

Ecofisiologia e Nutrição de Espécies Frutíferas e Arbóreas

**Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon**
Organizadores



2020

Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon
Organizadores

ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE
ESPÉCIES FRUTÍFERAS E ARBÓREAS



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora

Edição de Arte: A editora. Imagens de capa e contra-capa: Canva.com

Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Me. Ernane Rosa Martins – IFG
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Dra. Patrícia Maurer
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI

- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E19	<p>Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas [recurso eletrônico / Organizadores Cleberton Correia Santos, Silvana de Paula Quintão Scalon. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2020. 150p.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-31-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319314</p> <p>1. Adubação fosfatada. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Santos, Cleberton Correia. II. Scalon, Silvana de Paula Quintão. CDD 581.7</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos e-books e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es) e não representam necessariamente a opinião da Pantanal Editora. Os e-books e/ou capítulos foram previamente submetidos à avaliação pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação. O download e o compartilhamento das obras são permitidos desde que sejam citadas devidamente, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais, exceto se houver autorização por escrito dos autores de cada capítulo ou e-book com a anuência dos editores da Pantanal Editora.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000. Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
 Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “Ecofisiologia e Nutrição de Espécies Frutíferas e Arbóreas” apresenta, em seus dez capítulos, informações provenientes de revisão de literatura e trabalhos técnicos científicos com intuito de fortalecer o conhecimento sobre as respostas morfofisiológicas de espécies de interesse da cadeia produtiva da fruticultura e silvicultura.

O padrão da biodiversidade em diferentes fitofisionomias em áreas florestais, especialmente nativas, tem reduzido em função de diversas práticas desordenadas, as quais são provenientes da ação antrópica realizada de maneira intensiva sobre os recursos naturais renováveis. Além disso, a exploração dos recursos fitogenéticos de maneira extrativista, não amigável, é um agravante que pode implicar na extinção de muitas espécies, que além dos serviços ecossistêmicos gerados, também possuem propriedades medicinais e alimentícias promissoras para sua agregação de valor em bioprocessos.

Em função das alterações na ecologia da paisagem e de práticas inadequadas nos agroecossistemas, mudanças ambientais tem ocorrido constantemente no Mundo, refletindo em aumento pronunciado da temperatura, irregularidade de precipitações ou inundações temporárias em algumas regiões, podendo afetar drasticamente tanto as fruteiras de interesse comercial tradicionalmente cultivadas, bem como das espécies nativas e essências florestais.

Portanto, o conhecimento acerca das respostas ecofisiológicas e de crescimento em função dos fatores abióticos, tal como água, luz, e da nutrição mineral de plantas, bem como às tecnologias biológicas no solo e de mitigação do estresse são imprescindíveis para obtenção de mudas de elevada qualidade, as quais podem ser inseridas em áreas em processo de recuperação ambiental, enriquecimento de matas nativas ou sistemas integrados de produção e pomares comerciais.

Assim, os capítulos apresentados são constituídos de resultados de pesquisa de trabalhos sobre os efeitos do déficit hídrico, alagamento, luminosidade, toxicidade de alumínio, polímeros hidrorretentores, uso de fertilizantes minerais e fungos micorrízicos arbusculares para produção de mudas frutíferas e florestais, a fim de assegurar as cadeias produtivas e a conservação da biodiversidade florística.

Os agradecimentos dos organizadores aos autores pela dedicação e empenho na produção dos materiais de qualidade, os quais serão bases norteadoras para o estabelecimento de práticas no setor da fruticultura e da silvicultura, visando o fortalecimento do desenvolvimento sustentável.

Esperamos por meio desta obra difundir informações técnicas que possam contribuir para obtenção de mudas de elevada qualidade para conservação da flora, bem como sua exploração sustentável.

Ótima leitura!!!

Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon

SUMÁRIO

Apresentação	4
Capítulo I	6
Fisiologia e crescimento de fruteiras em resposta ao déficit hídrico.....	6
Capítulo II	19
Respostas fisiológicas de <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi submetidas a toxicidade do alumínio na presença de silício e selênio	19
Capítulo III	30
Tecnologias para mitigar o déficit hídrico em <i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.....	30
Capítulo IV	48
Resposta de condutância estomática em plantas jovens de <i>Attalea phalerata</i> Mart. em diferentes condições ambientais	48
Capítulo V	60
Influência do alagamento no crescimento de mudas de <i>Dipteryx alata</i> e a determinação de recuperação ao estresse no pós-alagamento.....	60
Capítulo VI	70
Propagação <i>in vitro</i> da canafistula (<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.).....	70
Capítulo VII	88
Crescimento inicial e qualidade de mudas de <i>Dipteryx alata</i> inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares sob adubação fosfatada	88
Capítulo VIII	102
Fertilização fosfatada e fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de <i>Peltophorum dubium</i>	102
Capítulo IX	113
Crescimento e produção de biomassa de mudas de <i>Pterogyne nitens</i> Tull. inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada.....	113
Capítulo X	126
Mudas de canafistula (<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.) com fungos micorrízicos arbusculares	126
Índice Remissivo	149

Fisiologia e crescimento de fruteiras em resposta ao déficit hídrico

 10.46420/9786588319314cap1

Rodrigo da Silva Bernardes^{1*} 

Juliana Milene Silverio¹ 

Alex Polatto Carvalho¹ 

Fabiana Pinheiro dos Santos¹ 

Cleberton Correia Santos¹ 

Silvia Correa Santos¹ 

Silvana de Paula Quintão Scalon¹ 

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira posição mundial em produção de frutas com um volume estimado de 40 milhões de toneladas, ficando atrás somente da China e Índia. A produção brasileira é focada para o consumo do mercado interno e somente cerca de 3% da produção é exportada, fazendo assim o país ocupar a 23ª posição em relação às exportações segundo o Anuário Brasileiro de Fruticultura (Agrianual, 2015).

A produção mundial de frutas possui uma grande variedade de espécies, no qual a maior parte é de clima temperado. Dentre as espécies de clima tropical, as únicas que se destacam no mercado mundial é a laranja e banana. Frutíferas de clima tropical se adaptam a regiões com temperaturas médias superiores a 22° C e distribuição regular de chuvas ao longo do ano (Fronza; Hamann, 2015). A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) espera crescimento pronunciado no comércio de frutas tropicais para os próximos anos, pois a demanda por frutas como abacate e manga, dentre outras, está crescendo em todo o mundo (Oliveira, 2019) visando manter a segurança alimentar e qualidade de vida da população.

Em fevereiro de 2018, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), lançou o Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura (PNDF) com objetivo de definir estratégias para tornar o país (Brasil) referência mundial em produção e comercialização de frutas, por meio de ações para melhorar toda a cadeia produtiva do setor (Abrafrutas, 2019). Nessa perspectiva, é imprescindível o

¹ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil.

* Autor para correspondência: rodrigo.bernardes95@hotmail.com

conhecimento dos aspectos fitotécnicos, ecofisiológicos e de mercado de fruteiras, almejando potencializar sua cadeia produtiva.

Existem vários fatores de risco que podem afetar a fruticultura tropical, desde riscos climáticos, fitossanitários e de mercado. Dentro dos fatores climáticos, a escassez hídrica é um dos problemas que podem ser encontrados na fruticultura (Gerun et al., 2019), principalmente em virtude das mudanças climáticas globais. Como as plantas podem se desenvolver em variados ambientes, inclusive em locais não favoráveis com ocorrência de déficit hídrico, elas precisaram desenvolver mecanismos para manterem crescimento e reprodução em locais e/ou períodos desfavoráveis.

O déficit hídrico afeta as plantas de diferentes maneiras, e é uma das principais causas da redução da produtividade, conseqüentemente ocasionando prejuízos econômicos. As plantas tendem a diminuir a perda de água com o fechamento dos estômatos, diminuindo a transpiração e evitando a redução do potencial hídrico (Ψ_w) (Taiz et al., 2017), visando manter os processos metabólicos. Uma das principais respostas à baixa disponibilidade hídrica é o ajuste osmótico, que está relacionado ao grau de resistência em cada planta. Ocorre acúmulo de solutos compatíveis no vacúolo e/ou citosol das células, para manutenção do equilíbrio hídrico, preservação da integridade celular de membranas, proteínas e enzimas (Abdul Jaleel et al., 2007). No entanto, as respostas fisiológicas variam entre as espécies, cultivares, condições edafoclimáticas, entre outros aspectos.

CARACTERÍSTICAS DAS FRUTÍFERAS NO BRASIL

Em geral, as espécies frutíferas são classificadas considerando-se a aptidão climática em: tropicais, subtropicais e temperadas. Especificamente, as frutíferas tropicais são aquelas provenientes das zonas tropicais do planeta, apresentando-se sempre cobertas de vegetação. Atualmente, em virtude dos avanços tecnológicos na engenharia genética de plantas frutíferas tropicais e de clima temperado, os espaços para cultivo estão ficando cada vez mais abrangentes, independente das condições edafoclimáticas (Pereira; Kavati, 2011).

Dentre as frutíferas de clima tropical cultivadas no Brasil podemos citar a aceroleira (*Malpighia glabra* L.), bananeira (*Musa spp.*), abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill), mamoeiro (*Carica papaya* L.), cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), coqueiro da Bahia (*Cocos nucifera* L.), mangueira (*Mangifera indica* L.) e maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), e o cultivo dessas frutas se estende por todas as regiões do Brasil.

Ao longo dos anos, avanços quanto às técnicas e variedades melhoradas têm sido empregados. Por exemplo, na cultura do maracujazeiro, abacaxizeiro e mamoeiro, o melhoramento genético tem contribuído em sementes de alta qualidade, maior produtividade, facilitando seu cultivo e agregando valor tanto no Brasil quanto no mercado exterior (Meletti et al., 2011).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A PRODUÇÃO VEGETAL

Uma das preocupações em comum entre a maioria dos países nas últimas décadas são as mudanças observadas no clima e suas implicações na produção vegetal. Observou-se ao longo dos anos que espécies apresentam respostas quanto às mudanças no clima, tal como a alteração de sua distribuição geográfica, extinguindo-se em locais que passam a ter climas inóspitos, e reproduzindo-se em áreas com clima favorável, entretanto a influência de alterações climáticas constitui um processo complexo, compreendendo respostas em nível de organismo das plantas como genética, fisiológica e fenológicas (Silva et al., 2018).

Segundo a Política Nacional sobre Mudança do Clima, mudança climática pode ser definida no seu *stricto sensu* como “direta ou indiretamente atribuída a atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some aquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis” (Obermaier; Rosa, 2013). Sendo assim existem políticas a nível nacional que buscam mitigar essas alterações no clima, como reduzir o desmatamento e incentivo à utilização de fontes alternativas no setor de energia.

Um tema bastante discutido quando se refere a mudanças climáticas são os gases de efeito estufa (GEE), chamados assim por reterem e redirecionarem a radiação infravermelha em excesso na superfície terrestre, sendo as atividades de agricultura e pecuária contribuintes para emissão desses gases no Brasil (Besen et al., 2018). Diante do exposto tem-se pensado em formas de mitigação da emissão de tais gases, como por exemplo, o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) proposto em 2010 (Brasil, 2012).

Com a realidade dessas mudanças no clima e suas consequências na sociedade como um todo, medidas de conhecimento e conscientização se fazem necessárias. O conhecimento e adaptação estão correlacionados, sendo assim agricultores que conhecem os efeitos das mudanças climáticas sobre suas atividades agrícolas são os que possuem maior probabilidade de adotar medidas adaptativas, havendo uma necessidade de aumentar o conhecimento dos agricultores com relação às alterações futuras do clima (Carlos et al., 2019).

Assim, a obtenção de informações das respostas fisiológicas e de crescimento de fruteiras em função da baixa disponibilidade hídrica é importante para estabelecer práticas que possam mitigar esse efeito negativo na produtividade, tais como escalas de produção, antecipação de colheita, uso de agentes que retardam os danos metabólicos, melhoramento genético, entre outras, a fim de elevar a produtividade das culturas agrícolas e atender as demandas de mercado.

EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA FISIOLOGIA E CRESCIMENTO DE FRUTEIRAS

Nessa seção serão apresentadas as respostas morfofisiológicas de algumas fruteiras quanto ao déficit hídrico, dentre elas o maracujazeiro, bananeira, mamoeiro, mangueira, melancia, abacateiro e citros (Figura 1 a–g).

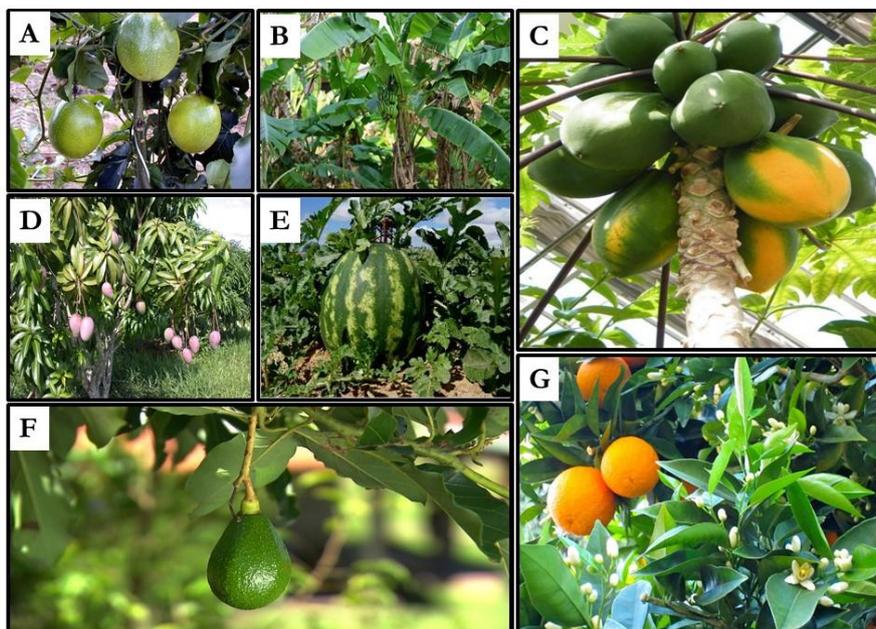


Figura 1. Respostas morfofisiológicas de algumas fruteiras quanto ao déficit hídrico: maracujazeiro (A), bananeira (B), mamoeiro (C), mangueira (D), melancia (E), abacateiro (F) e citros (G). Fonte: Embrapa (adaptado).

MARACUJAZEIRO (*PASSIFLORA EDULIS SIMS*)

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), é uma planta trepadeira pertencente à família Passifloraceae, com frutos muito consumidos no Brasil. Possui uma flor característica que floresce de dezembro a abril, produzindo frutos arredondados, com casca espessa, coloração verde quando imaturos e amarelada quando maduros. As sementes são achatadas, pretas e envolvidas por uma textura gelatinosa. Os frutos podem ser consumidos *in natura*, sucos, polpas congeladas e até mesmo em diversos pratos na gastronomia. A espécie pode ser cultivada em todos os países tropicais, preferindo climas quentes, úmidos, solo fértil e bem drenado (Ullmann, 2002b). O Brasil é o maior produtor mundial de Maracujá, com produção aproximada de 776 mil toneladas (Agrianual, 2015). Outro fruto consumido no país, também pertencente ao gênero *Passiflora*, é o *P. alata* (Dryand.), conhecido como maracujá-doce. Essa espécie produz frutos maiores e polpa adocicada, que permite seu maior consumo *in natura*.

O déficit hídrico é um dos fatores que pode afetar significativamente o crescimento e produtividade do maracujazeiro, pois reduz a área foliar, e conseqüentemente a taxa fotossintética, além

de promover o aborto dos botões florais, e conseqüentemente queda na produtividade de acordo com a diminuição do potencial hídrico do solo (Menzel; Simpson, 1994). Gomes et al. (2018), ao avaliarem as respostas do maracujazeiro em propagação por sementes (PSR) e por enxertia (PER) sob limitação de água no solo, verificaram que a restrição hídrica reduziu os valores da condutância estomática, o rendimento quântico incidente (Φ_i) e a massa seca da raiz em relação aos respectivos controles mantidos irrigados. Tanto para as PSR e PER, até os valores de -50 kPa de potencial hídrico do solo, houve redução da taxa fotossintética em 50%, sem haver redução do potencial hídrico foliar. Em relação às plantas enxertadas, as plantas propagadas por semente apresentaram maiores valores das medidas biométricas, tanto cultivadas na condição de capacidade de campo, como cultivadas na condição de limitação de água no substrato.

Ao avaliar as respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas de maracujazeiro sob condições de déficit hídrico, Lozano-Montaña et al. (2020), verificaram que as plantas evitam a perda excessiva de água por transpiração em função de ocorrer o fechamento estomático; também ocorreu redução do crescimento e aumenta a atividade da prolina (substância que tem caráter osmoprotetor, que atua na estabilização das proteínas e proteção de membranas contra os efeitos das espécies reativas de oxigênio (EROs), - Taiz et al., 2017) e teores de açúcares, ao mesmo tempo que promove o crescimento do sistema radicular.

BANANEIRA (*MUSA SPP.*)

A bananeira (*Musa spp.*) é uma das mais antigas frutas cultivadas pelo homem, e são classificadas como monocotiledônea da família da Musaceae (Santos et al., 2018). O Brasil é o sexto maior produtor mundial, com aproximadamente 116 milhões de toneladas de produção anual em 2019 (FAO, 2020). São plantas grandes, herbáceas e perenes que se desenvolvem em áreas tropicais e subtropicais. É propagada vegetativamente por mudas geralmente micropropagadas ou brotos (rizomas) (Souza, 2002). O gênero possui diversas espécies comestíveis e não-comestíveis, sendo 10 espécies produzidas em larga escala para consumo (Jenny et al., 1999). Os frutos são ricos em fibras, potássio e carboidratos, ajuda na prevenção de câimbras e aumenta a saciedade (Cerquetani, 2020a).

Ramos et al. (2019) avaliaram as respostas da fluorescência da clorofila-a e processos fotoquímicos no fotossistema II em mudas de duas cultivares de bananeira (Pacovan-Ken; Fhia-18) em vasos plásticos de 20 L submetidas a três regimes hídricos baseando na capacidade de campo (CC) do solo: 0%, 67% e 100% CC durante sete semanas. Os autores verificaram aumento da fluorescência inicial (F_0) e redução da fluorescência máxima (F_m) bem como da eficiência quântica fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m) nas plantas cultivadas sob 0% CC ao longo do período de avaliação, especialmente na cultivar Fhia-18, demonstrando que algumas cultivares são mais tolerantes e outras não aos fatores abióticos, aqui representado pela baixa disponibilidade hídrica.

A resposta de tolerância à seca depende do genótipo, e entre as variedades tolerantes mais estudadas, sabe-se que essas possuem a capacidade de superexpressão gênica relacionadas à resistência. Como resposta de defesa, mantêm o equilíbrio osmótico e eliminam radicais livres. Além disso, apresentam maiores teores de água, níveis de clorofila, condutância estomática e matéria seca de raízes, quando comparadas às plantas suscetíveis (Santos et al., 2018).

MAMOEIRO (*CARICA PAPAYA* L.)

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), Caricaceae, é uma planta grande, de vida curta que pode crescer até 10 metros de altura, com folhas que emergem da parte superior do caule não ramificado. Após o período juvenil, com duração de 2 meses, as flores começam a se desenvolver nas axilas das folhas. A floração pode continuar durante o ano todo, de acordo com a surgimento de novas folhas. As plantas começam a dar frutos um ano após o plantio (Carr, 2014). Seus frutos estão entre os mais consumidos nas regiões tropicais e subtropicais, são ricos em cálcio, vitamina A e vitamina C, e são amplamente utilizados em dietas alimentares (Serrano; Catanneo, 2011).

Ao avaliar o mamoeiro sob déficit hídrico moderado, Vicent et al. (2018), descreveram que a limitação de água melhora nas respostas da planta à alta intensidade luminosa nos períodos de transição de mudas da meia-sombra para o sol pleno. A deficiência de água reduziu a intensidade e a duração da fotoinibição, aumentou a área foliar, aumentou o tamanho e a densidade estomática e colaborou para uma maior eficiência de transferência de elétrons da plastoquinona através do fotossistema II. Entretanto, Mahouachi (2006), ao avaliar as respostas do mamoeiro sob condições de déficit hídrico severo, encontraram que a seca interrompeu o crescimento da planta, induziu a abscisão das folhas e diminuiu drasticamente a taxa fotossintética. O déficit hídrico também induziu o acúmulo de sódio, potássio e cloreto nas folhas e raízes, não alterando os níveis de nitrogênio em ambos os órgãos.

MANGUEIRA (*MANGIFERA INDICA* L.)

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas tropicais mais consumidas no Brasil e no mundo. Originária do sudeste asiático, adaptou-se muito bem ao clima tropical e subtropical brasileiro (Carvalho et al., 2004). Pertencente à família Anacardiaceae, é uma árvore perene com altura média de cinco metros. O fruto é uma drupa de forma variável, constituído de casca (epicarpo), polpa grossa (mesocarpo) e um caroço (endocarpo) com uma única semente (Ullmann, 2002a).

Com a limitação de água em regiões semi-áridas, como no nordeste do Brasil, é necessário o uso da irrigação de forma eficiente, evitando o desperdício com a quantidade adequada de água no solo, para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Santos et al. (2016), avaliando estratégias de irrigação para

a cultivar “Tommy Atkins”, encontraram que a restrição da irrigação aos 15 dias diminuiu a fotossíntese, eficiência de carboxilação e eficiência quântica da fotossíntese sob 40% da evapotranspiração da cultura (ETc). Entretanto, a restrição hídrica com 50 e 75% de ETc, mostrou-se benéfica nas fases de expansão e amadurecimento dos frutos, não havendo perda de rendimento da safra de “Tommy Atkins”.

