficit de saturação hídrica – ΔW_{Sat} (LARCHER, 2004) [2], de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{CRA} = 100 \cdot \frac{(MF - MS)}{(M_{\text{sat}} - MS)} \quad (1)$$

$$\Delta W_{\text{Sat}} = 100 \cdot \frac{(M_{\text{sat}} - MF)}{(M_{\text{sat}} - MS)} \quad (2)$$

(e) indicadores morfométricos. As mudas foram colhidas, lavando as raízes para retirada do excesso de substrato, separando-as em folhas, caules e raízes. Então determinou-se a

área foliar (AF, cm²) com integrador de área (LI-COR, 3100 C – Área Meter, Nebraska – USA), e medido o comprimento da maior raiz – CR (cm).

(f) produção de biomassa e índices fisiológicos: as folhas e caules (parte aérea) e raízes foram acondicionado em sacos de papel Kraft® e submetidos a secagem em estufa sob 60±5° C, até massa seca constante, pesando-os em balança de precisão milesimal (0,0001 g). Utilizando os dados de área foliar e massa seca foram calculadas a razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) (HUNT, 1990).

(g) índice de qualidade: o padrão de qualidade das mudas foi obtido a partir dos dados de relação altura/diâmetro (RAD), relação parte aérea/raiz (RPAR) e massa seca total (MST) por meio da proposta de Dickson et al. (1960) [3] utilizando a equação 3:

$$IQD = \frac{MST}{(RAD+RPAR)} \quad (3)$$

2.4. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando detectou-se significância (teste F, $p < 0.05$) as médias para as disponibilidades luminosas foram comparadas pelo teste de Tukey, e as doses de silício e a interação entre os fatores à análise de regressão ($p < 0.05$). As análises foram feitas utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os caracteres de crescimento das mudas de *A. edulis* foi influenciado apenas pelos níveis de sombreamento (Figura 2). Para altura e número de folhas, os maiores valores (11,80 cm e 13 folhas, respectivamente) ocorreram sob 30% de sombra. Os menores valores dessas características sob pleno sol são mecanismos para reduzir a perda de água por transpiração por menor exposição do dossel a altas temperaturas em função da alta irradiância. Ainda, nessa condição ocorre menor preservação da auxina, limitando sua produção e transporte para a região meristemática, acarretando em entrenós curtos (FIORUCCI e FANKHAUSER, 2017).

Por outro lado, em sombreamento excessivo, aqui representado por 70% ocorre menor síntese de clorofila (Figura 3), refletindo em menor produção de fotoassimilados e consequentemente expansão dos caracteres vegetativos das mudas de *A. edulis*. Porém, a preferência e respostas das espécies arbóreas quanto aos gradientes luminosos variam de acordo com sua classificação sucessional ecológica. Por exemplo, mudas de *Parkia gigantocarpa* Ducke (LOPES et al., 2015) e *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg (SANTOS et al., 2020) desenvolvem-se mais em ambientes de pleno sol por serem heliófilas. Em contrapartida, mudas de *Azadirachta indica* A. Juss (AZEVEDO et al., 2015) e *Euterpe oleracea* Mart. (ARAÚJO et al., 2019) responderam positivamente a ambientes sombreados.

O diâmetro do coleto (DC) foi menor quando as mudas foram cultivadas sob 70% de sombra (Figura 2b), uma vez que, essa condição é favorável à manutenção da umidade do solo, reduzindo os estímulos para aumento do DC para transporte de água e nutrientes, fato contrário ao observado nas mudas de 0% e 30%, pois nessas condições a tendência de maior evaporação de água do substrato e transpiração foliar, havendo necessidade de maior capacidade de translocação de solutos. Entretanto, o incremento do DC deve ser acompanhado em altura, pois caso contrário as mudas apresentam aspecto de estiolamento, como observado na RAD das mudas sob 70% de sombra (Figura 2d).

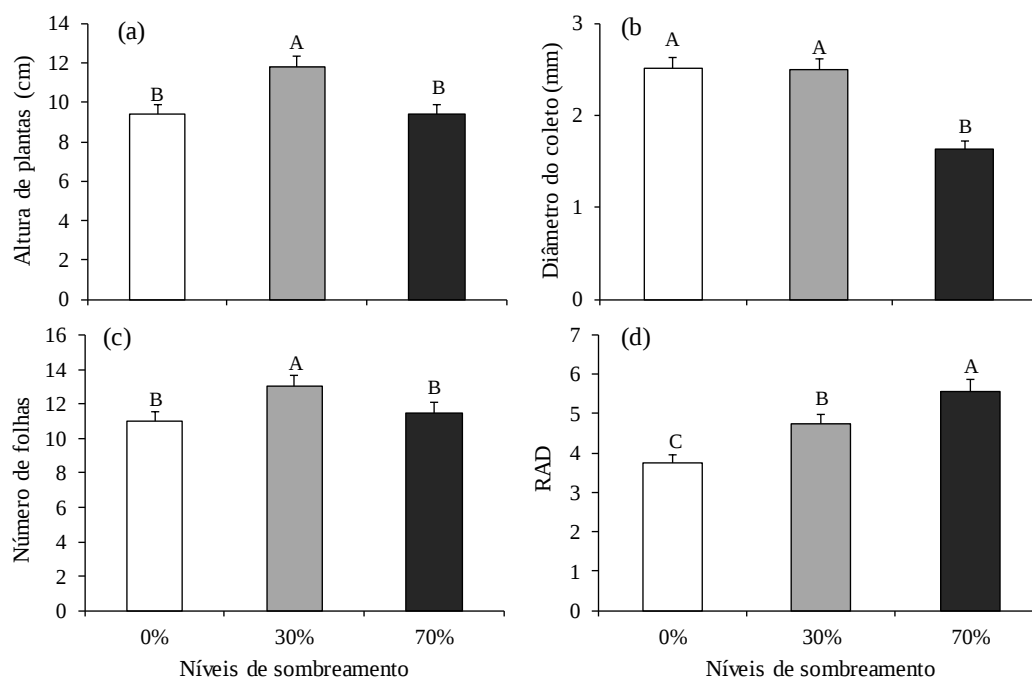


FIGURA 2. Altura (a), diâmetro do coleto (b), número de folhas (c) e relação altura/diâmetro – RAD (d) em mudas de *A. edulis* produzidas sob diferentes níveis de sombreamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

Em geral, observamos a mesma tendência de resposta para os índices de clorofilas, isto é, efeito isolado dos fatores em estudo (Figura 3). Para os níveis de sombreamento, os maiores índices de clorofila *a*, *b* e total foram de 29,7; 9,36 e 38,07 Falker nas mudas sob 30% de sombra (Figuras 4a-c-e, respectivamente), enquanto que sob 0% e 70%, os valores reduziram. Além disso, constatamos que os índices de clorofila aumentam com as aplicações crescentes de K_2SiO_3 , sendo os maiores índices de clorofila *a* (33,11), *b* (9,70) e total (42,91) ao aplicar 10,0 mL de K_2SiO_3 , (Figuras 3b-d-f).

Sob condições de estresse, tal como o luminoso, ocorre a produção de espécies reativas de oxigênio – EROs, tais como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que ocasionam danos aos diversos processos metabólicos, dentre eles na estrutura do cloroplasto, promovendo foto-oxidação da clorofila pelo excesso de luz (KSAS et al., 2015; SALEEM et al., 2020).

Já sob 70% de sombra, a radiação fotossintética ativa (PAR) incidente é menor, reduzindo esses índices nessa condição de cultivo. Similarmente, mudas de *Aniba parviflora* (Meisn.) Mez. (FELSEMBURGH et al., 2016) e *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.V.G. Azevedo & H.C. Lima (BARBEIRO et al., 2018), também apresentaram menor índice de clorofila sob sombreamento intenso (70–80%).

As crescentes doses de K_2SiO_3 indicam que o Si e/ou o K podem ter

contribuindo no aumento dos índices de clorofila, já que, como discutido na literatura, o silício quando depositado sobre as folhas contribui para que essas fiquem mais eretas, promovendo melhor aproveitamento da radiação incidente (MENDONÇA et al., 2013), além de evitar a foto-oxidação da clorofila em condição de excesso de luz (CAVALCANTI-FILHO et al., 2018).

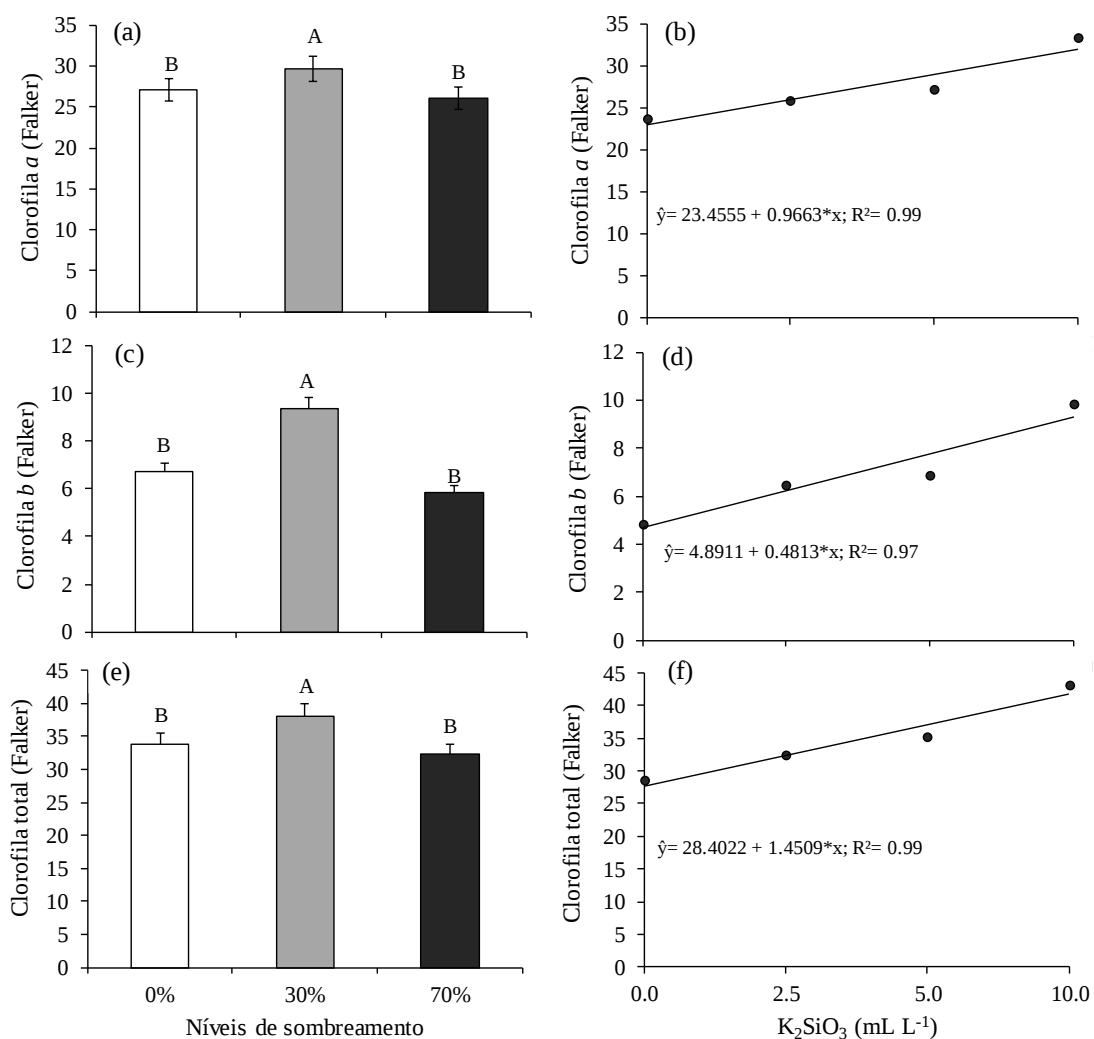


FIGURA 3. Índice de clorofila *a* (a-b), *b* (c-d) e total (e-f) em folhas de mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio e diferentes níveis de sombreamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) (a -c-e). * ($p < 0,05$; b -d-f).

Os parâmetros da fluorescência da clorofila-*a* e processos fotoquímicos no FS II foram influenciados pela interação entre os fatores de estudo (Figura 4). Nas mudas produzidas sob sol pleno, ocorreu aumento da fluorescência inicial – F_0 e rendimento máximo não fotoquímico – F_0/F_m e redução da fluorescência variável – F_v , eficiência

quântica fotoquímica no FS II – F_v/F_m , e conversão de energia absorvida – F_v/F_0 , apresentando valores de 0,050; 0,551; 0,043; 0,406 e 0,808 elétrons quantum⁻¹, respectivamente nas mudas, ao aplicar 10,0 mL de K_2SiO_3 .