O aumento do estresse hídrico reduziu os parâmetros fisiológicos de mudas de porta-enxerto de mangueira. Luhava et al. (2011) avaliando quatro regimes de regas diferentes (regas diárias, 2 vezes por semana, 1 vez por semana e 1 vez a cada duas semanas), observaram redução das trocas gasosas e aumento dos níveis de clorofila nas folhas nas mudas cultivadas sob regas mais espaçadas, uma vez que os valores do pigmento podem estar associados com a desidratação, mesmo reduzindo a taxa transpiratória (Figura 2).

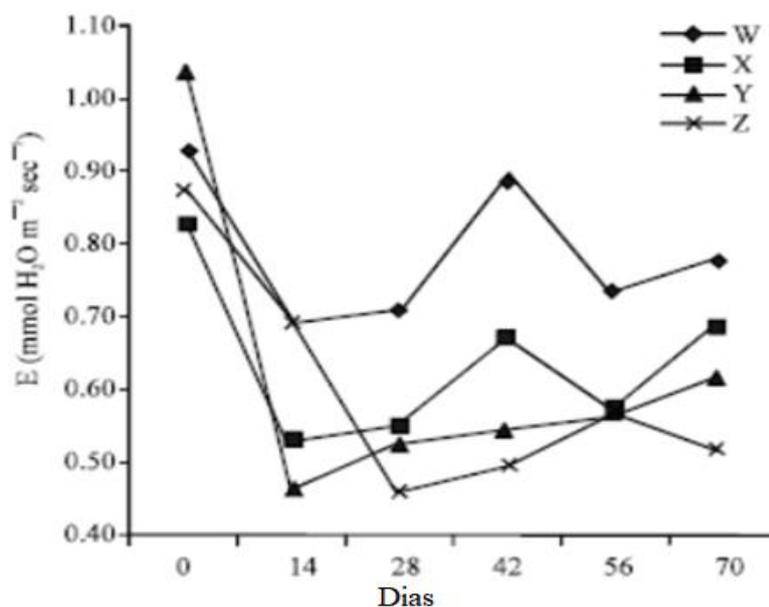


Figura 2. Efeito do estresse hídrico na taxa de transpiração (E) em mudas de porta-enxertos de manga. Sendo: W - regas diárias; X- 2 vezes por semana; Y- 1 vez por semana; e Z – 1 vez a cada 2 semanas. Fonte: Luvaha et al. (2011).

ABACATEIRO (*PERSEA AMERICANA* MILL.)

Originária do continente americano, o abacateiro (*Persea americana* Mill.), pertencente à família Lauraceae, é uma planta de porte médio a elevado, podendo atingir até 20 metros de altura. O fruto é uma drupa com casca grossa, mesocarpo carnoso (comestível), com apenas uma semente. A propagação pode ser realizada com sementes e porta-enxerto, sendo as plantas originadas a partir de sementes podem atingir maior altura (Borges; Melo, 2020). No ano de 2017, o Brasil produziu 213 mil t de abacate, no qual 97% da produção foi consumida pelo mercado interno (Baptistella, 2019).

O abacate é uma espécie frutífera altamente suscetível ao déficit hídrico, que torna o manejo da irrigação um trabalho difícil para os produtores. Uma irrigação inadequada pode causar redução no

crescimento, perda de frutos e danos ao sistema radicular. Cantuarias-Avilés et al. (2019), ao avaliar irrigação suplementar em períodos de seca na cultura do acabacateiro, encontraram que a irrigação contribuiu para um acréscimo de 18% no peso dos frutos em relação aos produzidos em solo sem irrigação. O déficit hídrico durante os estágios críticos da floração, também têm sido associados a distúrbios nos frutos, entretanto o crescimento reprodutivo ainda é muito mais resistente ao estresse hídrico do que o crescimento vegetativo. O fechamento estomático é um indicador precoce de estresse hídrico, que junto com as alterações associadas na anatomia foliar, restringe a difusão de CO₂ (Carr, 2013).

CITROS

O Citros (*Citrus* spp.) é uma grupo botânico pertencente à família Rutaceae que possui diversas espécies dentro do seu gênero. Pertencem à ela a laranja, limão, pomelo, lima, tangerina e a lima ácida, todas com poucas variações morfológicas de uma espécie para outra, tendo variações apenas nos frutos. O Brasil é o maior produtor mundial de citros e maior exportador de suco concentrado e congelado de laranja. É uma cultura tipicamente tropical, de origem asiática e foram introduzidas no Brasil durante a colonização. A rápida disseminação no país se deu devido às condições climáticas que permitiram que as plantas vegetassem e produzissem de forma exuberante (Sant'anna, 2009).

Assim que a citricultura alcançou a expressão comercial, viu-se a necessidade de novos tratamentos culturais na tentativa de combater pragas e doenças. Uma das alternativas encontradas foi o uso de enxertos, com combinação de espécies que aumentam a imunidade da planta, e ajuda no combate às pragas e doenças. O limoeiro cravo (*Citrus x limonia* Osbeck) é o porta-enxerto mais utilizado hoje em dia na citricultura, devido à sua resistência à tristeza e a seca. A história da citricultura mostra a importância da diversificação na utilização de porta-enxertos e de variedades melhoradas visando à tolerância e/ou resistência aos estresses bióticos e abióticos (Girardi, 2008).

Taiz et al. (2017), descrevem que as estratégias da planta na tentativa de tolerar o estresse hídrico são variadas, como a perda de folhas, diminuição da área foliar, reduzindo a transpiração e ajustamento osmótico para manutenções do turgor celular. Sant'anna (2009), ao avaliar os aspectos fisiológicos de variedades de citros (laranjeira 'Azeda Jacarandá', limoeiros "Cravo Santa Cruz" e "Volkameriano", e tangerinas "Cleópatra", "Sunki da Flórida" e "Sunki Tropical"), submetidas ao déficit hídrico, observou que o conteúdo relativo de água e as trocas gasosas em todas as variedades testadas apresentaram decréscimo no período de déficit hídrico e lenta recuperação com a reirrigação, diferentemente do teor de clorofila *a*, *b* e total que mantiveram-se estáveis durante todo o experimento, não sofrendo interferência da deficiência hídrica. O limoeiro 'Cravo Santa Cruz' aparentemente apresenta mecanismo que lhe permite maior 'status' hídrico, mesmo em situação não limitante de água. As variedades demonstram ser bem

adaptadas à situação de seca, podendo ser utilizadas como porta-enxertos cítricos em regiões submetidas à deficiência hídrica.

MELANCIA (*CITRULLUS LANATUS* THUNB.)

A melancia (*Citrullus lanatus* Thunb.), é um fruto de origem africana, tipicamente encontrada em países tropicais como o Brasil e Índia. É a segunda fruta mais consumida do planeta, ficando atrás apenas da banana. Da mesma família do melão e das abóboras, é facilmente confundida como hortaliça, entretanto sua classificação botânica é frutífera. A melancia é uma planta anual, herbácea, de hábito de crescimento rasteiro, com ramificações sarmentosas e pubescentes. O caule é constituído de ramos primários e secundários, pertencente à família Curcubitaceae. Os frutos possuem os mais diversos tamanhos, com variação de 1 a 30 kg, com coloração e formato diverso. A polpa é vermelha e formada por tecido placentar, que é a principal parte comestível do fruto (Silva, 2004). A melancia é fonte de vitamina A e das vitaminas C e do complexo B, além de sais minerais como cálcio, fósforo e ferro. Composta por 90% de água, é diurética, elimina resíduos do aparelho digestivo e funciona como laxante (Cerquetani, 2020b).

A restrição hídrica não afetou o número de frutos por planta e nem o peso dos frutos, segundo a pesquisa de Azeredo et al. (2015) (Tabela 1). Estes resultados se assemelham aos apresentados por Ribeiro (2015), que avaliou as respostas produtivas de sete genótipos de melancia-forrageira (*Citrullus lanatus* var citroides) submetidos à restrição hídrica e também não observaram efeito do menor aporte de água sobre o número de frutos, peso médio dos frutos, produção por planta e teor de matéria seca dos frutos.

Tabela 1. Respostas produtivas de melancia-forrageira (*Citrullus lanatus* var citroides) submetida a diferentes lâminas de irrigação, no ano de 2016 em Petrolina, PE.

Variável	Lâminas de irrigação (% da ETc)				P	C.V. (%)	ER	R ²
	100	75	50	25				
PMF, kg de MV	3,07	2,87	2,91	3,42	0,62	44,86	Y= 3,07	---
PMF, kg de MS	0,21	0,19	0,23	0,23	0,45	43,32	Y= 0,22	---
Frutos por planta	1,75	1,87	1,62	2,50	0,11	39,32	Y= 1,93	---
PP, kg de MV	5,52	5,82	4,85	7,40	0,32	49,58	Y= 5,90	---
Produtividade, kg de MV/ha	18,46	19,41	16,18	24,68	0,32	49,58	Y= 16,67	---
Produtividade, kg de MS/ha	1,28	1,29	1,29	1,72	0,24	49,66	Y= 1,40	---
Água nos frutos, kg/ha	17,11	18,12	14,89	22,95	0,32	49,59	Y= 18,29	---

PMF= peso médio de frutos; PP= produção por planta; MV= matéria verde; MS= matéria seca; ETc= evapotranspiração da cultura; P= probabilidade; C.V.= coeficiente de variação; ER= equação de regressão; R²= coeficiente de determinação. Fonte: Adaptado de Azeredo et al. (2015)

Entretanto, a germinação de sementes de melancia é extremamente sensível à restrição hídrica. Botha et al. (1984), constataram que diminuição de 13,6% no teor total de água é o suficiente para completa inibição da germinação das sementes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de frutíferas de clima tropical e temperado tem crescido no Brasil e no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial de frutas. A atividade tem grande importância social, rendendo 5,6 milhões de empregos diretos, desde o pequeno ao grande produtor.

O déficit hídrico é um fator que pode ser promovido pelas mudanças climáticas, e encontrar formas superar esse processo é mais um desafio para os produtores e pesquisadores.

A redução acentuada da disponibilidade hídrica no solo implica em alteração nos processos fisiológicos e crescimento na maioria das espécies frutíferas, sendo necessários novos estudos para investigar maneiras de mitigar os efeitos deletérios promovidos pelo estresse abiótico.

O avanço da biotecnologia utilizadas para benefício da agricultura está permitindo o cultivo de diversas espécies em áreas de todo Brasil, independente das condições edafoclimáticas. Entretanto, é necessário permanecer atento devido às mudanças climáticas que podem acarretar perda para o agronegócio direta e indiretamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul Jaleel C, Manivannan P, Kishorekumar A, Sankar B, Gopi R, Somasundaram R, Panneerselvam R (2007). Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59: 150-157.
- Abrafrutas (2019). *Fruticultura - Setor em expansão*. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2018/08/14/fruticultura-setor-em-expansao/>>/ Acesso em: 24 out. 2020.
- Agrianual (2015). *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo, Instituto AgraFNP. 344p.
- Azeredo AB, Silva VM, Matias LG da S, Campos FS, Simões WL (2017). *Anais da II Jornada de Integração da Pós-Graduação da Embrapa Semiárido*. p. 277-282.
- Baptistella C da SL, Coelho PJ (2019). O abacate no estado de São Paulo. 2018-2019. *Instituto de Economia agrícola*. Disponível em: [http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14581#:~:text=O%20valor%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20gerado,4%25%20\(Figura%202\)](http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14581#:~:text=O%20valor%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20gerado,4%25%20(Figura%202).). / Acesso em: 29 out. 2020.
- Besen MR, Ribeiro RH, Monteiro ANTR, Iwasaki GS, Piva JT (2018). Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. *Revista Scientia Agropecuária*, 9(3): 429-439.

- Borges MHC, Melo B. Cultura do abacateiro. *Fruticultura.iacg*. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/abacate.html> / Acesso em: 29 out. 2020.
- Botha FC, Grobbelaar N, Small JGC (1984). The effect of water stress on the germination of
- Brasil (2012). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). MAPA/ACS. Brasília. 173 p.
- Cantuarias-Avilés T, Silva SR da, Angolini SF, Brogio B do A, Baptista EG, Micheletti LB (2019). Water status and productivity of 'Hass' avocado trees in response to supplemental irrigation during winter. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54: 1-7.
- Carlos SM, Cunha DA, Pires MV (2019). Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(3): 455-471.
- Carr MKV (2013) Water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* mill.): a review. *Experimental Agriculture*, 49(2): 256-278.
- Carr MKV (2014) The water relations and irrigation requirements of papaya (*Carica papaya* L.). *Experimental Agriculture*. 50(2): 270–283.
- Carvalho CRL, Rossetto CJ, Mantovani DMB, Morgano MA, Castro JV de, Bortoletto N (2004). Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparadas a outras de importância comercial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2): 264-271.
- Cerquetani S (2020a). “Yes, nós temos bananas”: fruta contribui para saúde do coração e saciedade. *Viva Bem*. Disponível em: <https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2020/09/16/yes-nos-temos-bananas-fruta-contribui-para-saude-do-coracao-e-saciedade.htm> Acesso em: 29 out. 2020.
- Cerquetani S (2020b). Melancia é aliada da saúde e da visão: veja 7 benefícios da fruta. *Viva Bem*. Disponível em: <https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2020/07/27/melancia-e-aliada-da-saude-da-visao-veja-7-beneficios-da-fruta.htm> / Acesso em: 29 out. 2020.
- Citrullus lanatus* seeds. *South African Journal of Botany*, 3(2): 111-114.
- FAO (2020). *Bananas*. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/en/> Acesso em 29 out. 2020.
- Fronza D, Hamann JJ (2015). *Frutíferas de clima tropical e subtropical*. Santa Maria: [s. n.]. 115 p.
- Gerun AFA de A, Santos GS, Santana M do A, Souza J da S, Cardoso CEL (2019). *Fruticultura Tropical: Potenciais riscos e seus impactos*. Cruz das Almas, BA, 28 p.
- Girardi, EA (2008). *Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica*. Dissertação (Agronomia: Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 176 p.

- Gomes MMA, Ramos MJM, Netto AT, Rosa RCC, Campostrini E (2018). Water relations, photosynthetic capacity, and growth in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.): seedlings and grafted plants. *Revista Ceres*, 65(2): 135-143.
- Jenny CH, Carreel F, Tomekpe K, Perrier X, Dubois C, Horry JP, Montcel HT (1999). Les bananiers. *Diversité génétique des plantes tropicales cultivées*. CIRAD, Montpellier, France.
- Lozano-Montaña PA, Sarmiento F, Mejía-Sequera LM, Alvarez-Florez F, Melgarejo LM (2020). Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* under progressive drought stress. *Scientia Horticulturae*, 275(3): 1-10.
- Luvaha E, Netondo GW, Ouma, G (2011). Effect of water deficit on the growth, gas exchange and chlorophyll content of mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. *Acta horticulture*, 911: 375-382.
- Mahouachi J, Socorro AR, Talon M (2006). Responses of Papaya Seedlings (*Carica papaya* L.) to Water Stress and Re-Hydration: Growth, Photosynthesis and Mineral Nutrient Imbalance. *Plant Soil*, 281: 137–146.
- Melletti LMM, Sampaio AC, Ruggieiro C (2011). Avanços na fruticultura tropical no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Volume especial: 073-075.
- Menzel CM, Simpson DR, Dowling AJ (1986) Water relations in passionfruit: effect of moisture stress on growth, flowering and nutrient uptake. *Scientia Horticulturae*, 29: 239-249.
- Obermaier M, Rosa LP (2013). Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. *Estudos avançados*, 27(78): 153-176.
- Oliveira GP (2019). Comércio de frutas tropicais deve crescer. *HF Brasil*. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruiti-cepea-comercio-de-frutas-tropicais-deve-crescer.aspx>>/ Acesso em: 23 out. 2020.
- Pereira FM, Kavati R (2011). Contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Volume especial: 092-108.
- Ramos LM, Meneses PI, Reis FO, Silva BV, Reis IS (2019). Ecophysiology of banana seedlings grown in different water regimes. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2): 440-447.
- Ribeiro IA. *Características produtivas e de tolerância ao déficit hídrico de genótipos de melancia-forrageira*. (2015). Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 57 p.
- Sant'anna de HLS (2009). *Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva*. Dissertação (Ciências Agrárias: Fitotecnia), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 84p.
- Santos AS, Amorim EP, Ferreira CF, Pirovani CP (2018) Water stress in *Musa* spp.: A systematic review. *PLoS ONE*, 13(12): 1-17.

- Santos MR, Donato SRL, Faria LN, Coelho EF, Cotrim Júnior PRF (2016). Irrigation strategies with water deficit in ‘Tommy Atkins’ mango tree. *Engenharia Agrícola*, 36(6): 1096-1109.
- Serrano LAL, Cataneo LF (2011). O cultivo do mamoeiro no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 32(3): 657-959.
- Silva MAF, Higuchi P, Silva AC (2018). Impacto de mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica potencial de *Ilex paraguariensis*. *Rodriguésia*, 64(4): 2069-2079.
- Silva ML (2004). *Caracterização morfológica e molecular de acessos de melancia (Citrullus lanatus Thunb.)*, Dissertação (Mestrado em Genética), Universidade Federal de Pernambuco. 72 p.
- Souza SACD (2002). *Avaliação de variabilidade genética em Musa spp. utilizando marcadores microsatélites*. Tese (Agronomia: genética e melhoramento de plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 99 p.
- Taiz L, Zeiger E, Moller I, Murphy A (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p.
- Ullmann S (2002a) *Manga: características botânicas*. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/mpfruta/mpfruta.htm>> / Acesso em: 29 out. 2020.
- Ullmann S (2002b) *Maracujá: características botânicas*. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/mpfruta/mpfruta.htm>> / Acesso em: 29 out. 2020.
- Vincent C, Schaffer B, Rowland D (2018). Water-deficit priming of papaya reduces high-light stress through oxidation avoidance rather than anti-oxidant activity. *Environmental and Experimental Botany*, 156: 106-119.

Respostas fisiológicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidas a toxicidade do alumínio na presença de silício e selênio

 10.46420/9786588319314cap2

Jéssica Patrícia Oliveira De Mattos¹ 

Jover da Silva Alves¹ 

Victória Martini Sasso¹ 

Géssica Rossato da Silva¹ 

Gerane Silva Wertonge de Oliveira¹ 

Daniele Bernardy¹ 

Mirian Berger¹ 

Luciane Almeri Tabaldi^{1*} 

INTRODUÇÃO

A toxicidade do alumínio (Al^{3+}) reduz o rendimento das culturas em solos ácidos. Em valores de pH abaixo de 5,5, íons Al^{3+} são dissolvidos a partir de minerais de argila e se tornam tóxicos às raízes das plantas. O primeiro sintoma ocasionado pela fitotoxicidade do Al é a inibição no crescimento da raiz, a qual ocasiona deficiências na absorção de água e nutrientes, sendo este um dos principais sintomas que desencadeia redução no rendimento das culturas afetadas pelo Al (Kochian et al., 2015; Pereira; Ryan, 2018; Singh et al., 2017). Além disso, o Al pode se ligar a proteínas e lipídios, causando a despolarização da membrana, dessa forma afetando o transporte de íons e processos celulares (Bose et al., 2011). Também interfere no DNA aumentando a rigidez da dupla hélice e reduzindo a replicação (Famoso et al., 2010; Achary; Panda, 2009; Kochian et al., 2004; McKenna et al., 2016).

Pesquisas vêm apontando a eficácia da aplicação dos elementos silício (Si) e selênio (Se) na atenuação dos danos causados por elementos fitotóxicos (Dorneles et al., 2016; Hu et al., 2014). Estudos realizados com Si demonstram o seu potencial em remediar diferentes estresses, tais como salinidade e seca, além da capacidade de aumentar a tolerância das plantas através da obstrução apoplástica formada pela deposição de Si (Fauteux et al., 2005; Coskun et al., 2019). Em baixas concentrações teciduais, o Se promove o crescimento e a produtividade das plantas, podendo agir como um antioxidante e diminuindo a acumulação de metais (Kumar et al., 2012; Duan et al., 2013; Schiavon et al., 2017; Halim et al., 2017).

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria, RS.

*Autor de correspondência: lutabaldi@yahoo.com.br.

Muitas plantas lenhosas nativas de solos ácidos apresentam mecanismos para tolerar as condições oferecidas por estes solos, tais como o alto teor de Al^{3+} . A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi é uma árvore nativa da América do Sul, comumente denominada como aroeira, aroeira-vermelha e aroeira-da-praia. É uma espécie que apresenta potencial madeireiro e é recomendada para recomposição de áreas degradadas. *Schinus terebinthifolius* se desenvolve especialmente em solos úmidos e orgânicos, mas cresce em qualquer tipo de solo. É capaz de suportar inundações, incêndios e secas, demonstrando uma eficiente tolerância a diferentes tipos de estresses (Lenzi; Orth, 2004). Acredita-se que *S. terebinthifolius* possa apresentar tolerância ao Al, uma vez que é possível observar a ocorrência natural dessa espécie nesses solos ácidos. No entanto, até o momento não foram encontrados registros científicos comprovando ou refutando a hipótese de que esta espécie seja tolerante ao Al^{3+} .

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a resistência ao Al e avaliar o efeito do Si e do Se em amenizar a toxicidade do Al sobre variáveis fisiológicas em plantas de *S. terebinthifolius* sob condições de cultivo hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na casa de vegetação e nos Laboratórios de Bioquímica de Plantas do Departamento de Biologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Sementes de *Schinus terebinthifolius* provenientes do Centro de Pesquisas em Florestas – DDPA de Santa Maria, RS, foram semeadas em bandejas plásticas pretas de 38 cm x 56 cm, contendo substrato H.DeckerR Florestal, sendo irrigadas a cada três dias com solução nutritiva completa, em pH de $4,5 \pm 0,1$. A solução nutritiva teve a seguinte composição (em μM): 6090,5 de N; 974,3 de Mg; 4986,76 de Cl; 2679,2 de K; 2436,2 de Ca; 359,9 de S; 243,592 de P; 0,47 de Cu; 2,00 de Mn; 1,99 de Zn; 0,17 de Ni; 24,97 de B; 0,52 de Mo; 47,99 de Fe ($FeSO_4/Na-EDTA$).

Após a germinação e crescimento inicial das mudas, num período de aproximadamente 30 dias, plantas homogêneas, com cerca de 10 cm de altura foram transferidas para sistema hidropônico. As plantas foram fixadas por meio de esponjas em placas de poliestireno (isopor) contendo furos, em bandejas plásticas contendo 17 L de solução nutritiva completa como descrito acima. O pH desta solução foi ajustado diariamente ($4,5 \pm 0,1$) com uma solução de HCl ou NaOH (1 M). Cada bandeja suportou 15 plantas. Após cinco dias de aclimação nesse sistema conforme método de Bandinelli et al. (2013), foi aferido o comprimento da raiz principal (comprimento inicial) de todas as plantas utilizando-se régua graduada em milímetros e então as plantas foram transferidas para uma nova solução nutritiva contendo os tratamentos.

Cultivo hidropônico em diferentes concentrações de Al, Si e Se

Plantas de *S. terebinthifolius* provenientes do sistema de aclimatização descrito acima foram transferidas para bandejas plásticas (17 L) contendo solução nutritiva [todos os nutrientes foram fornecidos como descrito acima, exceto o fósforo (P), o qual foi adicionado à solução na concentração de 50µM, com o objetivo de fornecer P para as plantas e ao mesmo tempo evitar interações físico-químicas com o Al (Gessa et al., 2005)]. Os tratamentos foram aplicados nessa solução, os quais consistiram nas seguintes combinações (Al, Si e Se em mM): Tratamento 1: 0 Al + 0 Se e Si; Tratamento 2: 2,5 Si; Tratamento 3: 0 Al + 0,0025 Se; Tratamento 4: 1,85 Al + 0 Se e Si; Tratamento 5: 1,85Al + 2,5 Si; Tratamento 6: 1,85 Al + 0,0025 Se; Tratamento 7: 3,71Al + 0 Se e Si; Tratamento 8: 3,71Al + 2,5 Si; Tratamento 9: 3,71 Al + 0,0025 Se. As concentrações de Al, Si e Se foram definidas a partir de experimentos prévios realizados pelo grupo de pesquisa (Dorneles et al., 2016; Pereira et al., 2018; Tabaldi et al., 2007, 2009). Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento e 5 plantas por repetição. A solução nutritiva foi trocada a cada sete dias, sendo o pH da solução ajustado diariamente ($4,5 \pm 0,1$) com uma solução de HCl ou NaOH (1 M).

Variáveis avaliadas após a coleta

Após 21 dias de exposição ao Al, Si e Se, raízes e parte aérea de plantas de *S. terebinthifolius* foram coletadas para determinação das seguintes variáveis:

- Comprimento da raiz principal (comprimento final) e altura de plantas: determinada com régua graduada em milímetros. Com os valores de comprimento inicial e final, foi possível determinar a taxa de crescimento relativo da raiz principal;
- Comprimento, área superficial, volume de raízes e área foliar: determinado através de scanner Epson 11000XL, no qual as raízes e folhas foram digitalizadas e analisadas pelo software WinRHIZO Pro;
- Biomassa seca de raízes e de parte aérea: as amostras foram colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa à 65°C até atingir peso constante para determinação da biomassa seca;
- Relação matéria seca da parte aérea/matéria seca radicular (MSPA/MSR), através da razão entre a MSPA e a MSR.

Análise estatística dos dados

Foram verificadas a normalidade da distribuição dos erros através do teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias dos erros através do teste de Bartlett (Storck et al., 2011) para todas as variáveis do experimento. Quando atendidos estes pressupostos, procedeu-se a análise de variância e teste de Scott-Knott para os tratamentos em 5% de probabilidade de erro, utilizando o aplicativo Sisvar (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença isolada de silício (Si) ou selênio (Se) no meio de crescimento não diferiu do controle quanto ao comprimento de raiz principal (Figura 1a). A adição de Al ocasionou reduções severas do comprimento da raiz principal em relação ao controle. No entanto, a presença de Si, juntamente com a menor concentração de Al (1,85 mM, T5) mitigou os efeitos negativos do Al. A adição de Se, em ambas as concentrações de Al, não amenizou os efeitos negativos do Al.

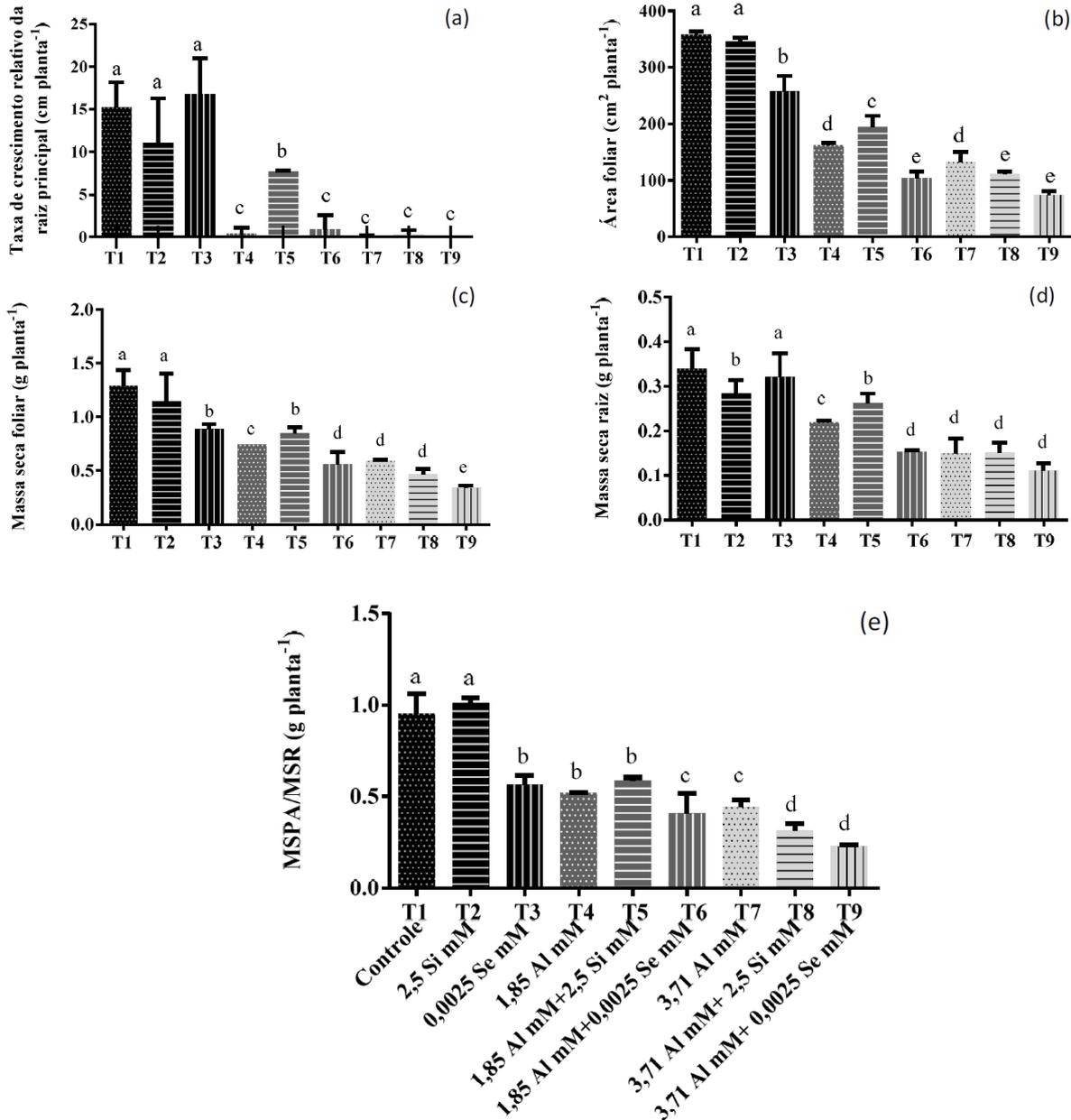


Figura 1. Efeito da adição do Al, Si e Se no comprimento da raiz principal (cm) (a), área foliar (cm²) (b), massa seca foliar (c) e massa seca de raízes (d) e relação matéria seca da parte aérea/matéria seca radicular (e) de plantas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em sistema hidropônico. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste Scott-Knott. Fonte: Os autores.

Para área foliar e massa seca foliar, o Si de forma isolada não diferiu do controle, no entanto, o Se isoladamente ocasionou uma pequena redução (Figura 1b e 1c). O Al, em ambas as concentrações, provocou redução da área foliar e massa seca foliar. A presença do Si reduziu os efeitos tóxicos do Al na concentração de 1,85 mM e o Se não mitigou o efeito tóxico do Al.

Para massa seca de raízes, o Si de forma isolada provocou redução enquanto a adição isolada de Se provocou a mesma resposta do controle (Figura 1d). O Al ocasionou redução nesta variável, a qual ficou significativamente mais evidente com o aumento da concentração. O Si mitigou os danos de Al na concentração de 1,85 mM de Al, enquanto Se não amenizou os prejuízos causados por Al.

Para relação de massa seca de parte aérea e radicular, a adição isolada de Si apresentou a mesma resposta do controle, enquanto Se isoladamente provocou redução nesta variável (Figura 1e). Si e Se não mitigaram os danos ocasionados pelo Al na relação de massa seca de parte aérea e radicular.

A presença de Al reduziu o comprimento radicular (Figura 2a) e a adição isolada de Se aumentou o comprimento total das raízes quando comparado ao controle. A presença de Si junto a menor concentração de Al (1,85 mM) reduziu o efeito tóxico do Al. Por outro lado, a presença de Se não mitigou o efeito tóxico do Al no comprimento das raízes.

O Al ocasionou redução para área superficial e volume de raízes (Figura 2b e 2c). A presença de Si isoladamente provocou uma pequena redução comparando-se ao controle, mas mitigou os efeitos tóxicos em ambas as concentrações de Al, enquanto o Se não aumentou a área superficial e o volume radicular.

Para o diâmetro de raízes, o Al provocou decréscimos significativos que ficaram mais evidentes com o aumento da concentração (Figura 2d). O Si de forma isolada reduziu o diâmetro das raízes, porém na presença de 1,85 mM de Al, a adição de Si causou um aumento no diâmetro. O Se de forma isolada causou uma pequena redução, em relação ao controle, e juntamente com o Al não foi benéfico.

Através dos resultados obtidos observa-se que o Al afetou gravemente o desenvolvimento de plantas de *Schinus terebinthifolius*, provocando decréscimo em todas as variáveis avaliadas para raiz e parte aérea. As respostas ocasionadas na raiz são os principais sintomas provocados pelo Al, visto que o sistema radicular é o primeiro órgão a entrar em contato com o elemento. O Al apresenta uma grande afinidade pela parede celular dos ápices radiculares, devido as cargas negativas contidas nos polissacarídeos pectínicos e hemicelulósicos (Horst et al., 2010; Yang et al., 2011; Zhu et al., 2012). À medida que o Al se liga a essas cargas, ele enrijece as paredes celulares e diminui o afrouxamento necessário para o alongamento da célula, além de causar diminuição na deposição da parede celular (Kopittke et al., 2015; McKenna et al., 2016).

Desta forma, a interação do Al com os componentes da parede celular pode ter atuado modificando a estrutura da parede celular, resultando nos decréscimos na taxa de crescimento da raiz

principal, massa seca de raiz, comprimento da raiz principal, área superficial, volume e diâmetro da raiz. Observou-se ainda que o aumento da concentração de Al causou decréscimos mais evidentes e significativos nas raízes quanto as variáveis de massa seca de raiz, área superficial, volume e diâmetro. O decréscimo nas variáveis da raiz pode ser explicado através da afinidade do Al com a parede celular, a diminuição da deposição de parede celular devido a rigidez e a inibição de proteínas da parede celular, como as expansinas (Cosgrove, 2000; Jones et al., 2006).

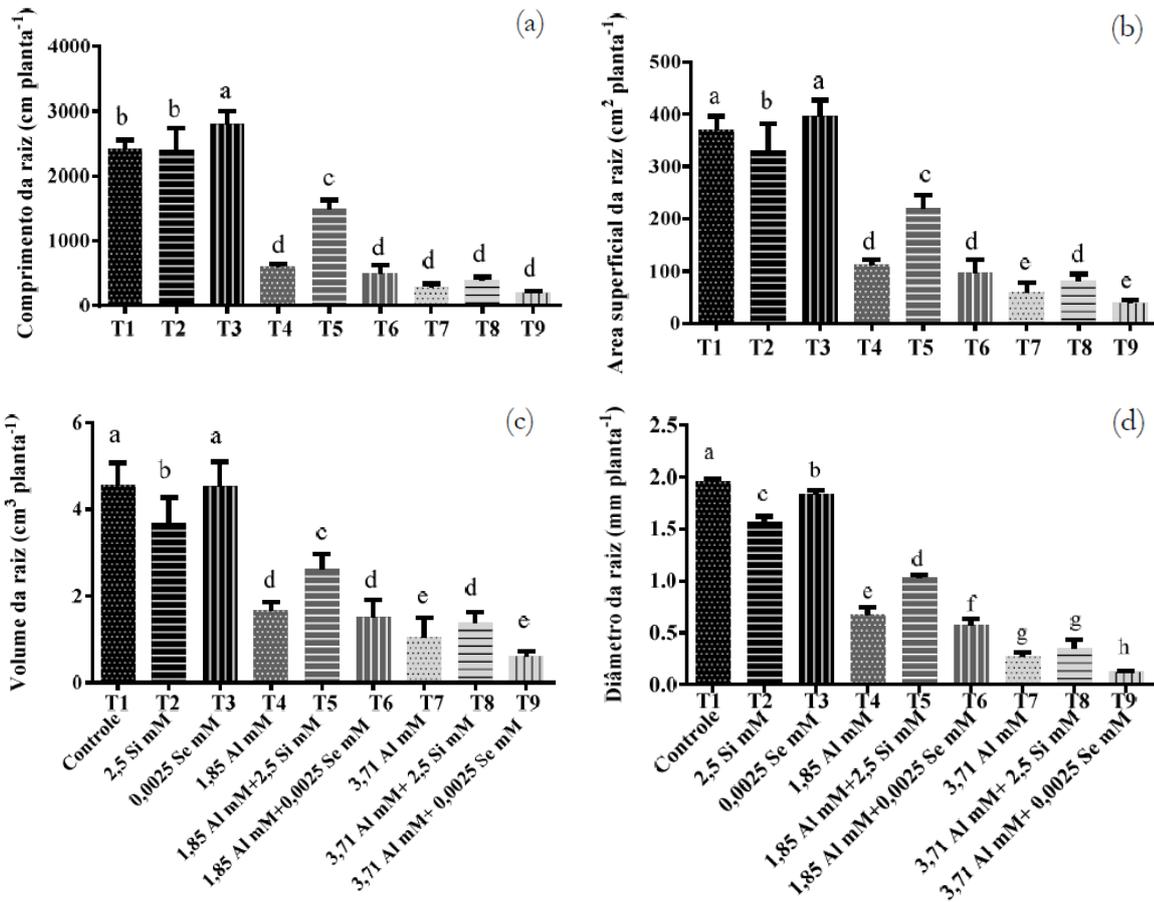


Figura 2. Comprimento da raiz (cm) (a), área superficial de raízes (cm²) (b), volume das raízes (cm³) (c) e diâmetro das raízes (mm) (d) de plantas de *Schinus terebinthifolius* expostas ao alumínio, silício e selênio em sistema hidropônico. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste Scott-Knott. Fonte: Os autores.

O Al não compromete somente a parede celular, pois também interage negativamente com a membrana plasmática, podendo se ligar a proteínas e a lipídios, causando a despolarização da membrana, dessa forma afetando o transporte de íons e processos celulares, perturbando a homeostase celular (Bose et al., 2011). Desequilíbrios nutricionais induzidos pelo Al foram relatados em várias espécies de plantas, os quais demonstram a diminuição da absorção de diferentes cátions, como cálcio, magnésio, potássio e amônio (Sade et al., 2016). Além disso, os prejuízos causados pelo Al podem ser devido a produção de

espécies reativas de oxigênio (ERO), tais como ânion superóxido, radical hidroxil e peróxido de hidrogênio, os quais oxidam os compostos celulares e podem provocar morte celular (Inostroza-Blancheteau et al., 2012; Dabrowska et al., 2007).

Quanto ao silício (Si), aplicado isoladamente, de modo geral, este não promoveu benefícios nas variáveis observadas na raiz e parte aérea. Este comportamento pode estar relacionado com o fato de que os efeitos benéficos do Si nem sempre são verificados em plantas que não estão em condições de estresse (Dann; Muir, 2002; Ma; Yamaji, 2008). O Si de forma isolada ocasionou reduções para as variáveis de massa seca, área superficial, volume e diâmetro de raízes. Ribeiro et al. (2011) verificaram um comportamento semelhante a este, em que o Si ocasionou redução no crescimento radicular de cafeeiro, sem efeitos negativos no desenvolvimento da parte aérea. Várias evidências sugerem que o Si não atua como promovedor do crescimento e atividade metabólica, mas sim na prevenção e mitigação dos estresses sofridos pela planta, o que reflete então em melhorias no crescimento e atividade metabólica. No nível fisiológico, a maioria dos estudos sugere que, na ausência de estresse, a suplementação de Si tem pouco ou nenhum efeito. Existem hipóteses de que o Si atua como um mensageiro secundário, modulando repostas de defesa (Coskun et al., 2019).

Na presença de 1,85 mM de Al, a presença do Si conseguiu mitigar os danos em todas as variáveis de crescimento. Uma hipótese para esta resposta é a formação de complexos hidroxialuminossilicatos nas raízes das plantas de *S. terebinthifolius*, tornando parte do Al indisponível às plantas e, conseqüentemente, reduzindo a translocação do Al, causando benefícios no desenvolvimento da raiz e parte aérea. Esse efeito foi observado somente no tratamento com a menor concentração de Al. Entretanto, para 3,71 mM de Al, ocorreu uma pequena mitigação dos danos apenas para área superficial e volume de raiz, enquanto nas demais variáveis não houve melhorias promovidas pelo Si. Provavelmente, para o Si auxiliar na atenuação dos danos nas maiores concentrações de Al seria necessária uma maior concentração de Si.

Para as variáveis avaliadas na raiz foi possível notar que o Si atuou mitigando os danos causados pelo Al, principalmente na menor concentração de Al. Provavelmente isto está interligado ao fato do Si reforçar a parede celular através da lignificação e suberização, e assim ocasionando uma entrada menor do elemento fitotóxico (Fleck et al., 2010). No entanto, para a maior concentração de Al, somente o reforço da parede celular não foi suficiente para atenuar os danos. Como o Al prejudica a deposição da parede celular, possivelmente estes elementos acabaram competindo e o Si não atuou mitigando os danos para a maior concentração de Al (Kopittke et al., 2015; McKenna et al., 2016).

Em relação ao Se, na concentração usada no presente trabalho, este elemento apresentou-se fitotóxico para a parte aérea das plantas de *S. terebinthifolius*, visto que, de forma isolada foi prejudicial para área foliar e massa seca foliar, o que refletiu também na biomassa total. Este comportamento de decréscimo da área foliar e da massa seca foliar também foi encontrado em outras espécies. Estudos

realizados com plântulas de arroz submetidas a presença de Se mostraram um decréscimo na altura de plantas e na biomassa. Acredita-se que a parte aérea é mais danificada pelo fato do Se ser transportado da raiz para a parte aérea, causando mais danos nesta região (Mostofa et al., 2017). Estudos realizados com Se em *Raphanus sativus* e *Beta vulgaris* também apresentaram como resposta a diminuição da biomassa (Moreno et al., 2018).

Para a raiz, de forma isolada, o Se apresentou-se fitotóxico apenas para o diâmetro de raiz. Porém, quanto ao comprimento, área superficial e volume de raízes o desempenho foi superior ao tratamento controle. No entanto, Se não mitigou os danos de Al para nenhuma das variáveis avaliadas. Selênio e enxofre possuem as mesmas rotas de absorção. Em *Arabidopsis thaliana*, por exemplo, o selenato é absorvido por um transportador de sulfato Sultr1;2 (Shibagaki et al., 2002). A toxicidade induzida pelo Se está possivelmente relacionada com a substituição do enxofre (S) nas proteínas, o que ocasiona alterações em estruturas funcionais pela incorporação de Se em moléculas que possuem S, principalmente a substituição de Cys por Se-Cys, além de poder desencadear a formação de ERO e peroxidação lipídica (Chen et al., 2014). De outro modo, o Se em pequenas concentrações tem efeitos positivos, aumentando as propriedades antioxidantes e modulando múltiplos genes responsivos ao estresse (Naz et al., 2015).

CONCLUSÃO

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi é sensível ao alumínio em sistema hidropônico. No entanto, a adição de 2,5 mM de Si amenizou os efeitos tóxicos ocasionados pelo alumínio na concentração de 1,85 mM, enquanto o selênio não apresentou esta capacidade para nenhuma das variáveis analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achary VMM, Panda BB (2009). Aluminium-induce DNA damage and adaptive response to genotoxic stress in plant cells are mediated through reactive oxygen intermediates. *Mutagenesis*, 25(2): 201-209.
- Bandinelli MG et al. (2013). Concentração dos sais e da sacarose do meio MS na multiplicação *in vitro* e na aclimatização de batata. *Horticultura Brasileira*, 31(2): 242-247.
- Bose J et al. (2011). Role of magnesium in alleviation of aluminum toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(7): 2251-2264.
- Chen Y et al. (2014). The endogenous nitric oxide mediates selenium-induced phytotoxicity by promoting ROS generation in *Brassica rapa*. *PLoS One*, 9(10): e110901.
- Cosgrove DJ (2000). New genes and new biological roles for expansins. *Current Opinion in Plant Biology*, 3:73-78.
- Coskun D et al. (2019). The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221(1):67-85.