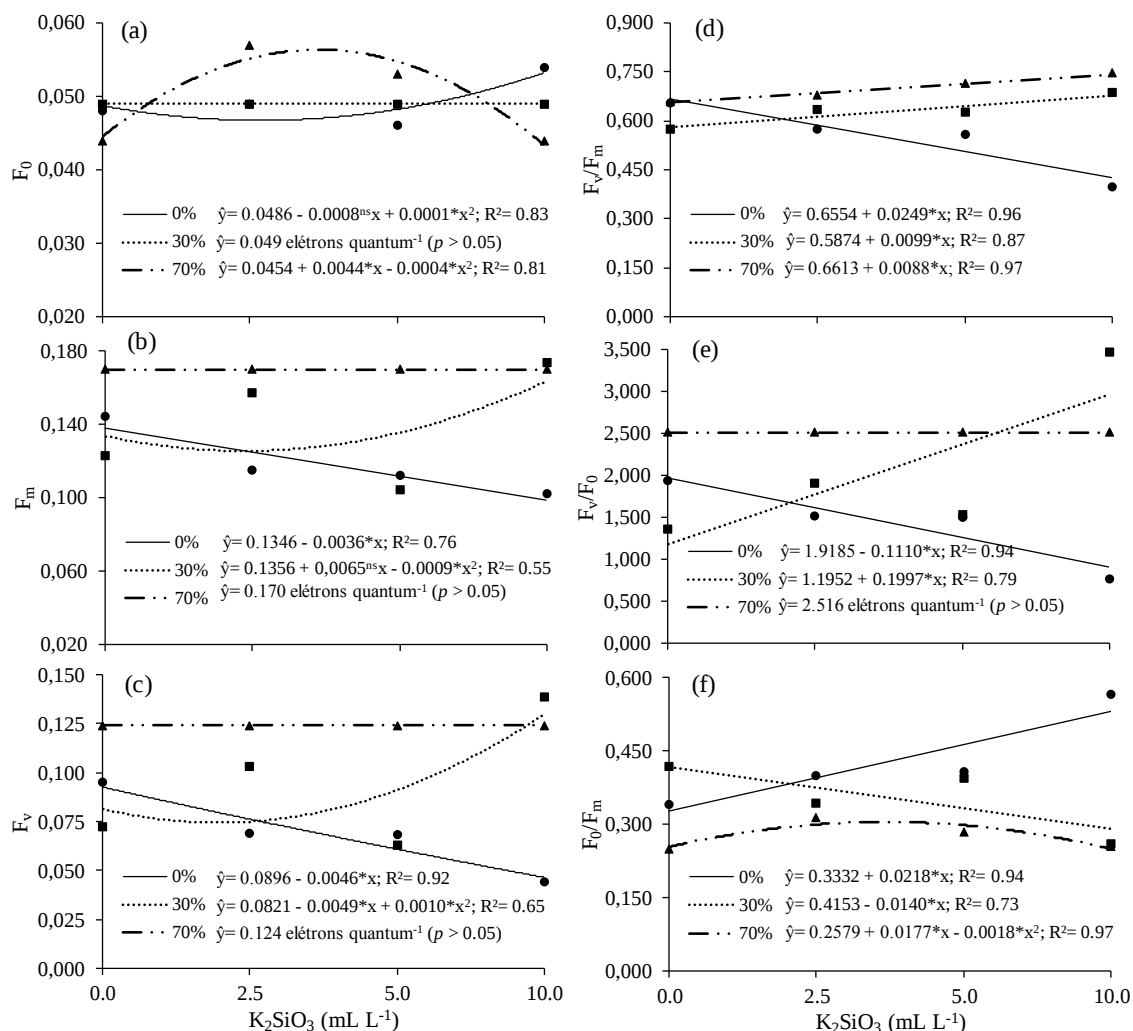


FIGURA 4. Fluorescências inicial – F_0 (a), máxima – F_m (b), variável – F_v (c), eficiência fotoquímica no fotossistema II – F_v/F_m (d), eficiência de conversão de energia absorvida – F_v/F_0 (e) e rendimento máximo não fotoquímico – F_0/F_m (f) em folhas de *A. edulis* cultivadas com doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) sob diferentes níveis de sombreamento. * ($p < 0,05$).

O aumento da F_0 na condição de pleno sol (0%) está associado ao excesso de luz incidente, uma vez que a espécie apresenta um ponto de saturação luminosa (PSL), e ao ultrapassar a capacidade de utilização no processo fotoquímico, ocorre a fotoinibição. Isso, porque nessa condição há excesso de energia de elétrons disponíveis, então uma parte é direcionada para a síntetização de EROs, tais como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e superóxido (O_2^-), que por sua vez, degradam lipídios e proteínas como a D_1

(GOH et al., 2012), prejudicando o aparato fotoquímico, promovendo aumento de energia dissipada em forma de fluorescência (F_0).

Assim, a maior disponibilidade de elétrons, seguida de sua baixa capacidade de utilização nessa condição, justificam os menores valores de F_v e consequentemente maiores valores de energia dissipada sem aproveitamento, isto é, rendimento máximo não fotoquímico (F_0/F_m), reduzindo a eficiência fotoquímica no FS II (F_v/F_m) em detrimento a menor conversão de energia (F_v/F_0) no complexo da antena e centros de reação.

Embora o silício induza a atividade de enzimas do metabolismo antioxidante, tais como a catalase e a superóxido dismutase (SOD) (ZANETTI et al., 2016), em nosso estudo, as doses crescentes de K_2SiO_3 reduziram ainda mais o rendimento fotoquímico da *A. edulis* quando cultivadas à pleno sol, possivelmente pelo maior gasto energético no processo de absorção desse elemento associado ao estresse luminoso. De acordo com (FERNANDES et al., 2018), para que a planta absorva o nutriente, a força gerada pelo gradiente elétrico tem que ser maior que a força pelo gradiente químico, então a bomba de prótons $H^+ + ATP_{ase}$ hidrolisa ATP e lança H^+ para o apoplasto, necessitando de elevado gasto de ATP nesse processo.

Então, na condição de pleno sol, considerada estressante, as mudas apresentam balanço energético desfavorável, pois o gasto é potencializado, não somente pela maior dissipação de energia ocasionada pela fotoinibição, mas também pela absorção do nutriente, acarretando em danos aos centros de reação em função da desestabilização metabólica. No entanto, esses danos ao aparato fotoquímico não representam em sua totalidade que os parâmetros de trocas gasosas também serão afetados negativamente, uma vez que podem ser reversíveis (fotoinibição dinâmica) (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009), e sejam reestabelecidas na fase bioquímica da fotossíntese.

Por outro lado, observamos que com as crescentes aplicações de K_2SiO_3 nas mudas de 30% de sombra, as respostas foram diferenciadas, ou seja, ocorreu aumento das características fotoquímicas no FS II, especialmente da F_v/F_m e F_v/F_0 , sendo que com aplicação de $10,0 \text{ mL.L}^{-1}$ de K_2SiO_3 , os valores foram de 0,686 e 3,192 elétrons quantum^{-1} respectivamente (Figuras 4d-e). Esse nível de sombreamento promove melhores condições para que as mudas dessa espécie aproveitem a energia luminosa absorvida, pois ela é caracterizada secundária inicial (LELES et al., 2011), então o K_2SiO_3 potencializou as atividades fotoquímicas, em função de seus benefícios nos processos metabólicos, dentre eles a possível indução de enzimas antioxidantes (MENDONÇA et al., 2013) e o

incremento em clorofilas (Figura 4), melhorando a integridade dos centros de reação e maiores rendimentos fotoquímicos no FS II.

No cultivo de mudas sob 70% de sombra, mesmo sem aplicação de K_2SiO_3 , as plantas possuem alta capacidade de utilização de elétrons em relação aos elétrons disponíveis (F_v) (Figura 4c), proporcionando alta eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) (Figura 4e), como estratégia para potencializar os processos fotoquímicos (F_v/F_m) (Figura 4d) e mantê-los estáveis, pois as mudas estão expostas à menor disponibilidade luminosa.

O conteúdo relativo de água (CRA) e o déficit de saturação hídrica (ΔW_{Sat}) das mudas de *A. edulis* foram influenciados pela interação entre níveis de sombreamento e doses de silicato de potássio (Figura 5). O máximo CRA calculado foi de 68% nas mudas produzidas em pleno sol (0%) com 5,19 mL de K_2SiO_3 , ao passo que sob 30% o máximo valor foi de 67,98% com 5,79 mL de K_2SiO_3 (Figura 6a). O ΔW_{Sat} em pleno sol (0%) ajustou-se ao modelo quadrático, com máximos valores de 40% e 39% sem e com 10,0 mL de K_2SiO_3 , respectivamente (Figura 6b); os resultados sob 30% de sombra foram próximos, ou seja, nessas mesmas doses foram observados os valores máximos calculados de 44,73% e 38,71%. Em geral, o CRA e ΔW_{Sat} das mudas em ambiente 70% de sombra não foi verificado efeito significativo das doses ($p > 0,05$), apresentando média de 64,5 e 34,5%, respectivamente.

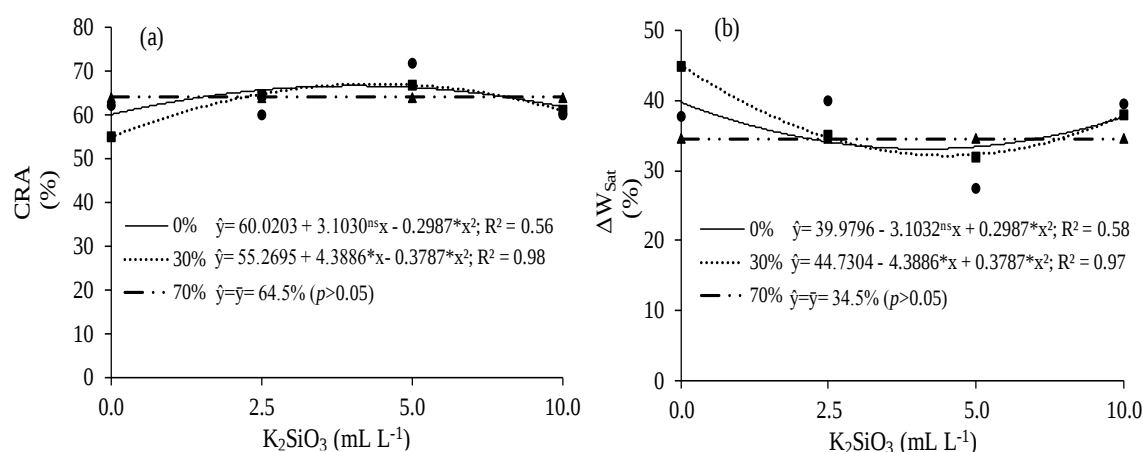


FIGURA 5. Conteúdo relativo de água – CRA (a) e déficit de saturação hídrica – ΔW_{Sat} (b) foliar em mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio sob diferentes níveis de sombreamento. * ($p < 0,05$)

O aumento do nível de sombreamento favorece a regulação do CRA das plantas, uma vez que em ambientes sombreados geralmente ocorre menor taxa de evaporação de água do substrato e transpiração foliar em função da menor temperatura

(MONTEIRO et al., 2016), tal como ocorreu nas mudas em 70% de sombra promovida com o uso do sombrite®.

Embora as mudas cultivadas a pleno sol geralmente apresentem menor CRA devido à situação oposta em sombreamento, a aplicação do K_2SiO_3 promoveu maior CRA e menor ΔW_{Sat} nessa condição luminosa, demonstrando seu efeito benéfico na regulação das relações hídricas pelo silício formar uma dupla camada sobre o poro estomático resultando em maior eficiência do uso da água (CHUNG et al., 2020), além de que quando o teor de potássio aumenta na seiva, há uma economia de água nos tecidos, pois esse elemento regula o fechamento dos estômatos, diminui a transpiração, garantindo maior tolerância a seca. Quando o suprimento de água é baixo (ambientes a pleno sol tendem a perder mais água), o potássio é bombeado para fora das células de guarda, de modo que os poros fecham e a perda de água pela planta é evitada (CAVALCANTI-FILHO et al., 2018).

A área foliar (AF) das mudas de *A. edulis* foi influenciada pelos fatores em estudo isoladamente, sendo que os maiores valores ocorreram quando produzidas sob 30% de sombreamento ($109,25 \text{ cm}^2$) (Figura 6a) e crescimento linear ($111,08 \text{ cm}^2$) com $10,0 \text{ mL.L}^{-1}$ de K_2SiO_3 (Figura 6b). Diferentes intensidades luminosas podem ocasionar mudanças morfofisiológicas, de modo que uma pequena redução na exposição à luz pode contribuir para o aumento da AF (GARRETT et al., 2020), tal como observado nas mudas sob 30% de sombra, indicando uso eficiente da luz (Figura 6a).

Por outro lado, o excesso de sombra pode promover redução da AF devido a menor PAR, acarretando em menor produção de fotoassimilados por unidade de área; já sob 0% de sombra a redução dessa característica está associada ao mecanismo de mitigar perda de água por transpiração (PINTO et al., 2016) em reflexo aos menores número de folhas nessa mesma condição luminosa (Figura 2c). O incremento da AF com o K_2SiO_3 está associado ao fato desse elemento estimular a síntese de citocinina, promovendo a divisão celular (STEINER et al., 2016; MARKOVICH et al., 2017), contribuindo na expansão de área fotossintetizante.

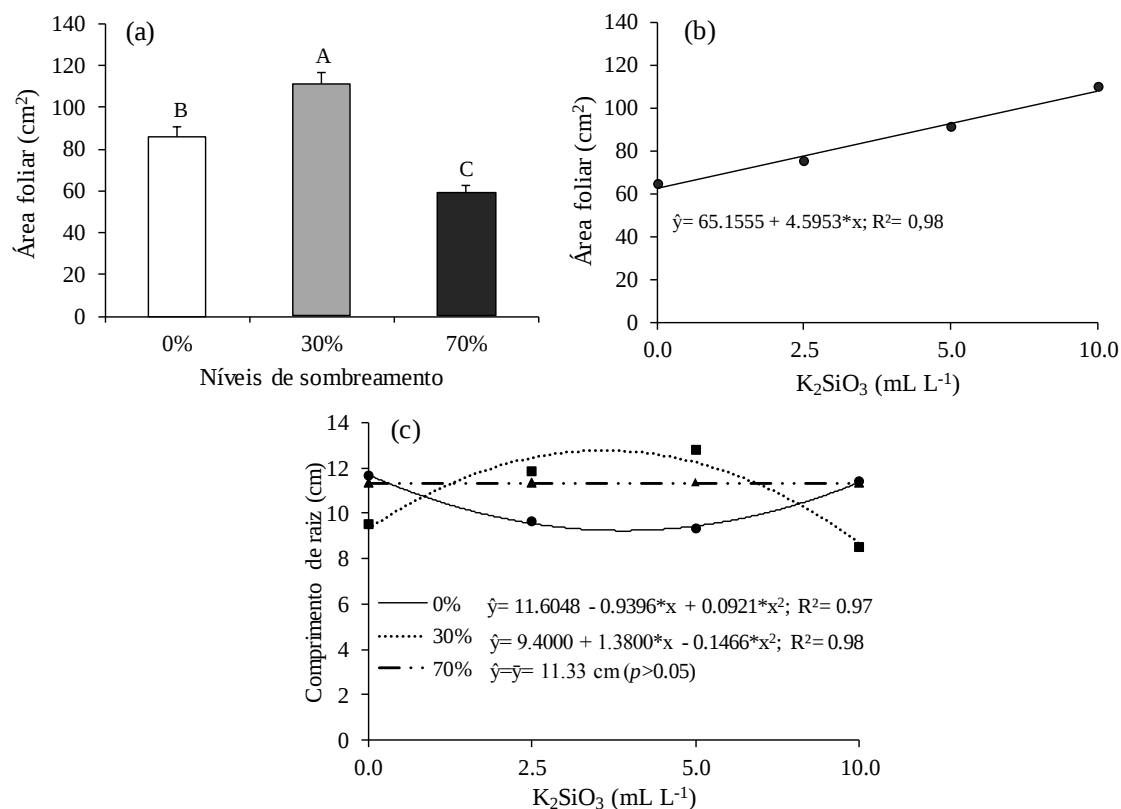


FIGURA 6. Área foliar (a, b) e comprimento de raiz em mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio sob diferentes disponibilidades luminosas. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) (a). * ($p < 0,05$; b-c)