- Dabrowska G et al. (2007). Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. *Acta Biologica Cracoviensia - Serie Botanica*, 49:7-17.
- Dann EK, Muir S (2002). Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and β -1, 3-glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Australasian Plant Pathology*, 31(1):9-13.
- Dorneles AOS et al. (2016). Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth. *Ciência Rural*, 46(3):506-512.
- Duan G et al. (2013). Association of arsenic with nutrient elements in rice plants. *Metallomics*, 5(7):784-792.
- Famoso AN et al. (2010). Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. *Plant Physiology*, 153(4):1678-1691.
- Fauteux F et al. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249(1):1-6.
- Ferreira DF (2008). SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Científica Symposium*, 6(2):36-41.
- Fleck A T et al. (2010). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany*, 62(6):2001-2011.
- Gessa CE et al. (2005). Effect of Aluminum and pH on the mobility of phosphate through a soil-root interface model. *Plant and Soil*, 272:301-311.
- Halim AA et al. (2017). Ammonia removal using organic acid modified activated carbon from landfill leachate. *Environment Ecosystem Sci.*, 1(1):28-30.
- Horst WJ et al. (2010). The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Ann. Bot.*, 106:185-197.
- Hu Y et al. (2014). Effect of selenium fertilization on the accumulation of cadmium and lead in rice plants. *Plant and Soil*, 384(1-2):131-140.
- Inostroza-Blancheteau C et al. (2012). Molecular and physiological strategies to increase aluminum resistance in plants. *Molecular Biology Reports*, 39(3):2069-2079.
- Jones DL et al. (2006). Spatial coordination of aluminium uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. *Plant, Cell and Environment*, 29:1309-1318.
- Kochian LV et al. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 55:459-493.
- Kochian LV et al. (2015). Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66:571-598.

- Kopittke PM et al. (2015). Identification of the primary lesion of toxic aluminum (Al) in plant roots. *Plant Physiol.*, 167:1402–1411.
- Kumar M et al. (2012). Selenium and spermine alleviate cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidants and DNA methylation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51:129-138.
- Lenzi M, Orth AI (2004). Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) em Florianópolis-SC, Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):198-201.
- Ma JF, Yamaji N (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life Sciences*, 65(19):3049-3057.
- McKenna BA et al. (2016). Aluminium effects on mechanical properties of cell wall analogues. *Physiol. Plant.*, 158:382–388.
- Moreno ODG et al. (2018). Selenium Uptake and Biotransformation and Effect of Selenium Exposure on the Essential and Trace Elements Status: Comparative Evaluation of Four Edible Plants. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 62(2):1-12.
- Mostofa M G et al. (2017). Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. *Chemosphere*, 178:212-223.
- Naz FS et al. (2015). Low level of selenium increases the efficacy of 24-epibrassinolide through altered physiological and biochemical traits of *Brassica juncea* plants. *Food Chemistry*, 185:441-448.
- Pereira AS et al. (2018). Selenium and silicon reduce cadmium uptake and mitigate cadmium toxicity in *Pfaffiaglomerata* (Spreng.) Pedersen plants by activation antioxidant enzyme system. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:18548-18558.
- Pereira JF, Ryan PR (2018). The role of transposable elements in the evolution of aluminium resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 70(1):41-54.
- Ribeiro RV et al. (2011). O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:939-948.
- Sade H et al. (2016). Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. *Biometals*, 29(2):187-210.
- Schiavon M et al. (2017). Effects of selenium on plant metabolism and implications for crops and consumers. In: *Selenium in plants*. Springer, Cham, 257-275.
- Shibagaki NR et al. (2002). Selenate-resistant mutants of *Arabidopsis thaliana* identify Sultr1;2, a sulfate transporter required for efficient transport of sulfate into roots. *Plant Journal*, 29: 475–486.
- Singh S et al. (2017). Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 137: 177–193.
- Storck L et al. (2011). *Experimentação vegetal*. 3. ed. Santa Maria, RS: Editora da UFSM. 199p.

- Tabaldi LA et al. (2007). Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 211–222.
- Tabaldi LA et al. (2009). Oxidative stress is an early symptom triggered by aluminum in Al-sensitive potato plantlets. *Chemosphere*, 76(85): 1402–1409.
- Yang JL et al. (2011). Cell wall hemicellulose contributes significantly to aluminum adsorption and root growth in Arabidopsis. *Plant Physiol.*, 155: 1885–1892.
- Zhu XF et al. (2012). Encoding an *in vitro* XEH/XET'-active enzyme, regulates aluminum sensitivity by modulating *in vivo* XET' action, cell wall xyloglucan content, and aluminum binding capacity in Arabidopsis. *Plant Cell*, 24: 4731–4747.

Tecnologias para mitigar o déficit hídrico em *Eugenia myrcianthes* Nied.

 10.46420/9786588319314cap3

Silvana de Paula Quintão Scalon¹ 

Andressa Caroline Foresti¹ 

Lucas Coutinho Reis¹ 

Suzilellen Santiago Nazzi¹ 

Isabely Mosso Conti¹ 

Juliana Milene Silverio¹ 

Cleberton Correia Santos¹ 

INTRODUÇÃO

Eugenia myrcianthes Nied, conhecida popularmente como pessegueiro-do-mato, possui porte de arvoreta com aproximadamente 4-6 metros de altura. As flores ficam reunidas em pequenos racemos axilares de 2-5 flores pediceladas e sua incidência se dá nos meses de agosto a outubro, frutos subglobosos, velutinos, com polpa suculenta de sabor doce-acidulado, normalmente ocorrem de outubro a dezembro (Keller, 2017). A espécie apresenta importância alimentícia, silvicultural, paisagística e medicinal (Record; Hess, 1949; Marchiori; Sobral, 1997; Oliveira, 2007), destacando-se pelos frutos atrativos e relativamente grandes, se comparados a outros frutos da família, sendo muito consumidos pela fauna. Por essas características é muito versátil em usos para recuperação de áreas degradadas ou de preservação permanente principalmente por ser planta rústica, pioneira (Lorenzi, 2009) ou secundária inicial (Fernandes et al., 2013). A espécie é fonte de exploração e renda para agricultores familiares por meio de sistemas agroflorestais biodiversos. Embora com grande importância ecológica e alimentar, pouco se conhece sobre suas necessidades hídricas e luminosas.

Esta espécie tem sido pouco estudada e o conhecimento sobre seu comportamento diante de déficit hídrico é escasso bem como suas repostas ao sombreamento e à aplicação de silício e polímeros hidroretentores e como esses elementos atuam na mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

¹ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil.

* Autor para correspondência: silvanascalon@ufgd.edu.br

Considerando o fato que o déficit hídrico é um fator limitante ao desenvolvimento das espécies arbóreas na fase de crescimento inicial, o estabelecimento de práticas que possam atenuar seus efeitos negativos torna-se necessário.

Os efeitos interativos da disponibilidade de luz com os estresses ambientais na fotossíntese e crescimento de plantas têm sido estudados para várias espécies arbóreas. O sombreamento artificial feito com telas tipo sombrite[®] é muito utilizado em estudos das necessidades luminosas das diferentes espécies em condições de viveiro, sendo uma técnica benéfica quando se considera a ação danosa dos raios solares, especialmente em períodos com alta disponibilidade energética, bem como contribui igualmente para amenizar a temperatura da planta (Caron et al., 2010).

O crescimento e desenvolvimento das plantas superiores é influenciado pelas condições hídricas e a sensibilidade é maior em situação de carência hídrica, comparando-se a qualquer outro fator ambiental capaz de estabelecer situação de estresse. Algumas plantas, para assegurar a resistência ao estresse hídrico, passam por alterações morfofisiológicas, como a redução da condutância com fechamento estomático, diminuição da área foliar, redução do potencial hídrico foliar, desenvolvimento de sistemas radiculares extensos, maiores índices de raiz/parte aérea, além de mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares que incluem a expressão de genes e acúmulo de proteínas e estas respostas diferem entre as espécies (Chakraborty et al., 2015).

Trabalhos relacionando silício e déficit hídrico na literatura tratam principalmente da adubação via solo e em gramíneas, sendo poucos os estudos relacionando o efeito da adubação foliar com silício na tolerância das plantas à seca. A acumulação de Si nas folhas provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pelo aumento da espessura, promove uma redução da transpiração, diminuindo a abertura dos estômatos e limitando a perda de água das plantas (Faria, 2000). Assim, em ambiente enriquecido com Si, as plantas diferem das cultivadas com deficiência do elemento, principalmente, quanto a composição química, resistência mecânica das células, características de superfície foliar, tolerância ao estresse abiótico e a ocorrência de pragas e doenças (Malavolta, 1980). Sob tais condições, a planta bem nutrida com silício tolera por um período maior a falta de água, pois usa melhor a água absorvida e perde numa velocidade menor em relação à planta com baixo teor de silício (Marafon; Endres, 2011). A fertilização com Si pode elevar o volume e massa das raízes em 20-200%, o que, em última análise melhora, significativamente a resistência à seca em plantas cultivadas (Ahmed et al., 2011).

Os polímeros hidroretentores funcionam como uma alternativa para situações em que haja déficit hídrico no solo ou em longos períodos de estiagem (Azevedo et al., 2002). Seus efeitos estão associados por oferecer retenção de água no solo, reduzir a lixiviação de nutrientes, melhorando a capacidade de troca catiônica e na maior disponibilidade de água para as plantas, contribuindo na qualidade das mudas (Marques; Bastos, 2010). O hidrogel é um pó que aumenta em até 400 vezes sua massa e pode ser usado

diretamente no solo, tanto na sua forma seca quanto na sua forma hidratada. Os grânulos do pó formam uma massa de gel transparente onde as raízes se desenvolvem, atravessando-os, aumentando o número de pelos radiculares e, conseqüentemente, a superfície de contato. O gel hidratado libera água conforme a necessidade da cultura, o que favorece a diminuição do número de irrigações (Lopes et al., 2010).

A utilização desses polímeros é comum na área de silvicultura e a cada ano sua aplicação vem aumentando em cultivos de hortaliças, frutíferas, espécies ornamentais e na produção de mudas (Oliveira et al., 2004; Moreira et al., 2011; Bernardi et al., 2012; Mews et al., 2015).

SOMBREAMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *E. MYRCIANTHES*

Avaliando o crescimento de mudas de *E. myrcianthes* cultivadas sob pleno sol, 30 e 70% de sombreamento e recebendo irrigação diária ou sob suspensão da irrigação até que a taxa fotossintética se aproxime de zero (F0), observamos que o diâmetro de colo é maior nas mudas irrigadas sob 30% de sombreamento e menor naquelas sob restrição hídrica e 70% de sombreamento, entretanto, independente da condição de sombreamento, as mudas aumentam o diâmetro na fase de recuperação após a retomada da irrigação (Figura 1A e 1B).

A altura das mudas reduz com a restrição hídrica sendo menor sob pleno sol e 30% de sombreamento. Entretanto, com a retomada da irrigação a altura aumenta independente das condições de sombreamento (Figura 1B e 1C).

O comprimento de raiz não é afetado pelas condições de cultivos durante o período avaliado mas aumenta com o tempo (Figura 1C), o que é um resultado esperado pois as mudas estão mais velhas e com maior crescimento. Esses resultados sugerem também que o tempo em que as mudas dessa espécie foram submetidos à restrição hídrica, não é suficiente para desencadear respostas hormonais que induzissem maior crescimento radicular.

Ressaltamos que a maior altura nas mudas irrigadas sob 30% não sugere condição de estiolamento uma vez que as mudas também apresentam maior diâmetro de colo. Entretanto, nas mudas sob restrição hídrica e 70% de sombreamento, a maior altura é acompanhada de menor diâmetro e menor taxa fotossintética, sugerindo uma condição de cultivo desfavorável para esta espécie.

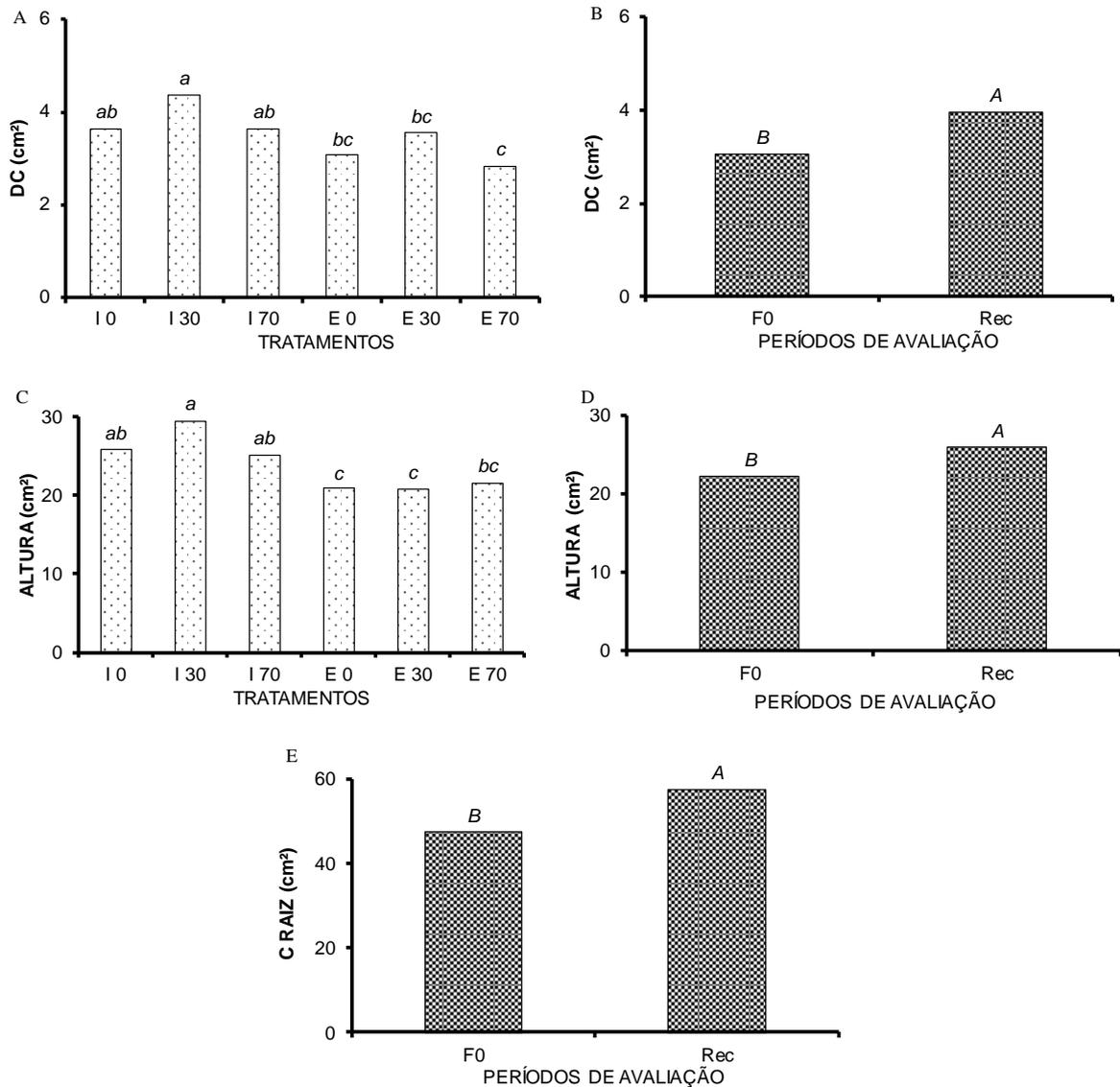


Figura 1. Diâmetro do coleto – DC (A e B), Altura (C e D) e Comprimento da raiz- CRAIZ (E), em mudas de *E. myrcianthes* sob diferentes regimes hídricos (Irrigado - I e Estressado - E) + sombreamentos (0% - 0, 30% -30 e 70% -70) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec). Letras minúsculas em itálico comparam diferentes tratamentos, letras maiúsculas em itálico as comparam diferentes períodos de avaliação. Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$) e médias dos períodos de avaliação seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo t de Bonferroni ($p < 0,05$).

A área foliar (AF) das mudas é maior quando irrigadas e cultivadas sob 30% de sombreamento e menor nas mudas sob restrição hídrica mantidas a pleno sol. A AF reduz quando a taxa fotossintética se aproxima de zero mas aumenta após a retomada da irrigação, independente das condições de sombreamento (Figuras 2A e 2B).

O índice de clorofila é maior nas mudas irrigadas sob 30 e 70% de sombreamento e nas mudas sob restrição hídrica e 70% de sombreamento e, de maneira semelhante à área foliar, é menor nas mudas estressadas a pleno sol (Figura 2C).

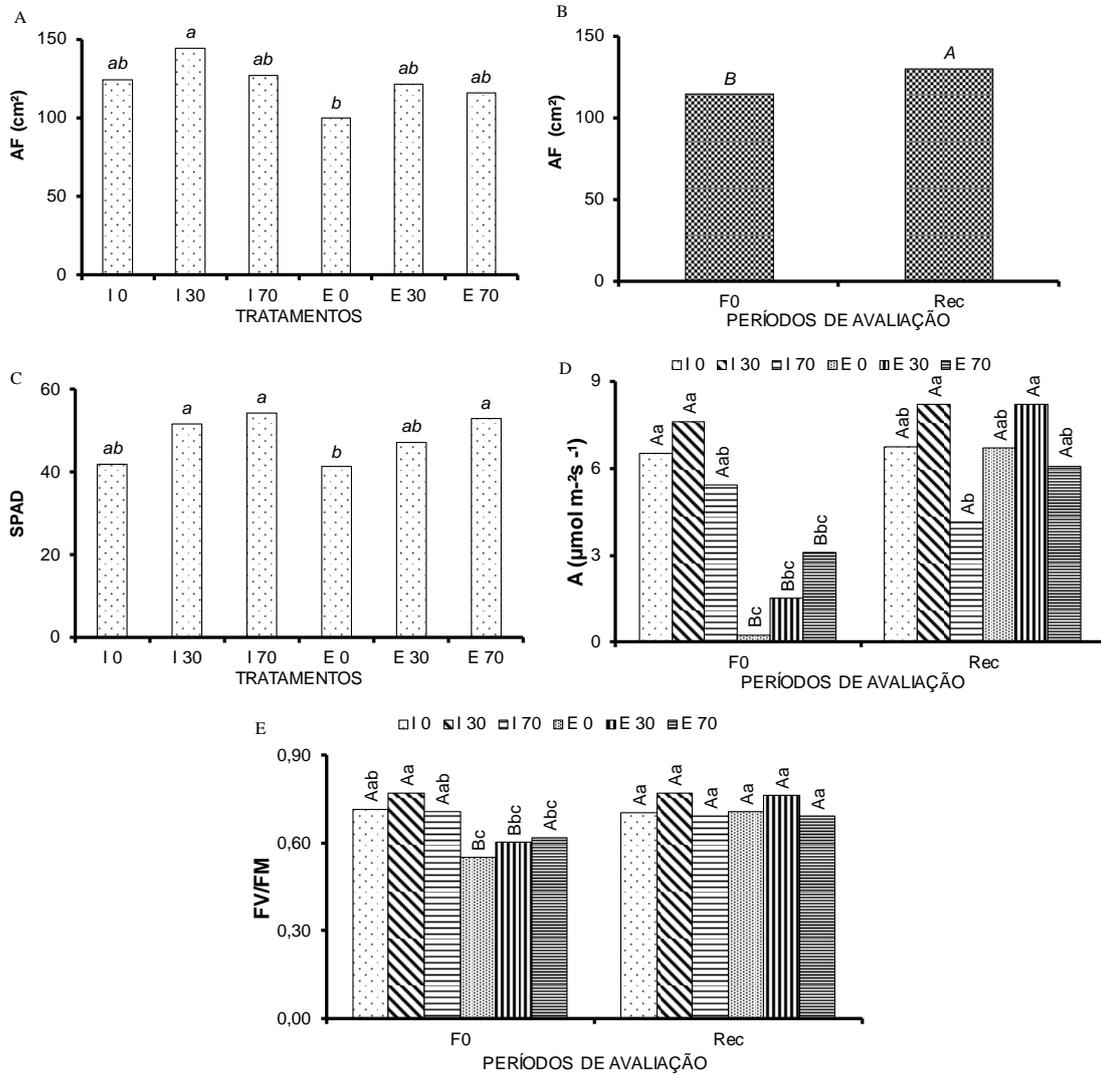


Figura 2. Área foliar – AF (A e B), Índice de clorofila - SPAD (C) e Taxa fotossintética – A (D) e Eficiência quântica do fotossistema II - F_v/F_m (E), em mudas de *E. myrcianthes* sob diferentes regimes hídricos (Irigado - I e Estressado - E) + sombreamentos (0% - 0, 30% -30 e 70% -70) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec). Letras minúsculas em itálico comparam diferentes tratamentos e letras maiúsculas em itálico as comparam diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento, nos diferentes períodos de avaliação e minúsculas comparam os diferentes tratamentos no mesmo período de avaliação. Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$) e Médias dos períodos de avaliação seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo t de Bonferroni ($p < 0,05$).

A taxa fotossintética reduz nas mudas sob restrição hídrica e se aproximou de zero apenas nas mudas a pleno sol (Figura 2D). Independente das condições de irrigação, as mudas recuperam os valores da taxa fotossintética, entretanto, aquelas sob 30% de sombreamento mantêm maior valor. As mudas

cultivadas sob irrigação diária e 70% de sombreamento apresentam taxa fotossintética significativamente menor.

A eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) reduz nas mudas sob restrição hídrica sendo menor nas mudas a pleno sol (Figura 2E). Entretanto, essas mudas se recuperam com a retomada da irrigação, independente das condições de sombreamento semelhante ao observado para a AF. Ressaltamos que os valores de F_v/F_m observados nas mudas sob restrição hídrica são sugestivos de condição estressante, pois são inferiores aos valores de referência considerados bons para plantas sob condição favorável (0,75 a 0,85) conforme relatado por Baker e Rosenqvist (2004). Com a retomada da irrigação, observamos que não houve diferença significativa para a eficiência quântica potencial do fotossistema II entre os tratamentos, sugerindo assim, que mesmo sob restrição hídrica com valores de F_v/F_m sugestivos de condição estressante, com a reirrigação houve recuperação desses valores, sugerindo que o estresse causado pela restrição hídrica não causou danos irreparáveis ao fotossistema II.

Nossas observações corroboram informações da literatura as quais sugerem que *E. myrcianthes* é classificada como secundária inicial (Fernandes et al., 2013), assim, sugerimos que um sombreamento moderado de 30% é favorável ao seu metabolismo fotossintético e que o sombreamento mais intenso de 70% representa condição estressante para a espécie.

EFEITO DO SILÍCIO NA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO

O crescimento de mudas de *E. myrcianthes* cultivadas sob diferentes regimes hídricos (Irigado - I e Estressado - E) associados a aplicação foliar de silício na forma de K_2SiO_3 (0 - 0), 2,0 μM - 2 e 4,0 μM -4) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec) foi avaliado. Observamos que a presença do silício no substrato estimula o crescimento de raiz e o diâmetro de caule das mudas pois os valores aumentam tanto nas mudas irrigadas quanto não irrigadas (Figura 3A e 3C). A retomada da irrigação mantém o crescimento da raiz, independe da presença do silício ou do regime hídrico (Figura 3B). O incremento dos indicadores de crescimento em diferentes plantas tratadas com Si tem sido verificado, demonstrando seus efeitos mitigadores sobre os distúrbios do estresse abiótico, indicando que pode aumentar a tolerância das plantas a estresses (Melo-Filho et al., 2019; Silva et al., 2019).

Entretanto, a altura das mudas não apresenta efeito significativo do regime de irrigação e nem da aplicação de silício mas aumenta com o tempo de avaliação, sendo maior na fase de recuperação após a retomada da irrigação - Rec (Figura 3D).

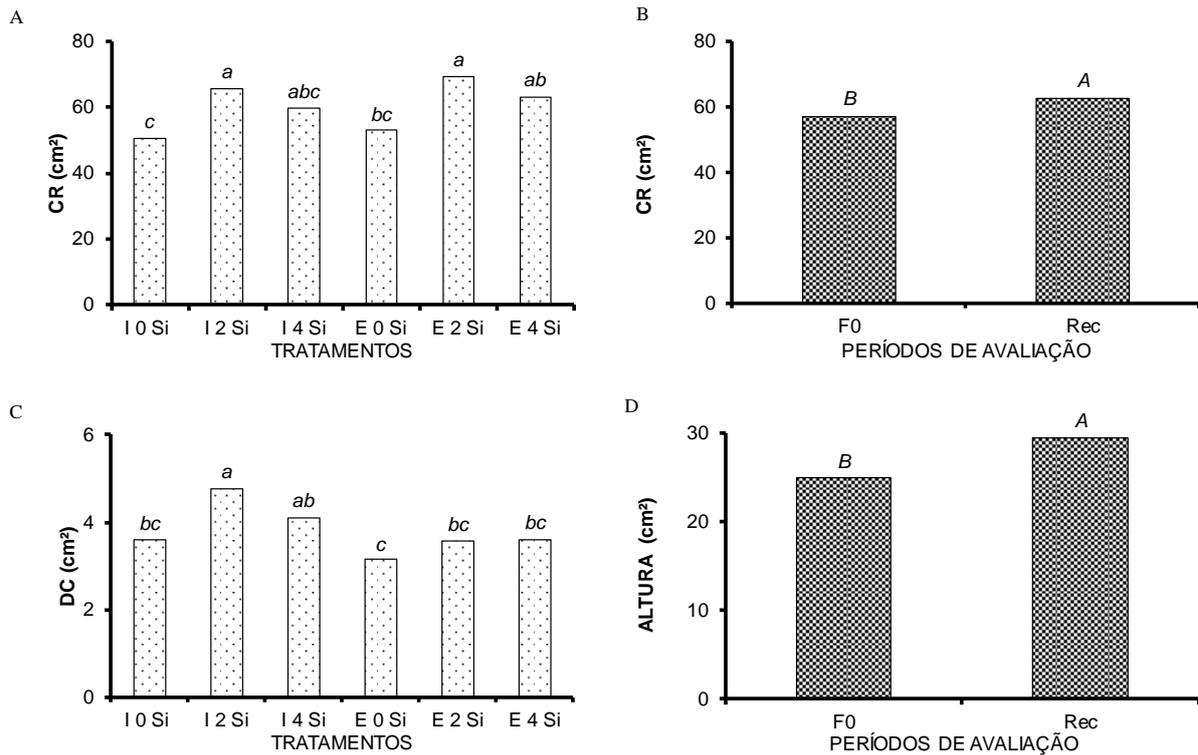


Figura 3. Comprimento da raiz- CRAIZ (A e B), Diâmetro do coleto – DC (C) Comprimento da parte aérea- ALTURA (D), em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied. sob diferentes regimes hídricos (Irrigado - I e Estressado - E) associados a aplicação foliar de silício (0 - 0), 2,0 μM - 2 e 4,0 μM -4) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec). Letras minúsculas em itálico comparam diferentes tratamentos, letras maiúsculas em itálico comparam diferentes períodos de avaliação. Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra não diferem entre si pelos Testes de Tukey ($p < 0,05$) e t de Bonferroni ($p < 0,05$).

A área foliar é maior nas mudas irrigadas e tratadas com 2Si e reduz significativamente com o déficit hídrico sendo menor nas mudas sem adição de silício (0Si) e com a maior dose de silício (4Si) (Figura 4A). Entretanto, com a retomada da irrigação, as mudas se recuperam e aumentam a AF independente do regime de irrigação e dose de silício (Figura 4B).

O índice de clorofila e a taxa fotossintética também são maiores nas mudas irrigadas e com 2Si e reduzem significativamente nas mudas sob déficit hídrico (Figuras 4C e 4D). No período F0 a redução da taxa de assimilação de CO_2 é mais pronunciada do que o índice de clorofila sob déficit hídrico, entretanto esse é significativamente menor nas mudas que não receberam silício e a taxa fotossintética não varia entre as doses de silício. Tanto o índice de clorofila quanto a taxa fotossintética, se recuperam com a retomada da irrigação, independente da aplicação de silício. Ressaltamos que na Rec os valores da taxa fotossintética das mudas previamente estressadas pelo déficit hídrico superam os valores das mudas irrigadas.

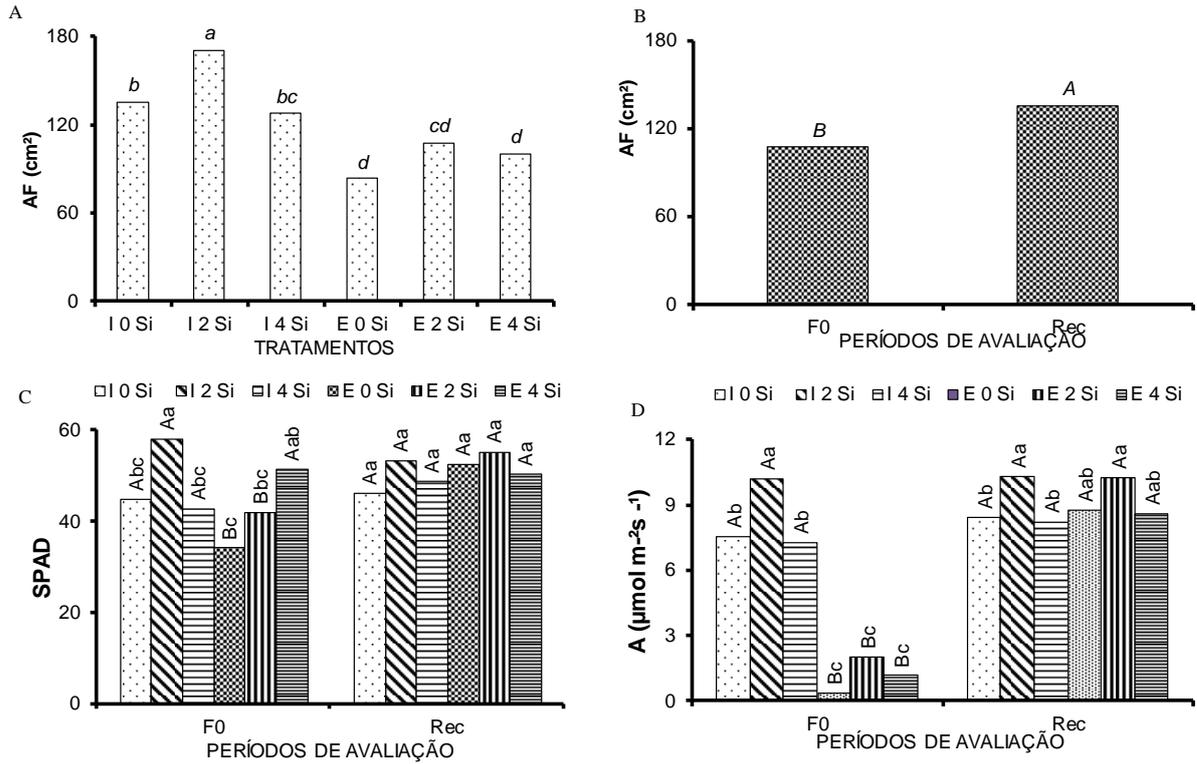


Figura 4. Área foliar – AF (A e B), Índice de clorofila - SPAD (C) e Taxa de assimilação de CO_2 –A (D), em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied. sob diferentes regimes hídricos (Irigado - I e Estressado - E) associados a aplicação foliar de silício (0 - 0), 2,0 μM - 2 e 4,0 μM - 4) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento, nos diferentes períodos de avaliação e minúsculas comparam os diferentes tratamentos no mesmo período de avaliação. Letras maiúsculas em itálico comparam diferentes períodos de avaliação e letras minúsculas em itálico comparam diferentes tratamentos. Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra não diferem entre si pelos Testes de Tukey ($p < 0,05$) t de Bonferroni ($p < 0,05$).

É interessante notar que a redução da taxa fotossintética é muito pronunciada na F0 e que essa redução não é significativa para o índice de clorofila, assim, sugerimos que outros fatores estão contribuindo para reduzir a fotossíntese como por exemplo a eficiência de carboxilação da Rubisco ou a condutância estomática, entretanto esses fatores não foram avaliados neste relato.

A recuperação da taxa fotossintética das mudas tratadas com Si deve-se ao fato desse elemento contribuir na proteção do aparato fotossintético proporcionado pela adição do Si nas folhas, isto é, favorece a atividade de enzimas antioxidantes que atuam no reparo dos danos celulares pela desintoxicação das espécies reativas ao oxigênio (EROs), aumentando a funcionalidade da ultraestrutura do cloroplasto e síntese de pigmentos fotossintéticos (Etesami; Jeong, 2018), estabilizando os processos metabólicos. Entretanto, doses elevadas desse elemento podem promover uma deposição excessiva sobre os poros estomáticos, ocasionando depleção das trocas gasosas e limitações estomáticas, nossos resultados sugerem inclusive que prejudica a síntese de clorofila.

A massa seca da parte aérea apresenta comportamento semelhante ao do comprimento da raiz e do diâmetro de colo, sendo maior nas mudas com silício não variando entre os regimes de irrigação (Figura 5A).

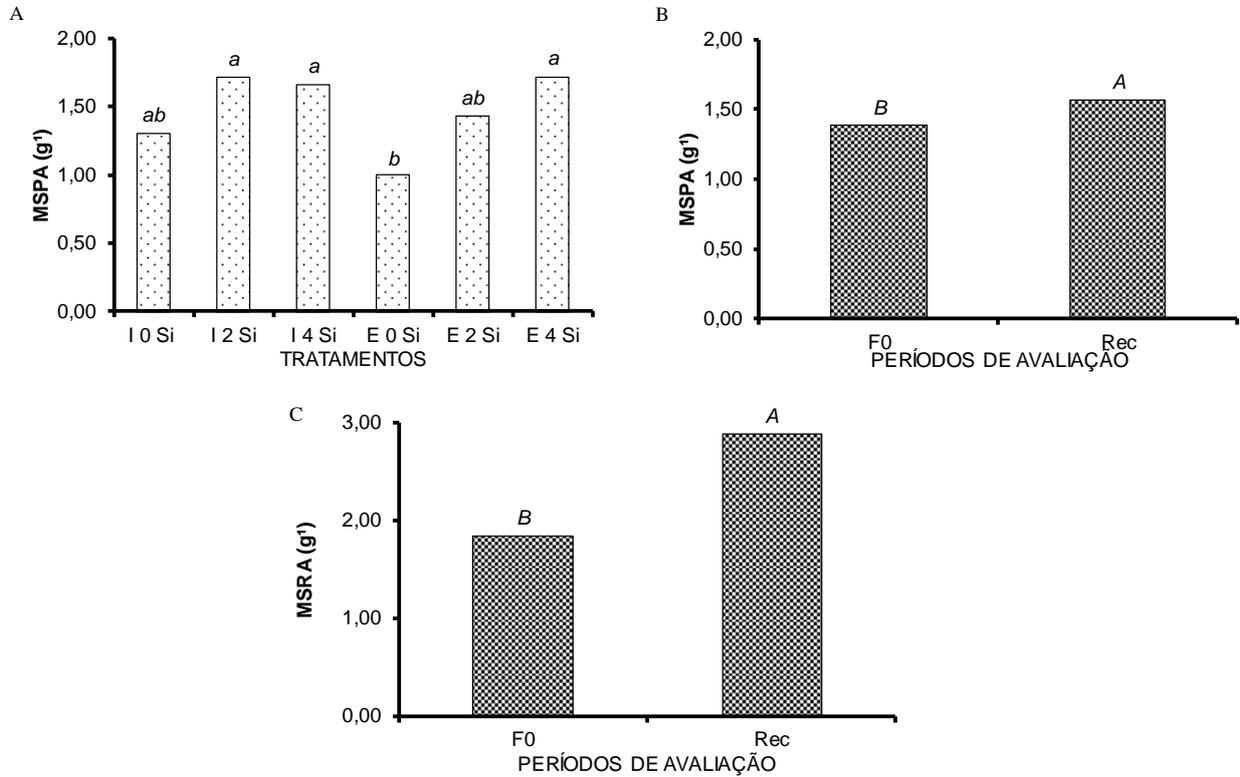


Figura 5. Massa seca da parte aérea MSPA- (A e B) e Massa seca das raízes- MSR (C) em mudas de *Eugenia myrcianthes* Nied. sob diferentes regimes hídricos (Irigado - I e Estressado - E) associados a aplicação foliar de silício (0 - 0), 2,0 μ M - 2 e 4,0 μ M -4) e nos diferentes períodos de avaliação (fotossíntese zero - F0 e recuperação - Rec). Letras minúsculas em itálico comparam diferentes tratamentos, letras maiúsculas em itálico as comparam diferentes períodos de avaliação. Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra não diferem entre si pelos Testes de Tukey ($p < 0,05$) e t de Bonferroni ($p < 0,05$).

Após a retomada da irrigação, as mudas retomam o acúmulo de massa seca da parte aérea independente da aplicação de silício e do regime de irrigação (Figura 5B). A massa seca da raiz varia somente em função do período de avaliação, sendo maior na Rec, independente do regime de irrigação e aplicação de silício (Figura 5C).

A redução da massa seca da parte aérea nas mudas estressadas é decorrência da redução da área foliar e diâmetro de colo e todas são menos pronunciadas nas mudas tratadas com silício embora com comportamento dependente da dose. Ressaltamos que o comportamento dessas características se relaciona com o da taxa fotossintética e que a recuperação de MSPA independentemente do tempo de avaliação pode ser atribuída à elevada recuperação da taxa de assimilação do CO_2 .

Nossos resultados mostram a sensibilidade da *E. myrcianthes* ao déficit hídrico, entretanto sugerem que essa espécie possui potencial de se ajustar a essa condição mesmo independente da adição de sílicio. Ressaltamos que o estresse causado pelo déficit hídrico não causa danos irreversíveis às mudas uma vez que, com a retomada da irrigação elas recuperaram a taxa fotossintética, o índice de clorofila e crescimento em altura, raiz e massa seca da parte aérea e raiz.

EFEITO DO POLÍMERO HIDRORETENTOR NA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO

Para avaliar o potencial do polímero hidroretentor em mitigar o efeito estressante do déficit hídrico sobre o crescimento de mudas de *E. myrcianthes*, as mudas foram cultivadas sob três regimes hídricos (irrigação diária - controle, suspensão da irrigação - estresse e estresse+hidrogel) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC). O polímero hidroretentor utilizado foi o hidrogel e foi adicionado próximo a raiz no momento de transplântio das mudas.

Observamos que a altura das mudas aumenta durante os períodos de avaliação como esperado, entretanto, as mudas que sofreram a restrição hídrica mantiveram-se com menor altura (Figura 6A). No período F0, onde houve maior restrição hídrica, as mudas do tratamento de estresse+hidrogel apresentam altura semelhante ao das plantas controle, enquanto as mudas estressadas sem hidrogel apresentam menor altura. No período de REC, as plantas apresentam o mesmo padrão de crescimento da F0, e a altura das mudas previamente estressadas, com a retomada da irrigação, mesmo crescendo mantém-se menor quando comparada com os demais tratamentos.

O comprimento de raiz não é influenciado pelos tratamentos, variando apenas em função das épocas (Figura 6B). Na fase de REC as plantas têm o maior comprimento de raiz, comparado às outras fases e não variam das mudas no T0.

Na época de maior restrição hídrica (F0) o comprimento de raiz das mudas é menor e também não varia da época T0. Ressaltamos que o hidrogel ou estresse hídrico não alteram essa característica. É interessante observar também que, o maior crescimento de raiz das mudas sob restrição hídrica é um resultado normal pois, a literatura comenta a tendência das plantas, sob deficiência hídrica, apresentar um sistema radicular mais comprido (Taiz et al., 2017).

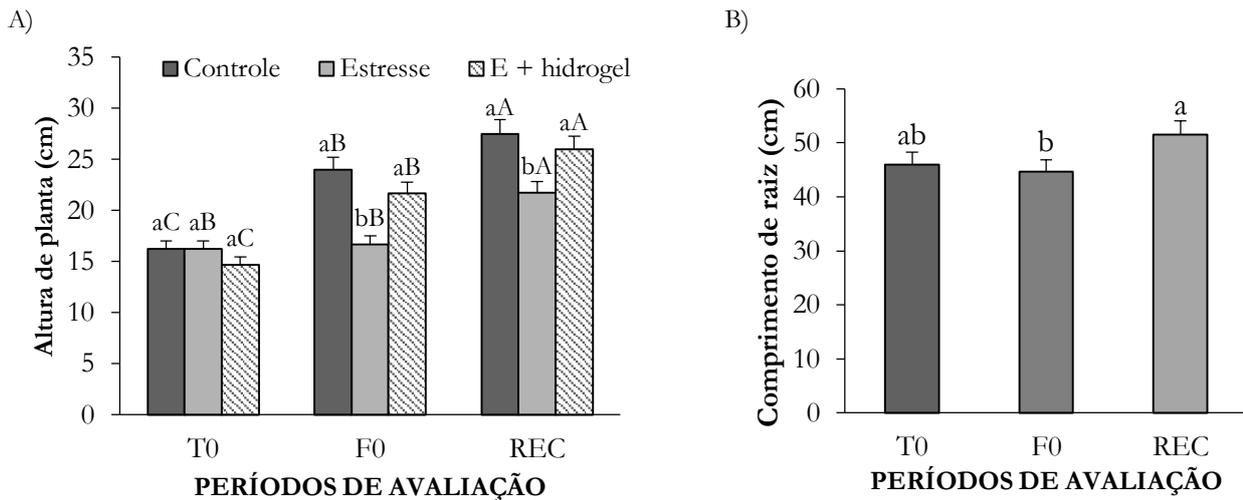


Figura 6. Altura (A), comprimento de raiz (B), de mudas de *Eugenia myrcianthes* em função de três regimes hídricos (controle, estresse e estresse+hidrogel) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação e as letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos em períodos diferentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Dourados, UFGD, 2020.

Semelhante ao observado para comprimento de raiz, o diâmetro de colo apresenta efeito isolado dos tratamentos. As mudas do tratamento estresse+hidrogel apresentam maior DC em relação aos outros tratamentos (Figura 7A). Entretanto, os resultados do tratamento de Estresse comparado ao tratamento Controle não variam, sugerindo que as mudas estressadas não apresentam respostas de crescimento ao longo do tempo em função da restrição hídrica. As mudas não se devolvem significativamente em relação ao diâmetro de coleto ao longo das avaliações, mesmo com a retomada da irrigação, o que causou menor média do DC na época REC (Figura 7B).

A área foliar das mudas dos tratamentos de Estresse+hidrogel e Estresse na F0, mostrou resultados que comparados com o tratamento Controle, são menores (Figura 8A). Ou seja, mesmo com o hidrogel presente, o déficit hídrico reduz a área foliar, embora tenha sido 22% maior que nas plantas de Estresse+hidrogel. Entretanto, na fase de REC, após a reirrigação das mudas, os valores das plantas do tratamento de Estresse+hidrogel são maiores que os valores das plantas do tratamento de Estresse e são estatisticamente iguais ao das plantas do tratamento Controle. Sendo assim, a presença do hidrogel favorece a recuperação da área foliar nesta fase.