O comprimento da maior raiz foi influenciado pela interação entre níveis de sombreamento e doses de K₂SiO₃ (Figura 6c). O máximo CR foi de 12,35 cm nas mudas produzidas sob 30% com 4,70 mL de K₂SiO₃, enquanto que sob pleno sol (0%), os maiores valores (11,66 e 11,40 cm) ocorreram com 0,0 e 10,0 mL.L⁻¹ de K₂SiO₃, respectivamente. Sob condição de estresse, tal como em alta irradiância, as plantas apresentam mecanismos visando manter sua eficiência metabólica estável.

De acordo com Daszkowska-Golec (2016), um dos primeiros estímulos que ocorrem é a sinalização do ácido abscísico (ABA), o que favorece o desenvolvimento radicular em comprimento, contribuindo na adaptação ecológica das espécies, como observado nas mudas de *A. edulis*. Todavia, à medida que a turgescência aumenta, tal como o CRA, a sinalização hormonal é reduzida em detrimento a estabilidade das relações hídricas no tecido (SACK et al., 2017), resultando em menor raiz, como ocorreu com a aplicação de K₂SiO₃. Em ambiente 70% de sombra não verificamos efeito significativo das doses de K₂SiO₃ ($p > 0,05$), apresentando média de 11,33 cm (Figura 6c).

Observamos que a massa seca de raiz (MSR) foi influenciada pelos níveis de sombreamento e doses de silicato de potássio isoladamente, sendo que o maior valor foi de 0,204 g nas mudas produzidas em ambiente pleno sol (0%), embora não tenha diferido estatisticamente daquelas sob 30% (Figura 7a). Essa resposta é um mecanismo da espécie visando maior exploração dos recursos na área rizosférica nessa condição luminosa. Também constatamos que a aplicação de 10,0 mL.L⁻¹ de K₂SiO₃ promoveu maior valor de MSR (0,188 g/planta) representando incremento de 53% em comparação àquelas sem K₂SiO₃ (Figura 7b).

A massa seca da parte aérea (MSPA) e total (MST) das mudas de *A. edulis* apresentaram a mesma tendência de resposta em função da interação entre os fatores em estudo. Os valores de MSPA e MST das mudas produzidas sob pleno sol (0%) e 30% de sombra foram próximos e maiores em relação àquelas sob 70% de sombra, verificando crescimento linear conforme o aumento das doses (Figura 7c e 7d), em reflexo a maior AF nessas mesmas condições de cultivo (Figura 6a), aumentando a produção de fotoassimilados e consequentemente de biomassa. As mudas apresentaram menor rendimento fotoquímico (F_v/F_m) com as doses crescentes de K₂SiO₃ (Figura 4), porém esse elemento promoveu efeito compensatório na produção de biomassa.

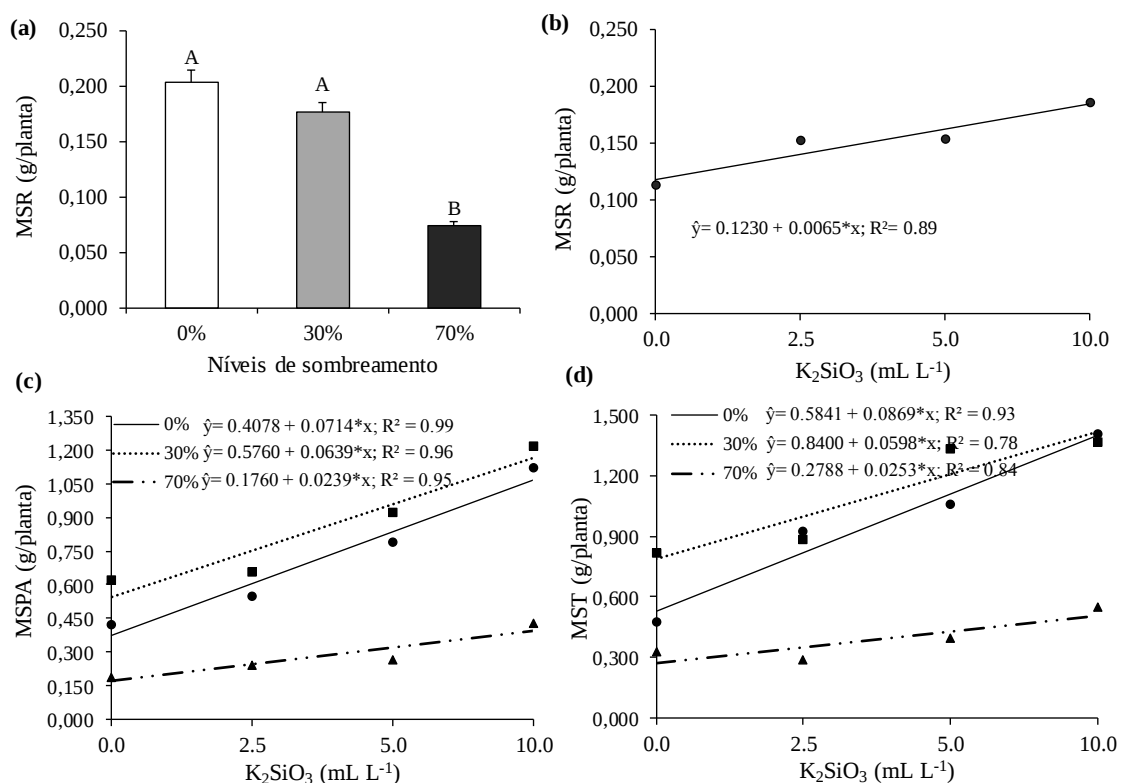


FIGURA 7. Massa seca de raiz - MSR (a, b), Massa seca da parte aérea - MSPA (c) e massa seca total - MST (d) em mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio sob diferentes níveis de sombreamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) (a). * ($p < 0,05$; b-c)

A área foliar específica foi influenciada somente pelos níveis de sombreamento, com maior valor (288,70 cm².g⁻¹) nas mudas sob 70% de sombra, buscando maior aproveitamento de luz por unidade de biomassa (LIU et al., 2016). A razão de área foliar foi influenciada isoladamente pelos fatores em estudo, apresentando os maiores valores (155,80 cm².g⁻¹ e 126,77 cm².g⁻¹) sob 70% de sombra (Figura 8b) e sem K_2SiO_3 (Figura 8c), respectivamente.

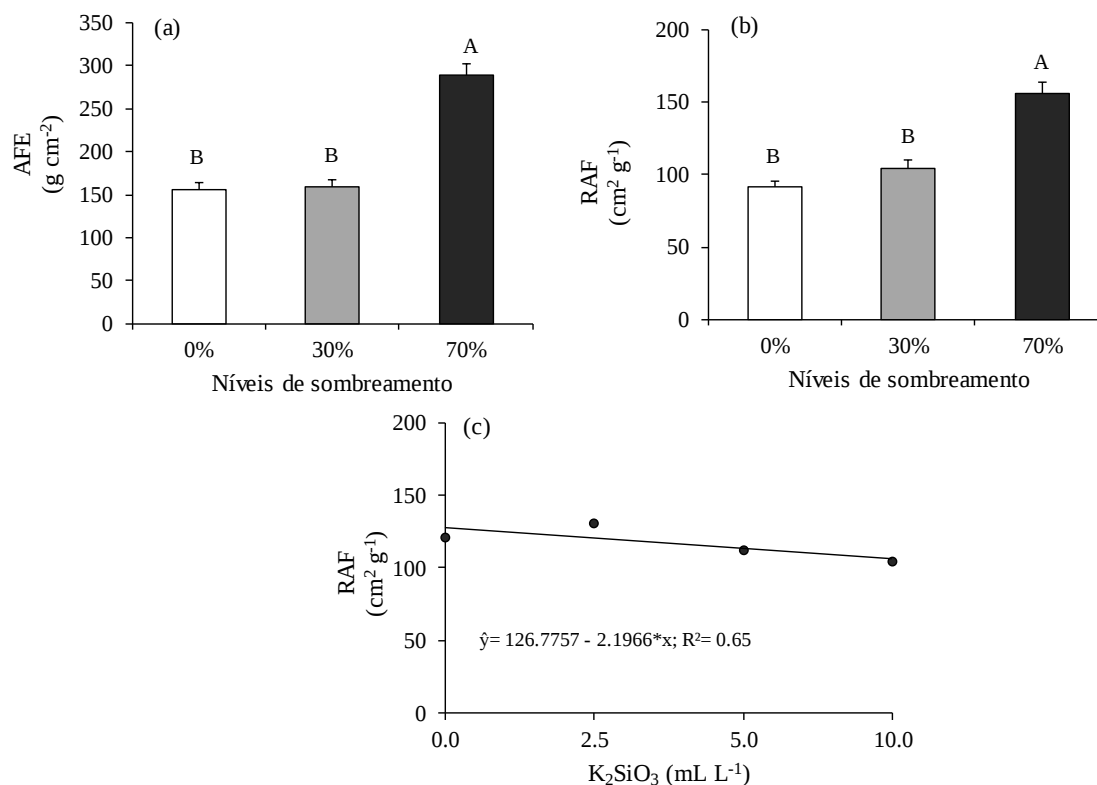


FIGURA 8. Área foliar específica – AFE (a) e razão de área foliar – RAF (b-c) em mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio ou diferentes níveis de sombreamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) (a-b). * ($p < 0,05$; c)

Conforme o aumento do nível de sombreamento a planta necessita de uma maior área fotossinteticamente ativa, para produzir a mesma quantidade de fotoassimilados de uma planta sob alta disponibilidade luminosa, onde uma unidade de biomassa precisa abranger maior área para captação luminosa (GONÇALVES et al., 2018). A aplicação de K_2SiO_3 proporciona otimização da área foliar para produção de biomassa, devido aos seus efeitos benéficos na planta, dentre eles o aumento do índice de clorofila (Figura 4f), fato que reduziu o valor da RAF da *A. edulis* conforme o aumento da dose do K_2SiO_3 .

As mudas apresentaram maior RPAR (5,02) quando produzidas sob 30% de sombra (Figura 9a) e com aplicação de $10,0 \text{ mL.L}^{-1}$ de K_2SiO_3 (5,16) (Figura 9b), devido as melhores condições de desenvolvimento proporcionadas às plantas, tanto pela luminosidade suficiente e não estressante, quanto pelos efeitos benéficos proporcionados pelo silício e potássio com base em nossos resultados. Já as mudas de pleno sol precisam direcionar maior produção de biomassa para o sistema radicular, para compensar a possível falta de umidade ocasionada pela evapotranspiração mais acentuada do substrato, deste modo justificando o menor valor de RPAR nessa condição de cultivo.

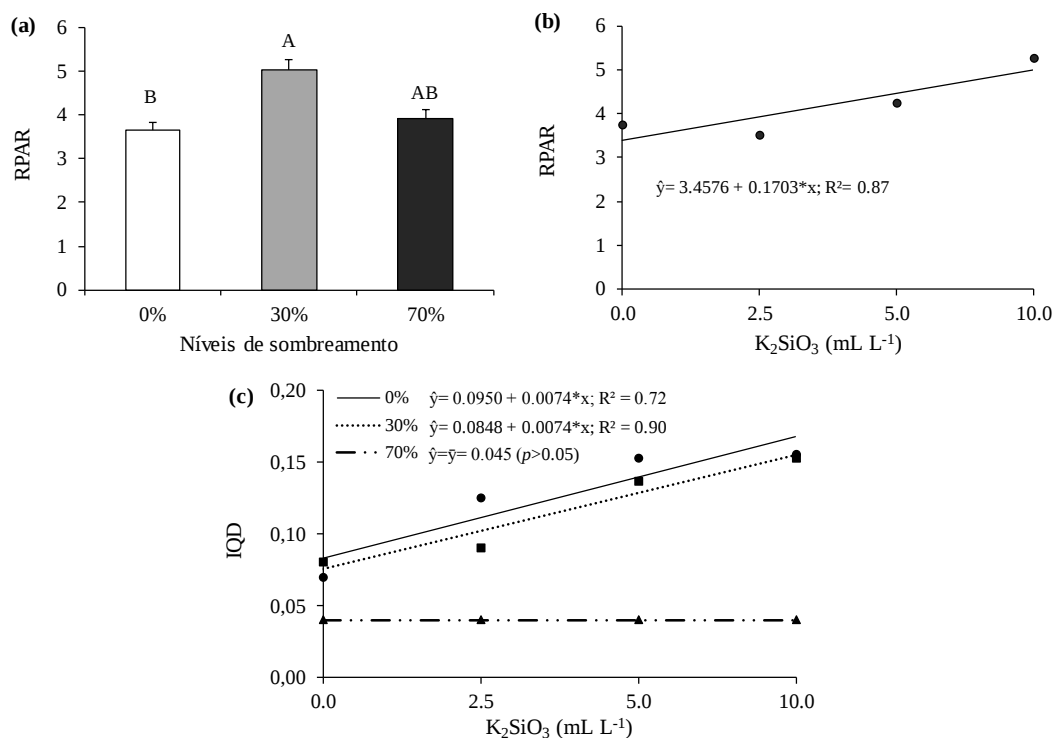


FIGURA 9. Relação parte aérea/raiz (a, b) e Índice de qualidade - IQD (c) em mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio sob diferentes níveis de sombreamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) (a). * ($p < 0,05$; b-c)

Quanto ao índice de qualidade (IQD), mudas de *A. edulis* sob 70% de sombra não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$), com valor médio de 0,045, (Figura 9c). Por outro lado, quando cultivadas à pleno sol, essas apresentaram IQD ligeiramente maior que àquelas sob 30% de sombra (0,16 e 0,15, respectivamente), ambas com 10,0 mL.L⁻¹ de K_2SiO_3 , sendo que nessas duas condições de luminosidade e dose do elemento, os resultados foram promissores, uma vez que as mudas foram bem desenvolvidas em termos de distribuição de fotoassimilados nos diferentes órgãos dessa espécie.