As mudas do tratamento de Estresse+hidrogel apresentam aumento gradativo do índice SPAD em cada época de avaliação (Figura 8B). Porém, as mudas estressadas sem hidrogel mostram redução do índice SPAD e não recuperam o teor mesmo com a reirrigação. Estes resultados sugerem que a adição do polímero possivelmente diminua a perda de nutrientes por lixiviação, proporcionando assim maior taxa

fotossintética devido a maiores teores de nitrogênio, sendo que este nutriente está diretamente ligado à síntese de clorofila e assim, consequentemente à maior taxa fotossintética da planta.

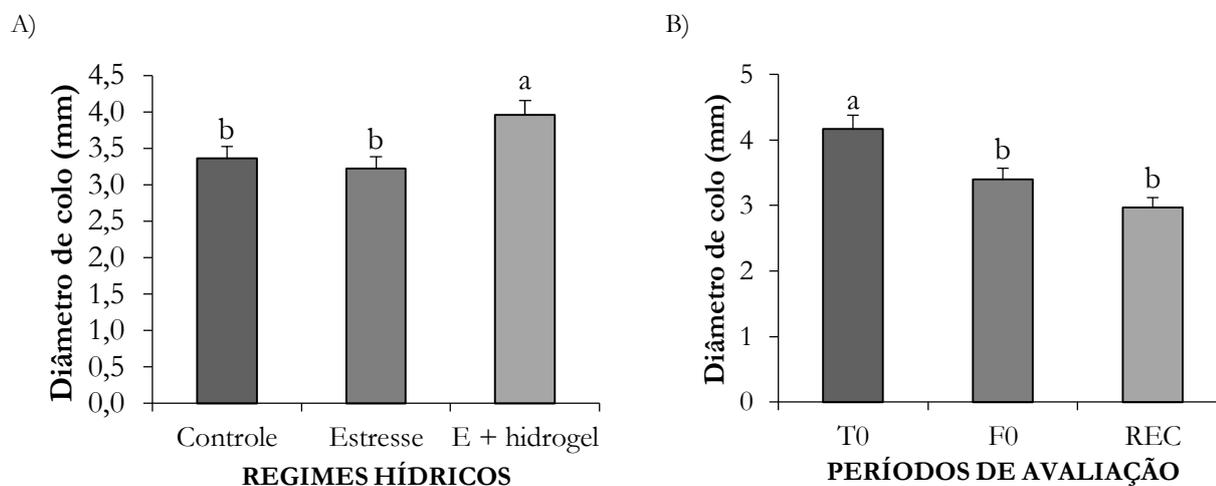


Figura 7. Diâmetro de colo de *Eugenia myrcianthes* em função de três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC) (A) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC) (B). Médias seguidas de mesma letra não variam entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Dourados, UFGD, 2020.

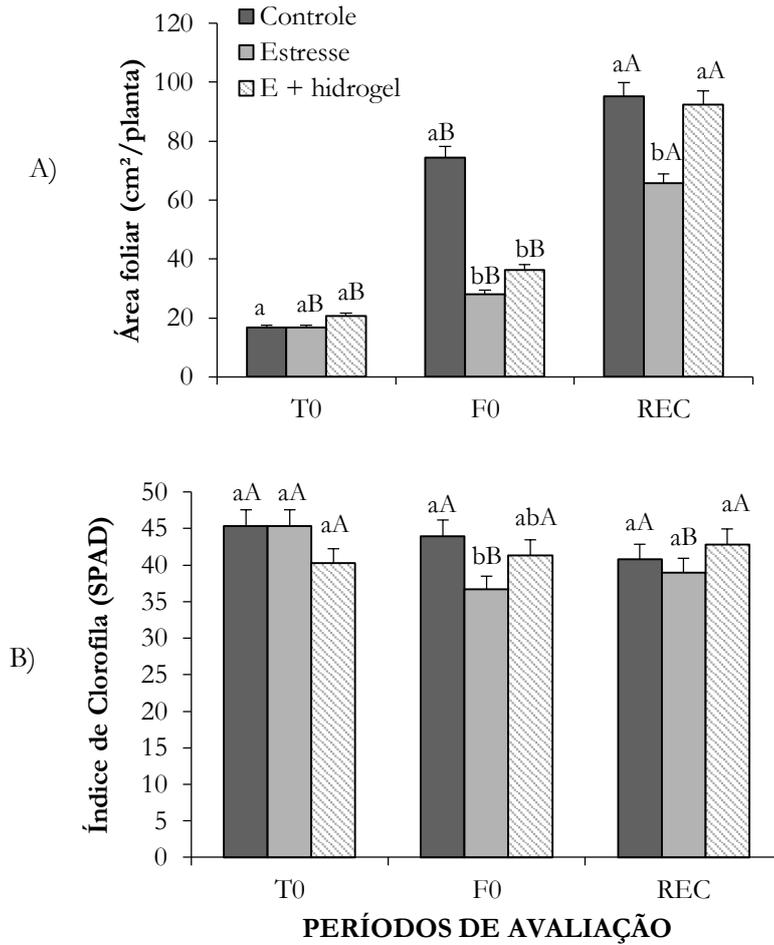


Figura 8. Área foliar (A), índice de clorofila – SPAD (B) de mudas de *Eugenia myrcianthes* em função de três regimes hídricos (controle, estresse e estresse+hidrogel) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação e as letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos em períodos diferentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Dourados, UFGD, 2020.

A massa seca da parte aérea na época F0 em mudas estressadas é menor com valores que não variam entre si em função da presença ou ausência de hidrogel (Figura 9A). Na época REC, podemos observar que no tratamento Controle a MSPA é maior em relação aos outros tratamentos, tornando evidente que o estresse hídrico retardou o ganho de massa. No tratamento de Estresse+hidrogel, mesmo que as mudas tenham sofrido déficit hídrico, elas conseguem se recuperar na reirrigação e os valores obtidos são maiores que no tratamento de Estresse sem hidrogel, ou seja, há maior ganho de massa.

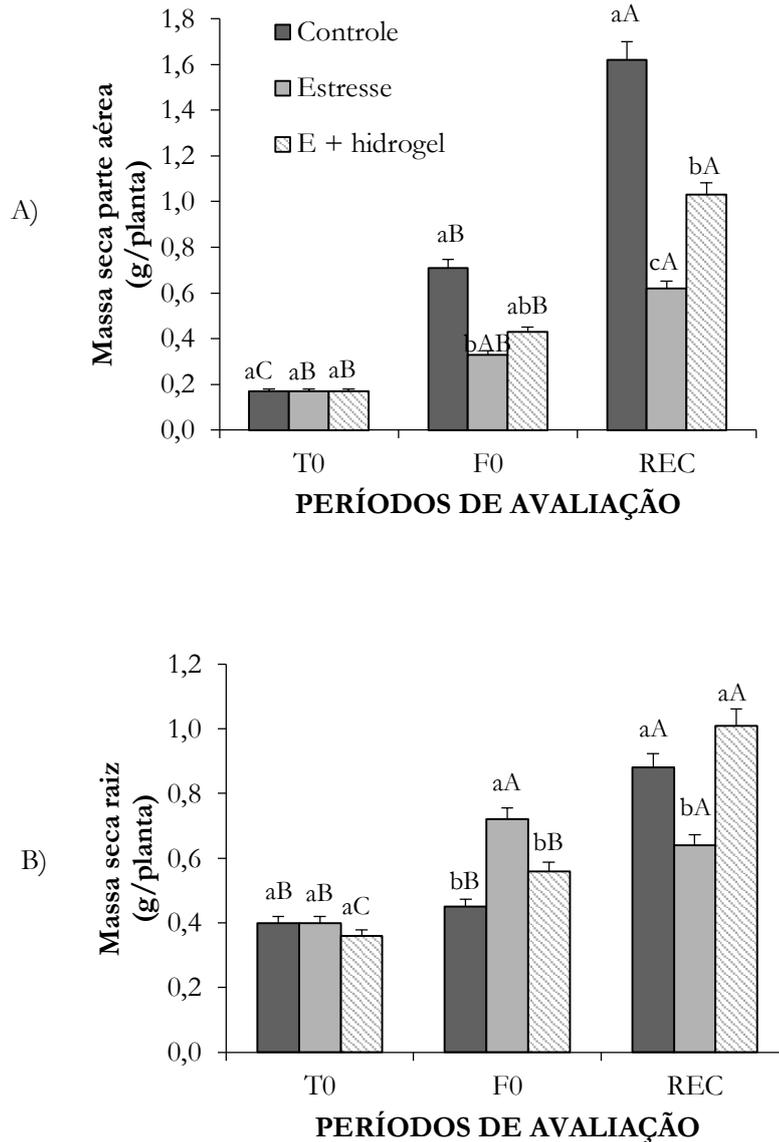


Figura 9. Massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B) de mudas de *Eugenia myrcianthes* em função de três regimes hídricos (controle, estresse e estresse+hidrogel) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação e as letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos em períodos diferentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Dourados, UFGD, 2020.

Na época F0 a MSR é maior nas plantas estressadas, resposta atípica uma vez que a literatura comenta que a tendência das plantas sob deficiência hídrica é de apresentar um sistema radicular mais comprido, porém mais fino, logo com menor massa (Taiz et al., 2017). Uma explicação para este comportamento do sistema radicular das mudas de *E. myrcianthes* seria o fato dela ser uma espécie adaptada ao solo do Cerrado onde ocorre veranicos com longos períodos de falta de água, assim, a planta já está adaptada a essa condição. Entretanto, novos estudos deveriam ser conduzidos para investigar melhor esta resposta.

As mudas do tratamento de Estresse+hidrogel apresentam maior massa seca de raiz na fase de REC mostrando assim boa resposta ao uso do hidrogel, comparado aos outros tratamentos. Essa variável apresenta expressiva importância no desenvolvimento das plantas, pois quando estão bem enraizadas, elas apresentam maior capacidade de crescimento e maior potencial de sobrevivência em campo (Eloy et al., 2013).

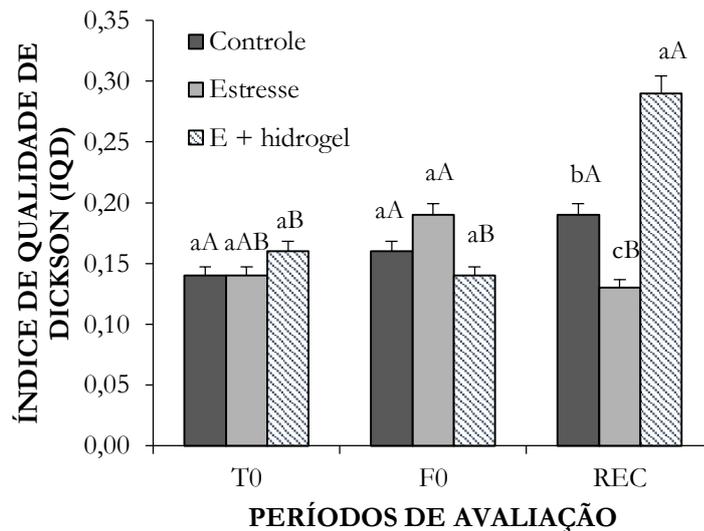


Figura 10. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Eugenia myrcianthes* em função de três regimes hídricos (controle, estresse e estresse+hidrogel) e três épocas de avaliação (tempo zero – T0, fotossíntese zero – F0 e recuperação – REC). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação e as letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos em períodos diferentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Dourados, UFGD, 2020.

As mudas com hidrogel apresentaram maior qualidade baseada no índice de qualidade de Dickson de 0,29 já as mudas do tratamento de estresse diminuem, em média, 55% (Figura 10). Hunt (1990) aponta que o IQD ideal mínimo recomendado é de 0,2 para avaliação da qualidade das mudas, entretanto, apenas no tratamento com hidrogel, é encontrado valor maior. O Índice de Dickson é um parâmetro indicador de qualidade de mudas, buscando analisá-las utilizando diversos indicadores morfológicos que consiste em relacionar fatores, como a robustez até a relação da biomassa de sua parte aérea e sistema radicular (Fonseca et al., 2002). O IQD é indicado para avaliação da qualidade de mudas, pois contempla a distribuição do crescimento entre as partes da planta, além disso, quanto maior o índice, maiores as chances de sobrevivência das mudas em campo (Binotto et al., 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O déficit hídrico reduz o crescimento da parte aérea das mudas de *E. myrcianthes* especialmente quando expostas ao pleno sol, entretanto o sombreamento de 30% mitiga os efeitos do estresse hídrico sobre a taxa fotossintética e favorece o crescimento independente das condições de irrigação. As mudas recuperam o metabolismo fotossintético e as características de crescimento após a reirrigação independente do sombreamento.

O déficit hídrico reduz as características de crescimento e a taxa fotossintética das mudas de *E. myrcianthes*, entretanto, a aplicação de silício mitiga o efeito estressante do déficit hídrico sobre a área foliar, índice de clorofila, comprimento de raiz e massa seca da parte aérea. As mudas recuperaram todas as características avaliadas independente da presença do silício.

O uso do hidrogel permite a mitigação do déficit hídrico no crescimento inicial e na qualidade das mudas de *Eugenia myrcianthes*, proporcionando aumento da capacidade de retenção de água no solo. Entretanto, nas avaliações de diâmetro de coleto apresenta menores resultados mesmo com o uso do polímero.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelas bolsas concedidas, e à FUNDECT, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed M, Hassen F, Khurshid Y (2011) Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management*, 98(12): 1808-1812.
- Azevedo TLF, Bertonha A, Gonçalves ACA (2002) Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, 1(1): 23-31.
- Baker NR, Rosenqvist E (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1621.
- Bernardi MR, Sperotto MS Jr, Daniel O, Vitorino ACT (2012) Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. *Cerne*, 18(1): 67-74.
- Binotto AF, Lúcio AD, Lopes SJ (2010) Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, 16(4): 457-464.
- Caron BO, Souza VQ, Cantarelli EB, Manfron PA, Behling A, Eloy E (2010) Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. *Ciência Florestal*, 20(4): 683-689.

- Chakraborty K, Singh AL, Kalariya KA, Goswami N, Zala PV (2015) Physiological responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars to water deficit stress: status of oxidative stress and antioxidant enzyme activities. *Acta Botanica Croatica*, 74(1): 123-142.
- Eloy E, Caron BO, Schmidt D, Behling A, Schwers L, Elli EF (2013) Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Revista Floresta*, 43(3): 373-384.
- Etesami H, Jeong BR (2018) Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147: 881-896.
- Faria R (2000) *Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo*. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras. Viçosa.
- Fernandes SSL, Pereira ZV, Lobtchenko G, Gomes CF, Gomes MES (2013) Estrutura e similaridade florística de dois componentes arbóreos de florestas estacionais semidecíduais do parque estadual das várzeas do Rio Ivinhema-MS. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 17(6): 63-78.
- Fonseca EP, Valéri SV, Miglioranza E, Fonseca NAN, Couto L (2002) Padrão de qualidade de mudas de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26(4): 515-523.
- Hunt R (1990) *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman, 112p.
- Keller WMT (2017) *Biologia Floral, Reprodutiva, Polinizadores e Viabilidade do Pólen de Eugenia myrcianthes Nied.* 36 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos- PR.
- Lopes JLW et al. (2010) Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciência Florestal*, 20(2): 217-224.
- Lorenzi H (2009) *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa ed. v.2, 384p.
- Malavolta E (1980) *Elementos de nutrição mineral das plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Marchiori JNC, Sobral M (1997) *Dendrologia das Angiospermas Myrtales*. Santa Maria: Ed. da Universidade Federal de Santa Maria, 304 p.
- Marafon AC, Endres L (2011) *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Documentos 165. Embrapa ISSN 1517-1329. Aracaju, SE, Dezembro.
- Marques PAA, Bastos RO (2010) Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 3(2): 53-57.
- Melo-Filho JS, Silva TI, Golçalves AC De M, Sousa LV, Vêras MLM, Dias TJ (2019) Aplicación de agua salobre y silicio en el crecimiento, pigmentos cloroplásticos, fluorescencia de clorofila y producción de remolacha. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3): 406-415.

- Mews CL, Sousa JRL, Azevedo GTOS, Souza AM (2015) Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. *Floresta e Ambiente*, **22**(1): 107-116.
- Moreira RA, Ramos JD, Cruz MCM, Villar L, Hafle OM (2011) Efeito de doses de polímero hidroabsorvente no enraizamento de estacas de amoreira. *Revista Agrarian*, 3(8): 133-139.
- Oliveira F (2007) Aspectos da vegetação arbórea encontrada na orla da Praia da Alegria no município de Guaíba, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa, série Biológica*, 19: 6-17.
- Oliveira RA de et al. (2004) Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1): 160-163.
- Record SJ, Hess RW (1949) *Timbers of the New World*. New Haven: Yale University Press, 640 p.
- Silva DC, Melo AS, Melo YL, Andrade WL, Lima LM, Santos AR (2019) Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*, 43: 1-10.
- Taiz LE, Zeiger IM, Moller MA (2017) *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6.ed. Artmed, 888 p.

Resposta de condutância estomática em plantas jovens de *Attalea phalerata* Mart. em diferentes condições ambientais

 10.46420/9786588319314cap4

Micael Fernandes Heinz^{1*} 
Etenaldo Felipe Santiago^{1,2} 

INTRODUÇÃO

Estudos com espécies nativas são importantes no manejo sustentável e nas ações de reposição de cobertura vegetal em áreas degradadas. Este trabalho visou estudar as respostas de ajuste fisiológico de plantas jovens de *Attalea phalerata* Mart. (Arecaceae), uma palmeira oleaginosa com larga ocorrência no bioma Pantanal, às diferentes condições de ambiente de irradiância, para tanto, as plantas jovens produzidas a partir de sementes em caixa de areia lavada, foram transferidas para vasos de polietileno de 5 litros com substrato contendo adubação de base formada por quatro carrinhos de substrato agrícola e esterco bovino curado na proporção 3:1 enriquecido com 200 g de NPK 4-14-8.

Considerando que os trabalhos são voltados às espécies arbóreas produtoras de madeira e celulose, os estudos com palmeiras tornam-se ainda mais relevantes, além de seu potencial uso em projetos de recuperação vegetal, possuem largo emprego na composição paisagística de Parques ecológicos, utilização para extração de óleos, artesanato, produtos alimentícios, cosméticos. Destaca-se ainda, o papel ecológico das palmeiras que são de grande importância para a fauna servindo tanto para a alimentação, quanto abrigo, e local de reprodução de diferentes espécies de animais. Segundo Costa e Marechi (2008) as palmeiras podem apresentar os mais diversos usos, seja na alimentação humana ou animal, ornamentação de ambientes, artesanato, no fornecimento de materiais utilizados em construções rurais, e ainda, como óleos vegetais empregados na indústria química.

Além das dificuldades na quebra da dormência das sementes de palmeiras, relatadas por diversos autores, são poucos os trabalhos que abordam as respostas de ajuste das plantas jovens às diferentes condições ambientais, apesar de algumas espécies de palmeiras desenvolverem mecanismos de tolerância

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

^{1,2} Centro Integrado Análise e Monitoramento Ambiental (CINAM). Rodovia Dourados – Itahum, Km 12 – Cidade Universitária; CEP: 79804-970; Curso de Ciências Biológicas, Dourados – MS.

* Autor para correspondência: micaelheinz@gmail.com.

ao estresse hídrico no solo (Calbo; Moraes, 1997, 2000; Gomes et al., 2008; Oliveira et al., 2002; Repellin et al., 1994), os estudos de fisiologia de palmeiras relacionados a esse estresse são ainda insuficientes. Da mesma forma, estudos relacionados ao fator luz e como ele influencia o desenvolvimento das palmeiras são ainda mais escassos. Xavier e Santiago (2012), estudaram a plasticidade de respostas de fluorescência da clorofila-a de *Attalea phalerata* em diferentes condições ambientais, para estes autores, existem respostas distintas entre diferentes populações, e diferentes condições de luz.

Folhas desenvolvidas em ambientes de elevada irradiância estão sujeitas às variações da Radiação Fotossinteticamente Ativa RFA e requerem ajustes nas respostas fotossintéticas para aperfeiçoar a eficiência deste processo (Percy, 1998).

O estudo de palmeiras em diferentes condições de luz pode ser relevante para o entendimento das respostas de ajuste. Plantas em ambientes de sombra conseguem um ganho fotossintético igual à metade ou até um terço em relação às plantas de sol. Tais características refletem uma estratégia de sobrevivência desenvolvida pelas plantas adaptadas à ambientes de limitada RFA, ocorrendo aumento da eficiência de captação e uso da radiação disponível e baixas taxas de crescimento (Luttige, 1997).

A condutância estomática também está associada à manutenção da temperatura foliar igual ou ligeiramente inferior à temperatura do ar, isto comprova a capacidade de refrigeração das diversas cultivares ou espécies, via transpiração, no intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas normalmente está associada ao melhor funcionamento do aparato fotossintético, esse é um comportamento desejável e foi observado em várias espécies vegetais (Ludlow; Muchow, 1990), fator muito importante em plantas submetidas a campo aberto, sob condições de alta irradiância.

O acuri (*Attalea phalerata*) é uma palmeira que ocorre em grande abundância no Pantanal, aparecendo muitas vezes em formações mono-específicas (acurizal) (Pott; Pott, 1994). A maturação e queda de seus frutos ocorre a partir de abril/maio prolongando-se até setembro e outubro, ocorrendo diferenças significativas entre plantas crescendo ao sol e na sombra (Salis et al., 1996).

Dentre as espécies da fauna, várias dispersam suas sementes, consumindo-as e depositando-as em condições propícias para germinação, sendo este um processo lucrativo para as duas partes envolvidas. Poucas espécies são capazes de predação das sementes, notadamente a arara azul (*Anodorhynchus hyacinthinus*) (Guedes; Harper, 1995) e dois ratos de espinho (*Trychomys apereoides* e *Clyomys laticeps*).