As mudas de *A. edulis* responderam de maneira diferenciada por meio de ajustes morfofisiológicos em função das diferentes disponibilidades luminosas (Figura 10), sendo que os ambientes de 0% e 70% foram considerando estressantes para essa espécie. Entretanto, a aplicação de K_2SiO_3 promoveu melhorias nos índices de clorofila e aparato fotoquímico, bem como potencializou o incremento de biomassa.

Embora o uso de K_2SiO_3 tenha ocasionado maior gasto energético sob determinadas condições luminosas, há o efeito compensatório desse elemento na produção de fotoassimilados, especialmente sob alta e moderada incidência luminosa, comprovando nossa hipótese inicial. Em geral, os maiores valores das características

morfofisiológicas observadas nas mudas cultivadas sob 30% de sombra está associado ao fato da espécie ser categorizada como secundária inicial em seu grupo ecológico sucessional (LELES et al., 2011) e potencializado pela aplicação de K_2SiO_3 , apresentando capacidade de implantação de mudas em áreas totalmente antropizadas, ou bordaduras em agroflorestas, podem estar expostas a alta irradiância, especialmente na fase de crescimento inicial, ou seja, momento em que as mudas necessitam de características de vigor alto para se estabelecerem na fase de aclimatização.

Por outro lado, não é indicada produção ou inserção de mudas dessa espécie sob sombreamento intenso, independente do uso do K_2SiO_3 , uma vez que essas apresentam crescimento reduzido, podendo dificultar seu estabelecimento inicial. Em perspectivas futuras devem ser realizados estudos com outros possíveis agentes mitigadores do estresse ambiental, visando maiores conhecimentos do comportamento das espécies arbóreas nativas e frutíferas, almejando a conservação da biodiversidade no Cerrado brasileiro.

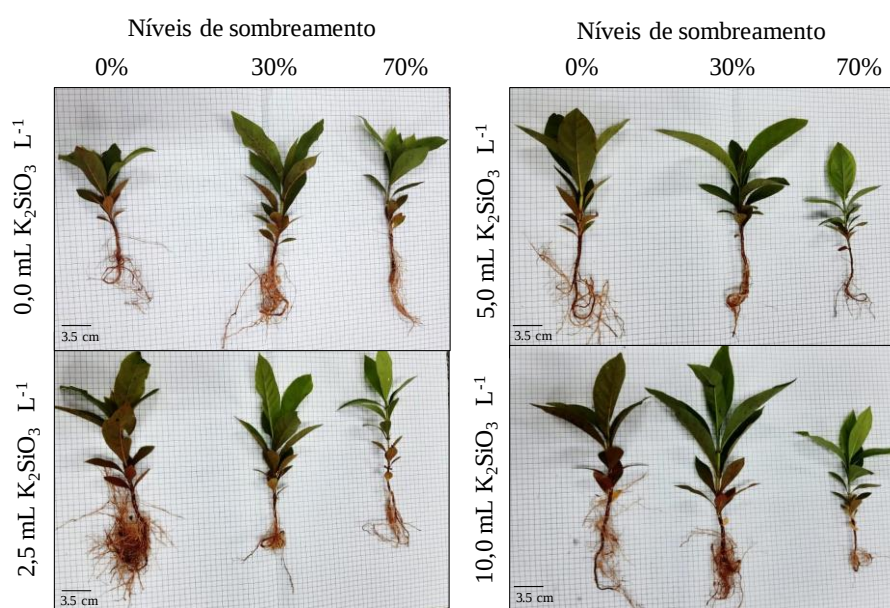


FIGURA 10. Aspecto visual de mudas de *A. edulis* produzidas com doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) sob diferentes níveis de sombreamento. Fonte: Lucas Paulino (2020).

4 CONCLUSÕES

Não é indicada a produção de mudas de *A. edulis* em ambiente 70% de sombra, independente do uso de silicato de potássio.

Porém, a dose de 10,0 mL.L⁻¹ mitigou os efeitos negativos promovidos pelo pleno sol e potencializou as características morfofisiológicas nas mudas sob 30% de sombra, sendo uma alternativa promissora na produção de mudas com qualidade elevada em ambientes com alta e moderada irradiância.

5 REFERÊNCIAS

- ANPO, M.; FUKUDA, H.; WADA, T. **Plant Factory Using Artificial Light**: Adapting to environmental disruption and clues to agricultural innovation. Elsevier Inc., Cambridge, MA e. 1, 2018. 364 p.
- AQUINO, D. F. S.; TIRLONI, C. A. S.; MENEGATTI, S. E. L. T.; CARDOSO, C. A. L.; VIEIRA, S. C. H.; VIEIRA, M. C.; SIMONET, A. M.; MACÍAS, F. A.; GASPAROTO, A. *Alibertia edulis* (L.C. Rich.) A.C. Rich – A potent diuretic arising from Brazilian indigenous species. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 19, n. 6, p. 193 – 200, 2017.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARAS, D.; KELES, H.; EŞITKEN, A. Silicon nutrition counteracts salt-induced damage associated with changes in biochemical responses in apple. **Bragantia**, v. 79, n. 1, p. 1-7, 2020.
- ARAÚJO, J. M.; ANDRADE NETO, R. C.; OLIVEIRA, J. R.; LUNZ, A. M. P.; ALMEIDA, U. O. Shading and slow release fertilizer effects on the growth characteristics of assai Seedlings (*Euterpe oleracea*). **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. 1-10, 2019.
- AZEVEDO, G. T. O. S.; NOVAES, A. B.; AZEVEDO, G. B.; SILVA, H.F. Development of indian neem seedlings under different levels of shading. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 249-255, 2015.
- BARBEIRO, C.; ROMAGNOLO, M. B.; PASTORINI, L. H. Crescimento de *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.V.G. Azevedo & H.C. Lima (Fabaceae) mantidos em diferentes condições de sombreamento e disponibilidade hídrica. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 491-499, 2018.
- CAMPOS FILHO, E. M. **Plante as árvores do Xingu e Araguaia**. Guia de Identificação (ISA). v. 2. 2009. 304p.
- CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.281-288, 2002
- CAVALCANTI-FILHO, P. F. M.; BAITELLE, D. C.; FREITAS, S. J.; SILVA, W. S.; SANTOS, P. C.; BERILLI, S. S.; FREITAS, S. P. Potassium Silicate in the Acclimatization of Arabica Coffee Seedlings under Shaded and Full Sun Conditions. **Journal of Experimental Agriculture International**, v, 25, n. 4, p. 1-7, 2018.
- CHUNG, Y. S.; KIM, K.; HAMAYUN, M.; KIM, Y. Silicon confers soybean resistance to salinity stress through regulation of reactive oxygen and reactive nitrogen species. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-11, 2020.

CONCEIÇÃO, S. S.; OLIVEIRA NETO, C. F. D.; MARQUES, E. C.; BARBOSA, A. V. C.; GALVÃO, J. R.; OLIVEIRA, T. B. D.; OKUMURA, R. S.; MARTINS, J. T. S.; COSTA, T. C.; AND GOMES-FILHO, E. Silicon modulates the activity of antioxidant enzymes and nitrogen compounds in sunflower plants under salt stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p. 1237-1247, 2019.

COSTA, B. N. S.; COSTA, I.J.S.; DIAS, G. M. G.; ASSIS, F. A.; PIO, L. A. S.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M. Modificações morfo-anatômicas e fisiológicas de maracujazeiro fertilizado com silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 163-171, 2018.

DASZKOWSKA-GOLEC, A. The role of abscisic acid in drought stress. In: HOSSAIN, M. A.; WANI, S. H.; BHATTACHARJEE, S.; BURRITT, D.; TRAN, LAM-SON, P. **How ABA Helps Plants to Cope with Drought Stress**. 1st. Suíça: Springer, 2016. v. 2. 630p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of while spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chonicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641–664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina, Planta, v. 2, 2006. 403p.

FELSEMBURGH, C. A.; SANTOS, K. J. S.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; TRIBUZY, E. S. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento artificial. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 201-210, 2016.

FERNANDES, M.S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. 2^a Ed. Viçosa-Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência dos solos, 2018. 670p.

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.

FIORUCCI, A. S.; FANKHAUSER, C. Plant strategies for enhancing access to sunlight. **Current Biology Review**, v. 27, n. 11, p. 931-940, 2017.

GARRETT, A. T. A.; PERES, F. S. B.; INOUE, M. T.; GARCIA, F. A. O. Adaptation of cedro-vermelha, tarumã-azeitona, ingá-doce, branquilha-bravo and ocotea-guaicá seedlings to shading levels. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 1-8, 2020.

GOH, C.; KO, S.; KOH, S. Photosynthesis and environments: photoinhibition and repair mechanisms in plants. **Journal of Plant Biology**, v. 55, p. 93-101, 2012.

GONÇALVES, B. H. L.; SOUZA, M. A.; FERRAZ, R. A.; LEONEL, M. A. T. S. Efeito do bioestimulante Stimulate[®] no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro cv. BRS Rubi do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 147-155, 2018.

HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 56, p. 244–253, 2010.

HOSSAIN, M.T.; SOGA, K.; WAKABAYASHI, K.; KAMISAKA, S.; FUJII, S.; YAMAMOTO, R.; HOSON, T. Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. **Journal Plant Physiology**, v.164, n. 4, p. 385–393, 2006.

HUNT, R. **Basic growth analysis**: plant growth analysis for beginners. London: Unwin Hyman, 1990. 112p.

KSAS, B.; BECUWE, N.; CHEVALIER, A.; HAVAUX, M. Plant tolerance to excess light energy and photooxidative damage relies on plastoquinone biosynthesis. **Scientific Reports**, v. 5, n. 3, p. 1-16, 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 1. ed . São Carlos: Rima, 2004. 550 p.

LELES, P. S. S.; ABAURRE, G. W.; ALONSO, J. M.; NASCIMENTO, D. F.; LISBOA, A. C. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição vegetal. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 231-239, 2011.

LIU, Y.; DAWSON, W.; PRATI, D.; HAEUSER, E.; MARK, Y, F.; KLEUER, V. Does greater specific leaf area plasticity help plants to maintain a high performance when shaded?. **Annals of Botany**, v. 118, n. 7, p. 1329-1336, 2016.

LOPES, M. J. S.; DIAS FILHO, M. B.; MENEZES NETO, M. A.; SANTOS, J. U. M. ; CRUZ, E. D.; DIAS, H. S. S. Morphological and physiological responses to shade in seedlings of *Parkia gigantocarpa* Ducke and *Schizolobium parahyba* var. Amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby (Leguminosae). **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 573-580, 2015.

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**(de consumo in natura). São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 2006. 640p.

MA, J. F.; YAMJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392–397, 2006.

MARKOVICH, O.; STEINER, E.; KOUŘIL, Š.; TARKOWSKI, P.; AHARONI, A.; ELBAUM, R. Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in *Arabidopsis* and *Sorghum*. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, n.7, p. 1189-1196, 2017.

MARQUES, M.C. S.; HAMERSKI, L.; GARCEZ, F. R.; TIEPPO, C.; VASCONCELOS, M.; TORRES-SANTOS, E. C.; GARCEZ, W. S. In vitro biological screening and evaluation of free radical scavenging activities of medicinal plants from the Brazilian Cerrado. **Journal Medicinal Plants Research**, v. 7, n. 15, p. 957-962, 2013.

MENDONÇA, A. O.; TAVARES, L. C.; BRUNES, A. P.; MONZÓN, D. L. R.; VILLELA, F. A. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1154-1162, 2013.

MENDES, K. R. Maximum carboxylation velocity of Rubisco and maximum rate of electron transport in sapling in response to variations in environmental factors in central Amazonia. **Ciência Florestal**, v.27, n.3, p. 947 – 949, 2017.

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; TANAKA, A. A.; FERNEDA, B. G.; MARTIM, C. C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016

PETROVA, M. N; PAUNOV, S.; STOICHEV, S.; TODINOVA, S. G.; TANEVA, V.; GOLTSEV, S.; KRUMOVA, S. Thylakoid membrane reorganization, induced by growth light intensity, affects the plants susceptibility to drought stress. **Photosynthetica**, v. 58, n. suplemento especial, p. 369-378, 2020.

PINTO, J. R. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; JUNIOR, J. H. S.; SOUZA, G. O.; FREITAS, R. M. O. Crescimento de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., sob sombreamento no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 384-392, 2016.

QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; ZANOL, M. R.; MELIDO, R. C. N. Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 632-640, 2018.

SACK, L.; JOHN, G. P.; BUCKLEY, T. N. ABA accumulation in dehydrating leaves is associated with decline in cell volume not turgor pressure. **Plant Physiology**, v. 176, n. 1, p. 489-493, 2017.

SANTOS, C. C.; JORGE, H. P. G.; DIAS, L. G. F.; VIEIRA, M. C. Shading levels and substrates affect morphophysiological responses and quality of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 1-9, 2020.

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

SILVA JUNIOR, M. C.; PEREIRA, B. A. S. + **100 árvores do Cerrado – Matas de Galeria**: guia de campo. Brasília, Editora Rede de Sementes do Cerrado, v. 1 2009. 288p.

SALEEM, M.H.; REHMAN, M.; FAHAD, S.; TUNG, S.A.; IQBAL, N.; HASSAN, A.; AYUB, A.; WAHID, M.A.; SHUAKAT, S.; LIU, L.; DENG, G. Leaf gas exchange, oxidative stress, and physiological attributes of rapeseed (*Brassica napus* L.) grown under different light-emitting diodes. **Photosynthetica**, v. 58, n. 3, p. 836-845, 2020.

STEINER, E.; LIVNE, S.; ROBINSON-KATZ, TAMMY.; TAL, LIOR.; PRI-TAL, ODED.; TARKOWSHÁ, M. D.; MUELLER, B.; TARKOWSKI, P.; WEISS, D. The putative o-linked n-acetylglucosamine transferase spindly inhibits class i tcp proteolysis to promote sensitivity to cytokinin, **Plant Physiology**, v. 171, n. 2, p. 1485-1494, 2016.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, n. 3, p. 339-366, 1981.

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 215-223, 2016.

ZAPPI, D. *Alibertia edulis* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20682>, acesso em: 20 fev. 2020.