Os dados obtidos demonstraram os mecanismos de ajuste fisiológico das plantas jovens de *A. phalerata* às variações nos ambientes testados sendo possível perceber a sensibilidade das plantas jovens desta espécie a estes diferentes ambientes. Objetivou-se estudar o desenvolvimento inicial de *A. phalerata* em diferentes condições ambientais gerando dados biológicos que contribuam para o entendimento dos mecanismos adaptativos ou de ajuste das plântulas e plantas jovens desta espécie às diferentes condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em parte nas dependências da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS na Unidade de Dourados-MS, bem como em uma área de reserva Florestal da Fazenda Coqueiro (latitude 22°12'20.26"S e longitude 54°54'52.15"O) um remanescente nativo de floresta semidecidual no município de Dourados-MS. O material biológico constitui de plantas jovens de *Attalea phalerata* obtidas a partir de sementes coletadas das fezes de bovinos presentes em área de pastagem no Sítio Recanto (04: 00, 22 ° 05 ' S, 54 ° 47 ' W), no município de Itaporã/MS.

Considerando-se que o fragmento de vegetação na área de pastagem possui um número de matrizes superior a 50 indivíduos, espera-se que tenha sido garantida, desta forma, a variabilidade genética do lote experimental. As sementes foram levadas para o viveiro, colocadas em bandeja contendo água por 45 horas, e posteriormente, cerca de 250 sementes foram colocadas para germinar em caixas de areia grossa lavada. Decorrido 2 (dois anos) desse procedimento as plântulas iniciaram sua emergência.

Para a execução dos experimentos, cerca de 120 mudas de *A. phalerata* foram transplantadas para vasos de polietileno de 5 litros, contendo adubação de base formada por quatro carrinhos de substrato agrícola e esterco bovino curado na proporção 3:1 enriquecido com 200g de NPK 4-14-8. As mesmas foram mantidas em condições de sombreamento em viveiro com cobertura sombrite 70%.

Dessa forma o delineamento experimental do atual projeto foi executado no período de novembro de 2012 à fevereiro de 2013, em que as plantas que se encontram em vasos sendo transplantadas para os devidos ambientes divididos em 4 condições distintas de luz: o controle (C), no qual as plantas foram mantidas no viveiro de mudas com cobertura sombrite 70% e irrigadas diariamente; o (LP) luz plena em uma área de plantio heterogenia da APP da UEMS Unidade Dourados/MS, em condição de semi-sombreamento (SS), com predomínio de indivíduos adultos de *Cecropia pachystachya*, e em condições de sub-bosque (SB) reserva Florestal da Fazenda Coqueiro mata nativa (22°12' S e 54°55'W), situada a dois quilômetros da Rodovia MS-162, Km 9 (Avenida Guaicurus), município de Dourados-MS.

Decorridos 3 meses do transplante para os vasos, em cada um dos ambientes, salvo na condição controle, as mudas foram novamente transplantadas agora para covas 25x25cm, e irrigadas com cerca de 3 litros de água. Para a identificação das plantas na área do plantio serão marcadas com auxílio de estacas de madeira 2 parcelas de 10x10m nas quais foram colocadas 15 plantas em cada parcela, com espaçamento de 2m. As plantas que se encontram em vasos foram transplantadas para os devidos ambientes divididos em 4 condições distintas de luz: para tanto, 15 indivíduos jovens foram transplantados dos vasos de 5 litros para as condições: (C) – controle, viveiro de mudas com cobertura 70%; (LP) - luz plena área aberta; (SS) - semi-sombreamento, com predomínio de indivíduos adultos de *Cecropia pachystachya*, sub-bosque (SB) floresta semi-decidual.

A coleta de dados fisiológicos de radiação fotossintética, temperatura das folhas, condutância estomática, foram realizados tomando-se as leituras diretamente das folhas a cada 15 dias após o plantio (DAP) em campo, a partir de leituras tomadas de duas folhas por muda no período compreendido entre as 8 – 9 horas da manhã, com auxílio de um porômetro Delta T, estes dados gerados foram possível auxiliar no desenvolvimento de técnicas mais eficientes para cultivo e manejo dessa espécie, visando tanto as práticas conservacionistas quanto de seu uso sustentável.

A análise estatística comparativa das médias obtidas foram efetuadas pela ANOVA aplicada aos dados de condutância estomática das folhas, e também o ajuste das plantas a diferentes condições e sua influência no potencial produtivo com base nos dados de foram efetuada a análise um critério, ou Kruskal Wallis, sendo as médias das variáveis comparadas pelo método de Tukey ou Dunn, este último no caso de variâncias desiguais, com auxílio do programa Bioestat. 6.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de condutância estomática variaram ao longo das diferentes leituras durante o período experimental, sendo que a condição controle (C) foi a que mais variou. A maior condutância foi observada aos 60 dias após o transplante (DAP), leitura no tratamento (C), (Figura 1) e a menor no tratamento (SB) no mesmo período.

Para condutância observou que houve uma variação ao longo das leituras, não sendo possível determinar ou apontar um fator predominante que influenciasse essa variável ao longo do tempo de leitura. A condição (C) foi aquela que apresentou a menor variação de condutância estomática o que pode estar relacionado à condição em que as plantas estavam condicionadas, enquanto os outros tratamentos diferiram ao longo das leituras.

E se tratando da perda de água pela planta além da cutícula das folhas, está ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é frequentemente utilizada como indicador da deficiência hídrica (Mc Dermitt, 1990).

O estado hídrico das plantas influencia em muito a condutância estomática afetando e sendo afetado pelo potencial hídrico da folha (Ψ - atuando como um mecanismo de retroalimentação ou *feedback*) ou se condutância estomática responde mais rapidamente à variação na umidade do ar (que determina o DPV) como um mecanismo de resposta antecipada (*feedforward*), para evitar a perda excessiva de água (Raschke, 1979), embora nosso experimento tenha sido montado em um período de verão, justamente no ano de 2012 em Dourados-MS a distribuição de chuvas foi atípica, sendo necessário a irrigação das plantas em campo, no entanto no ambiente controle a irrigação foi regular o que pode explicar as variações nesses ambientes.

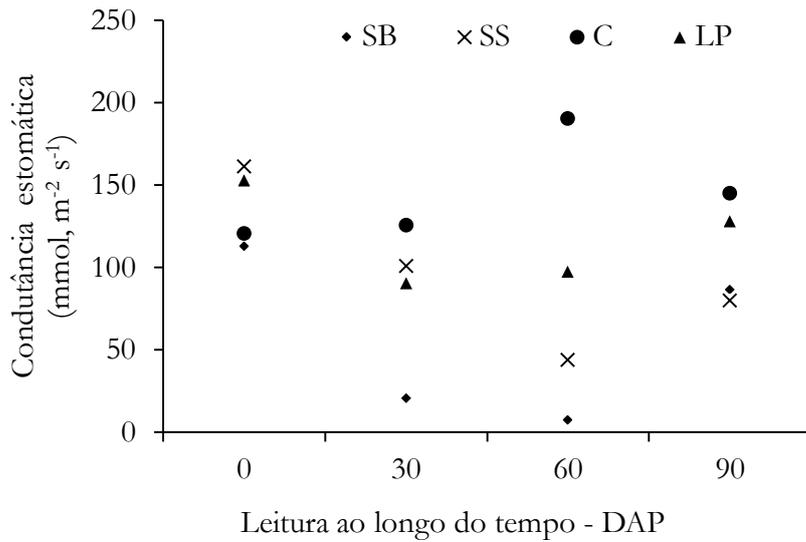


Figura 1. Comparação da condutância estomática de folhas de plantas jovens de *A. phalerata* em diferentes leituras nas diferentes condições ambientais. Controle (C), luz plena (LP), semi- sombreamento (SS) e sub-bosque (SB).

Foi observado que o tratamento LP foi o que apresentou um dos valores mais altos de irradiação (1020,7) em função da condição encontrada, sendo assim esse ambiente propicia as condições para o estresse lumínico para plantas não adaptadas à alta irradiância. De maneira contrária o ambiente SB com radiação média (54,8), também pode promover estresse lumínico por baixa irradiância a plantas não adaptadas a essa condição (Figura 2).

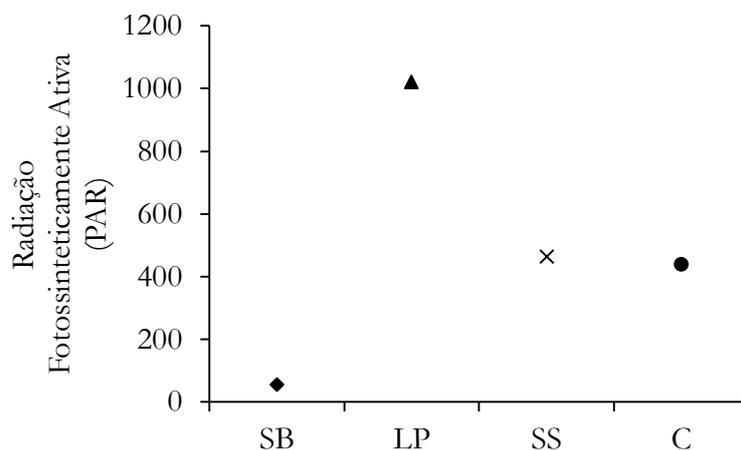


Figura 2. Comparação da radiação de folhas de plantas jovens de *A. phalerata* em diferentes leituras nas diferentes condições ambientais. Controle (C), luz plena (LP), semi- sombreamento (SS) e sub-bosque (SB).

A radiação é um dos fatores que mais influencia o desenvolvimento das plantas sendo que alta irradiância pode prejudicar o aparelho fotossintético de plantas não adaptadas, autores defendem que se a fotossíntese e a fotorrespiração não utilizarem a maior fração do poder redutor gerada na fase fotoquímica, pode ocorrer uma sobre-redução da cadeia de transporte de elétrons do cloroplasto. Nessa condição, elétrons podem daí escapar e serem usados para reduzir o oxigênio molecular, levando à formação de espécies reativas de oxigênio potencialmente capazes de resultar em danos foto-oxidativos (Lima et al., 2002; Pinheiro et al., 2004). A ocorrência de tais danos é exacerbada sob certas condições, como déficit hídrico, quando a utilização fotoquímica da energia radiante diminui e os mecanismos de defesa da planta podem não ser suficientes para dissipar a energia excedente.

O sombreamento, nesse contexto, poderia minimizar a ocorrência desses danos (DaMatta, 2004), assim desencadeando diversas reações no desempenho e nos processos da fotossíntese. Assim foi possível verificar um dos resultados esperados para os tratamentos ao longo das leituras, sendo que as plantas que se encontravam expostas a uma maior radiação fotossintética condicionadas a campo tenderam a se tornar mais propícia ao estresse lumínico, sendo observada em anotações a campo danos como as folhas amareladas quais apresentaram queimaduras em função da alta radiação, os quais reforçam o estresse lumínico.

Planta adaptada a ambientes com alta irradiância considerando-se essa plasticidade à luz, estão associados com aumentos de temperatura, elevação da demanda evaporativa da água, e, portanto, maior estresse hídrico (Niinemets; Valladares, 2004).

O maior crescimento em altura das plantas com redução no nível de luminosidade foi observado em outras espécies florestais sob sombreamento, como *Amburana cearensis*, *Tabebuia avellanedae*, *Erythrina speciosa* (Engel; Poggiani, 1990), *Bombacopsis glabra* (Scalon et al., 2003), *Croton urucurana* (Alvarenga et al., 2003), *Maclura tinctoria* e *Senna macranthera* (Almeida et al., 2005).

A temperatura da folha foi semelhante ao resultado observado tanto para condutância quanto para a radiação, sendo que a média variou ao longo do tempo nas diferentes condições ambientais (Figura 3). A menor média de temperatura na folha foi observada na condição de SB (28,3) e a maior para a condição LP (33.2), demonstrando dessa forma que estas duas variáveis radiação e temperatura são relacionadas.

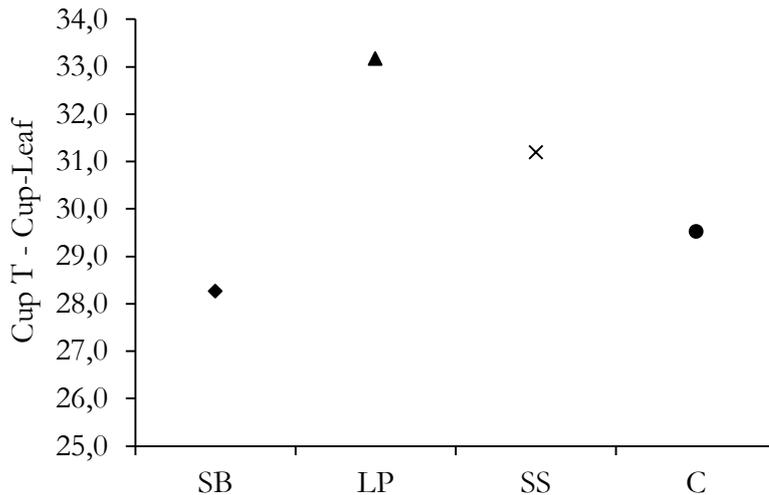


Figura 3. Temperatura das folhas (Cup T - Cup-Leaf) de plantas jovens de *A. phalerata* em diferentes condições ambientais. Controle (C), luz plena (LP), semi- sombreamento (SS) e sub-bosque (SB).

O aparelho fotossintético se compõe de diversas estruturas que servem para captar luz, absorver e dissipar, outros fatores determinam as diversas estruturas presente na folha, já que o movimento de abertura e fechamento dos estômatos depende também de fatores, como luz, CO₂, estado hídrico da folha, idade, umidade do ambiente, temperatura, estado nutricional, doenças entre outros (Jones, 1992). A quantidade, distribuição, forma e mobilidade do aparato estomático são características de uma espécie, as quais podem se alterar em função de adaptações às condições locais podendo variar de indivíduo para indivíduo (Larcher, 2000).

A estrutura da folha pode ser grandemente influenciada pelo nível de luz durante o crescimento. O aumento do nível de luz proporciona aumentos na espessura da folha, na massa foliar específica, no desenvolvimento da epiderme e do parênquima, e no número total de células das folhas (Voltan et al., 1992), bem como da temperatura. Sob limitada disponibilidade de luz (principal limitação), a falta de outro recurso, como a água, deve ter menor impacto sobre o desempenho da planta (Canham et al., 1996). As plantas sob alta irradiância, quando submetidas à deficiência hídrica, sofrem uma redução mais drástica na fotossíntese líquida, e podem ser mais predispostas à fotoinibição, em comparação com as plantas sombreadas (Holmgren, 2000).

As plantas têm decréscimos rápidos de fotossíntese sob intensa radiação solar e temperatura elevada, principalmente em decorrência do fechamento dos estômatos, sendo que no período da manhã é que se encontram as condições ótimas e a taxa máxima de fotossíntese (Nutman, 1937).

Os resultados observados para a temperatura da folha estão relacionados também às variáveis de radiação sendo possível observar que os menores valores para as medias foram àqueles apresentados no

tratamento SB e C (0,46), o qual se aproxima mais do ambiente de maior predomínio e ocorrência natural das plantas jovens da espécie (Figura 4).

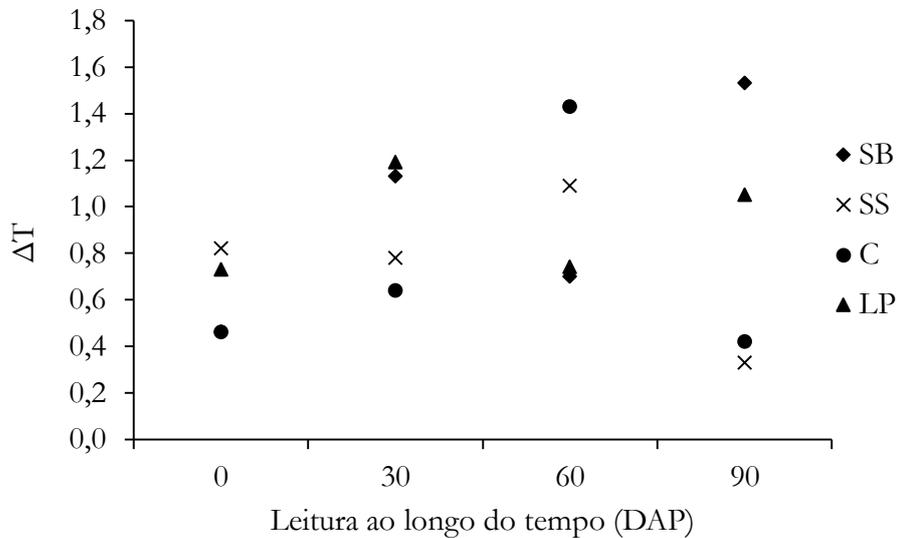


Figura 4. Comparação da temperatura de folhas de plantas jovens de *A. phalerata* em diferentes condições ambientais. Controle (C), luz plena (LP), semi- sombreamento (SS) e sub-bosque (SB).

As populações de plântulas e plantas jovens encontradas em sub-bosque estariam assim, sujeitas às condições de luz capazes de proporcionar um crescimento e desenvolvimento adequados. O sombreamento natural é um dos fatores mais importantes na interceptação da radiação, pois a densidade e a arquitetura da copa da espécie de porte mais alto determinam a fração de energia solar que pode ser captada pelas plantas subjacentes (Monteith, 1965).

E no ambiente de SB em função variação das temperaturas ambientais, apresentou à maior média (1,52), isso afeta também a temperatura da folha que aquece estando dessa forma, sujeita a maiores perdas de água da planta por transpiração. Nas plantas a pleno sol, as temperaturas de folha foram mais elevadas em virtude da exposição à intensa radiação solar (Figura 4); conseqüentemente, intensificou-se a diferença de pressão de vapor entre o ar e a folha, resultando em taxas mais elevadas de transpiração, que cumprem, ao final, o papel termo-regulador (Sutcliffe, 1980).

Desta forma, a radiação e a temperatura da folha são variáveis que estão intimamente relacionadas (Figura 4). Outra variável importante para se avalia a influência e o estabelecimento de plantas jovens em condições de campo consiste na fluorescência da clorofila-*a*, considerando a possibilidade que está oferece para que sejam feitas inferências acerca dos processos dissipatórios de energia.

CONCLUSÕES

O estudo desse trabalho tem importância por desenvolver técnicas eficientes que contribuam para o uso e conservação de plantas nativas em diferentes ambientes submetidas a estresse ambiental e altas irradiancias, sendo que esses fatores podem influenciar de modo significativo para o estabelecimento inicial e seu desenvolvimento em campo, assim foi possível obter resultados que indicam que as plantas jovens dessa espécie são adaptadas às condições encontradas de baixa e muito baixa irradiancia comuns, no sub-bosque, se diferenciando quanto ao tratamento de luz plena, onde fatores ambientais interferem no desenvolvimento e estabelecimento das plantas jovens.

Os dados apresentados de condutância não permitiram determinar ou apontar um fator predominante que influenciasse as variáveis ao longo do tempo de leitura, por ser uma variável mais sensível as respostas do clima.

A temperatura da folha está relacionada também as variáveis de radiação, desta forma foi possível observar diferenças significativas, pois as temperaturas da folha foram mais elevadas devido a exposição intensa à radiação solar no tratamento LP e o dados demonstram que as altas temperaturas da folhas influenciam no aparelho fotossintético diminuindo assim a eficiência das atividades metabólicas da planta, que sofre com o estresse lumínico. Também ligado a temperatura tem-se também uma perda de água da planta por transpiração.

Desta forma é possível obter dados que podem colaborar no desenvolvimento de técnicas mais eficientes para cultivo e manejo dessa espécie, visando tanto as práticas conservacionistas quanto de seu uso sustentável. Tendo em vista que esta espécie na expectativa de cultivo e manejo sugere que o plantio da muda seja consorciado com outras espécies que potencialmente possam gerar sombra para as mesmas terem um desenvolvimento adequado.

Assim, para plantas jovens de *Attalea phalerata* os dados obtidos neste trabalho sugerem uma melhor eficiência na utilização da energia luminosa nas condições de baixa irradiancia com menor dissipação não fotoquímica e maior eficiência quântica, o que pode ser relevante para explicar o seu recrutamento no sub-bosque bem como para o manejo das plantas, como por exemplo, nortear ações de plantio consorciado com outras espécies arbóreas, definição de espaçamento, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Das parcerias institucionais relacionadas a este projeto, destaca-se a FUNDECT, cuja parceria com a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, por intermédio da Divisão de Pesquisa - PROPP, conferiu maior aprimoramento dos projetos de Iniciação Científica, bem como o contato de alunos com o universo da pesquisa científica no âmbito formal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida SMZ, Soares AM, Castro EM, Vieira CV, Gajego EB (2005). Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. *Ciência Rural*, 35(1): 62-68.
- Alvarenga AA, Castro EM, Lima EC, Magalhães MM (2003). Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. *Revista Árvore*, 27(1): 53-57.
- Calbo MER, Moraes JAPV (1997). Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9 (2):117-123.
- Calbo MER, Moraes JAPV (2000). Efeitos da deficiência hídrica em plantas de *Enterpe oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, 23: 225–230.
- Canham CD, Berkowitz AR, Kelly VR, Lovett GM, Ollinger SV, Schnurr J (1996). Biomass allocation and multiple resource limitation in tree seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1521-1530. 266-277.
- Costa CJ, Marechi ECS (2008). Germinação de sementes de palmeiras com potencial para produção de agroenergia. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADO, 5p.
- DaMatta FM (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded *coffee*: a review. *Field Crops Research* 86: 99-114.
- Engel VL, Poggiani F (1990). Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. *IPEF*, 43/44: 1-10.
- Guedes NMR, Harper LH (1995). Hyacionth macaws in the Pantanal. In: Abramson J, Speer BL, Thomsen JB. (Eds.). *The large macaws: their care, breeding and conservation*. Fort Bragg: RaintreePublications, p. 163-174.
- Gomes FP, Oliva MA, Mielke MS, Almeida A-AF, Leite HG, Aquino LA (2008). Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 62, 195–204.
- Holmgren M (2000). Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-off in tolerance or facilitation? *Oikos*, 90: 67-78.
- Jones HG (1992). *Plants and microclimate*. 2nd ed. Cambridge: University Press, 428p.
- Larcher W (2000). *Ecofisiologia Vegetal*. Rima Artes & textos.

- Lima ALS, DaMatta FM, Pinheiro HA, Totola MR, Loureiro ME (2002). Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany* 47: 239-247.
- Ludlow MM, Muchow RC (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in waterlimited environments. *Advances in Agronomy*, San Diego, 43: 107-53.
- Luttige U (1997). *Physiological ecology of tropical plants*. Berlin: Springer. 384p.
- Mc Dermitt, DK (1990). Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. *HortScience*, 25(12): 1538-1548.
- Monteith JL (1965). Light distribution and photosynthesis in field crops. *Annals of Botany*, 29(113): 17-37.
- Niinemets Ü, Valladares F (2006). Tolerance to shade, drought and waterlogging of temperate, northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs* 76: 521-547.
- Nutman FJ (1937). Photosynthesis of *coffee* leaves under natural conditions. *Annals of Botany*, 1(3): 353-367.
- Oliveira MAJ, Bovi MLA, Machado EC, Gomes MMA, Habermann, G, Rodrigues J D (2002). Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agrícola*. 59: 59–63.
- Pearcy RW (1998). Acclimation to sun, shade. In: Raghavendra AS. *Photosynthesis: a comprehensive treatise*. Cambridge: Cambridge University Press. 250–263.
- Pinheiro HA, DaMatta FM, Chaves ARM, Fontes EPB, Loureiro ME (2004). Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science*, 167: 1307-1314.
- Pott A, Pott VJ (1994). *Plantas do Pantanal*. Corumbá, MS: EMBRAPA-SPI, 320p.
- Repellin A, Daniel C, Zuily-Fodil Y (1994). Merits of physiological tests for characterizing the performance of different coconut varieties subjected to drought. *Oleagineux*. 49: 155–167.
- Raschke K (1979). Movements using turgor mechanisms: Movements of stomata. In: Haupt W, Feinleib ME. (Ed.). *Encyclopedia of plant physiology*. Springer-Verlag. Berlin. 7: 383-441.
- Salis SM, Matos PP, Chalita LVS (1999). Fenologia de *Sheelea phalerata* no Pantanal da Nhecolândia, Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: *Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócios Econômicos do Pantanal, 1996, Corumbá. Manejo e conservação*. Corumbá: EMBRAPA-CPAP.
- Scalon SPQ, Mussury RM, Rigoni MR, Scalon Filho H (2003). Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. *Revista Árvore*, 27(6): 753-758.
- Sutcliffe JF (1980). *As plantas e a água*. São Paulo: Edusp, 67p.
- Voltan RBQ, Fahl JI, Carelli MLC (1992). Variação na Anatomia Foliar de Cafeeiros Submetidos a Diferentes Intensidades Luminosas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 4(2): 99-105.

Xavier ALS, Santiago EF (2012). *Plasticidade de respostas de fluorescência da clorofila a de Attalea phalerata Mart. Em diferentes condições ambientais*. Dissertação de mestrado. Recursos Naturais. UEMS 46p.

Influência do alagamento no crescimento de mudas de *Dipteryx alata* e a determinação de recuperação ao estresse no pós-alagamento

 10.46420/9786588319314cap5

Jéssica Aline Linné^{1*} 
Maílson Vieira Jesus¹ 
Vânia Tomazelli de Lima² 
Lucas Coutinho Reis¹ 
Joice Kellen Ventura dos Santos¹ 
Cleberton Correia Santos¹ 
Daiane Mugnol Dresch¹ 
Silvana de Paula Quintão Scalon¹ 

INTRODUÇÃO

Devido às alterações climáticas globais e aos fenômenos meteorológicos, como El Niño e La Niña, a distribuição e a frequência das chuvas têm variado consideravelmente nos últimos anos (Davidson et al., 2012; Jardim, 2018). Neste contexto, o estresse por alagamento em plantas pode implicar em uma série de mudanças morfofisiológicas e bioquímicas, como a paralisação ou redução do desenvolvimento da parte aérea e raízes, diminuição nas trocas gasosas, abscisão e senescência foliar, redução do acúmulo de biomassa de raízes, folhas e hastes, formação de novos órgãos e tecidos que auxiliem a sobrevivência sob a hipóxia, entre outras (Zanandrea et al., 2010; Zhao et al., 2014; Li et al., 2015).

Em ambientes sujeitos ao alagamento, a diminuição na concentração de oxigênio torna-se o fator mais limitante ao desenvolvimento vegetal, no entanto, algumas espécies arbóreas, a partir de suas frequências e ocorrências registradas em áreas alagadas, sinalizam potencial para tolerarem a hipóxia, e por conseguinte, exibem características adequadas para restaurar ambientes submetidos à alagamentos temporários (Gonçalves et al., 2013). A verificação da adaptação e ou respostas plásticas a nova condição adversa pode conferir tolerância ao estresse ou potencial de sobrevivência de uma espécie (Voesenek; Bailey-Serres, 2015; Junglos et al., 2018).

¹ Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil

² Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil

* Autor de correspondência: jessica.aline.linne@gmail.com

É importante destacar que sob qualquer estresse ambiental exercido, o efeito vai depender de cada organismo, da sua adaptação, dose e duração da exposição da espécie frente a este fator (Kranner et al., 2010), portanto o estudo dos estresses abióticos em diferentes estádios fenológicos torna-se fundamental. Outro fator de relevância é o pós-alagamento que segundo Voeselek e Bailey-Serres (2015), as pesquisas sobre os mecanismos que controlam a tolerância a inundações progrediram rapidamente, no entanto, existem muitas questões a serem esclarecidas sobre o metabolismo do estresse pós-alagamento.

Neste contexto, temos *Dipteryx alata* Vogel, popularmente conhecido por baru, amplamente encontrado no Cerrado brasileiro onde inundações sazonais estão sujeitas, além disso, é uma arbórea caracterizada pelo alto porte que pode atingir até 25 metros de altura, com caule reto, fruto do tipo drupa e copa densa e arredondada (Carrazza; Ávila, 2010). Esta espécie é considerada promissora para cultivo devido seus múltiplos usos, entre eles, sua exploração extrativista na agricultura familiar e seu emprego na recuperação de áreas degradadas (Sano et al., 2004, 2016). Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes tempos de alagamento no crescimento de mudas de *D. alata*, bem como verificar o comportamento destas mudas no pós-alagamento, determinando se há ou não a recuperação ao estresse.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de *D. alata* foram coletadas a partir de matrizes distribuídas em áreas remanescentes do Cerrado, entre os municípios de Dourados e Nova Alvorada do Sul, em Mato Grosso do Sul, Brasil e posteriormente levadas à Universidade Federal da Grande Dourados, onde foram selecionadas de acordo com sua uniformidade. As mudas foram produzidas em viveiros com telado de 30% de sombreamento e após a aclimação de aproximadamente 20 dias, foram realocadas para viveiro com 70% de sombreamento, onde permaneceram até o final do experimento.

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido (contendo Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa e areia na proporção de 2:1 (v:v) sob irrigação diária. As mudas com 54 dias após a semeadura foram transplantadas para vasos com capacidade de 8 litros mantendo solo, areia e adicionando substrato comercial Carolina® (2:1:1 v:v:v). A unidade experimental foi constituída por um vaso com duas mudas.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4 (dois regimes hídricos e quatro tempos), tanto para os tempos de alagamento quanto para os de pós-alagamento. Para avaliação do alagamento, as mudas foram classificadas em plântulas não alagadas e utilizadas como controle, as quais foram irrigadas com quantidade suficiente de água para atingirem 75% da capacidade de retenção de água (CRA) (Souza et al., 2000) e pelas mudas alagadas, as quais foram alocadas em uma piscina, mantendo lâmina de água de aproximadamente 5 cm acima da superfície do substrato (Figura 1).



Figura 1. Detalhe do experimento conduzido com a) Mudas alagadas de *D. alata* cultivadas sob 70 % de sombreamento e b) as mudas controle em mesmas condições de sombreamento. Fonte: Autoria própria.

Os quatro tempos de alagamento (0, 20, 40 e 60 dias), contendo os dois regimes hídricos acima mencionado, representaram os períodos de exposição das mudas ao alagamento comparadas com as mudas não alagadas, no qual o tempo de 0 dias foi caracterizado pelas avaliações das mudas sob as mesmas condições, ou seja, ainda não havia o efeito do estresse por alagamento.

Em cada período de avaliação, 12 mudas alagadas eram retiradas, sendo uma parte destinada às avaliações do efeito do alagamento e a outra, drenada naturalmente e mantida à 75% de CRA, para ser avaliada na fase seguinte, de pós-alagamento que consistiu em avaliar as mudas 100 dias após a suspensão de cada período de alagamento, sendo caracterizado como 0+100 dias, 20+100 dias, 40+100 dias e 60+100 dias, também considerando as mudas não alagadas (controle) que também foram avaliadas nos mesmos tempos anteriores.

As seguintes características de crescimento foram avaliadas nos tempos de alagamento e pós-alagamento com uma amostra de 6 plantas para cada variável:

- **Altura de plântula:** foi determinada com uso de uma régua graduada, medindo-se a haste principal, da superfície do solo até a inserção da última folha visível (meristema apical), sendo os resultados expressos em cm;
- **Comprimento de raiz:** medido na maior raiz (cm) com uma régua graduada em milímetros;
- **Diâmetro de coleto:** obtido com o auxílio de paquímetro digital, medindo-se na altura do coleto da plântula. Os resultados foram expressos em mm;

– **Massa seca da parte aérea e raiz:** Separadamente, as raízes e partes aéreas eram colocadas em sacos de papel Kraft, acondicionando-os em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até atingiram massa constante. Posteriormente, a pesagem dos materiais era feita em balança analítica de precisão. Os resultados foram expressos em g planta⁻¹.

– **Área foliar:** obtida com o auxílio do equipamento LI-COR modelo LI-3100C. Os resultados foram expressos em cm².

– **Índice de clorofila:** através do medidor portátil de clorofila modelo SPAD-502 (Konica-Minolta, Tokyo, Japan).

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, as médias dos regimes hídricos foram comparadas pelo teste T de Bonferroni (5%) e os tempos foram ajustados por equações de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alagamento prejudicou todas as variáveis de crescimento quando em comparação ao controle, no qual a maioria destas características estiveram comprometidas a partir dos 20 dias de alagamento, com exceção apenas para diâmetro de coleto e área foliar que foram prejudicados a partir dos 40 dias de inundação. De modo geral, os 100 dias após a suspensão dos alagamentos não foi tempo suficiente para as plantas previamente alagadas recuperarem as características avaliadas.

O alagamento impossibilitou o desenvolvimento de altura de planta, mantendo-a em níveis estáveis durante os tempos de alagamento, embora sem ajuste ao modelo matemático adotado (Figura 2a). As mudas previamente alagadas não recuperaram esta característica após os 100 dias do término dos alagamentos (Figura 2b).

Resultados semelhantes foram encontrados no comprimento de raiz, no qual o alagamento impossibilitou o desenvolvimento dessa estrutura desde os 20 dias de alagamento (Figura 2c), sem a recuperação por cem dias das plantas previamente alagadas (Figura 2d).

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

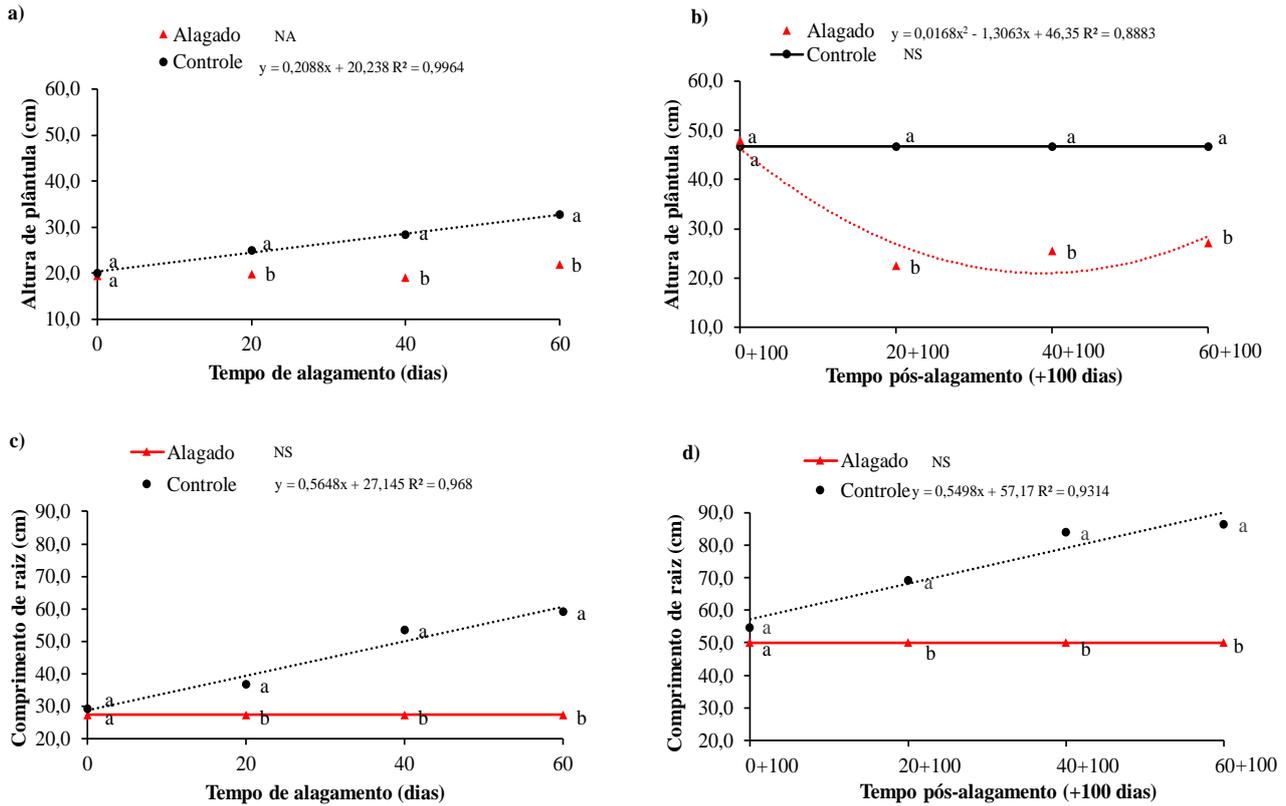


Figura 2. Crescimento de mudas de *D. alata* com a) avaliação da altura de plântula (cm) em função dos regimes hídricos e tempos de alagamento b) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos; c) avaliação de comprimento de raiz (cm) em função dos regimes hídricos e tempos de alagamento d) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p \geq 0,05$) para os regimes hídricos. NS= não significativo. NA= não ajustado.

O diâmetro de coleto também foi influenciado pelo alagamento, impossibilitando a sua expansão, no entanto diferiu-se estatisticamente do controle apenas a partir dos 40 dias (Figura 3a). No entanto, as plantas previamente alagadas por 40 e 60 dias não recuperaram essa característica 100 dias pós-alagamentos (Figura 3b).

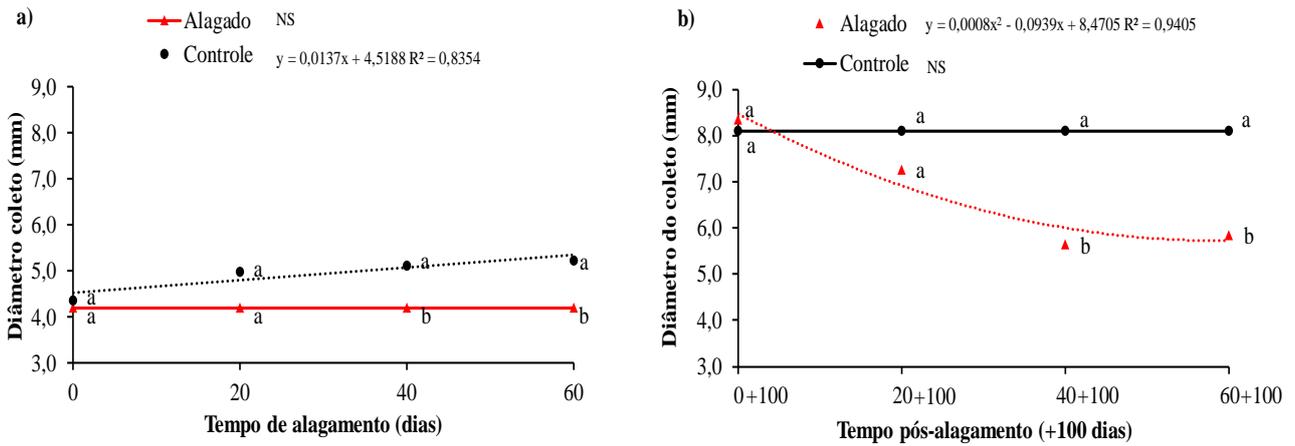


Figura 3. Crescimento de mudas de *D. alata* com a) avaliação de diâmetro de coleto (mm) em função dos regimes hídricos e tempos de alagamento b) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p \geq 0,05$) para os regimes hídricos. NS= não significativo.

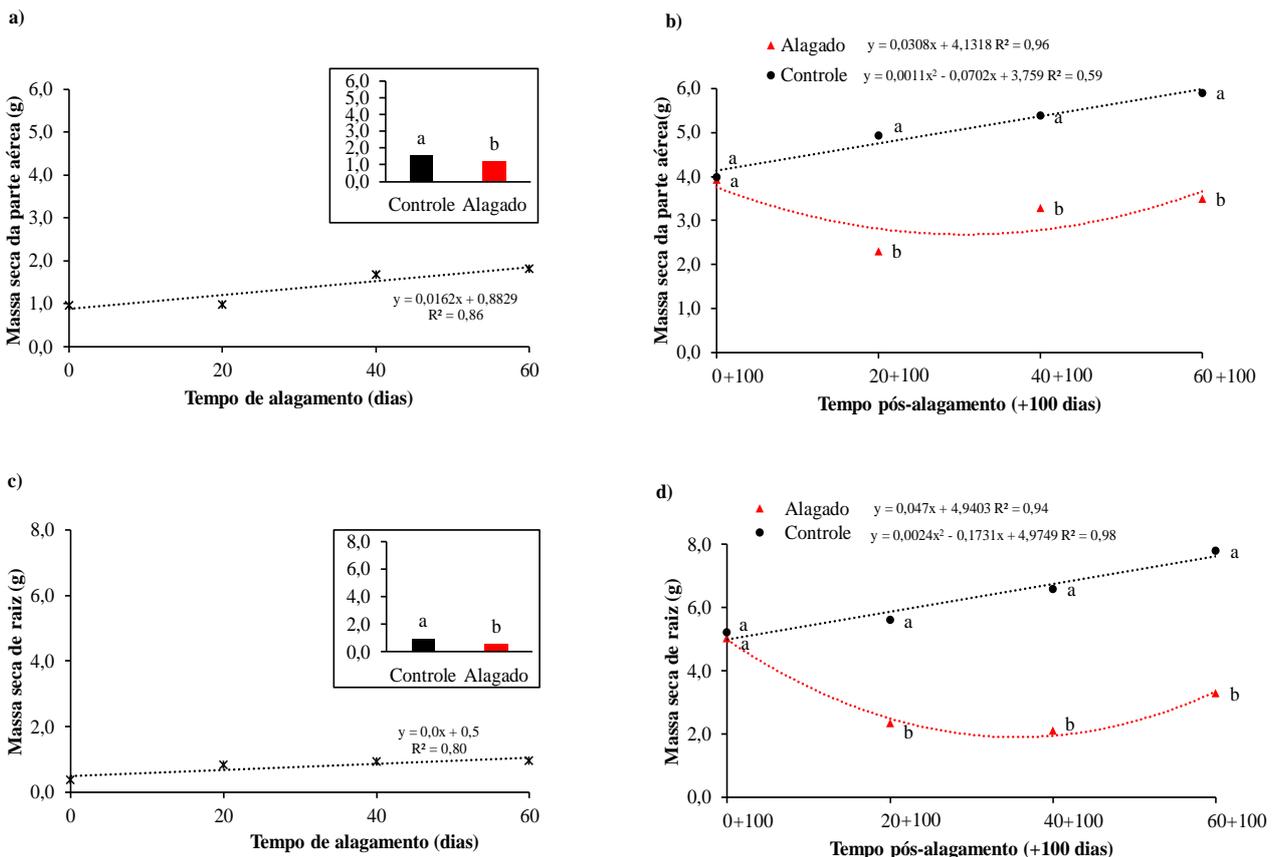


Figura 4. Crescimento de mudas de *D. alata* com a) Massa seca da parte aérea (g) em função dos regimes hídricos (gráfico interno) e tempos de alagamento, isoladamente b) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos em interação; c) Massa seca de raiz (g) em função dos regimes hídricos (gráfico interno) e tempos de alagamento, isoladamente d) e em função dos

regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos em interação. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p \geq 0,05$) para os regimes hídricos.

Em relação as massas secas de raiz e parte área, ambas estiveram em função isoladamente dos regimes hídricos e tempos de alagamento, no entanto no pós-alagamento houve a interação dos dois fatores. A massa seca da parte área aumento conforme os tempos avaliados e o alagamento prejudicou o acúmulo de biomassa, isoladamente (Figura 4a). Os mesmos resultados foram observados para a massa seca de raiz (Figura 4c). No período de pós-alagamento a interação entre os fatores demonstrou uma diferença significativa para todas as plantas previamente alagadas, as quais apresentaram menor acúmulo de massa seca da parte área (Figura 4b) e de raiz (Figura 4d) em relação ao controle.

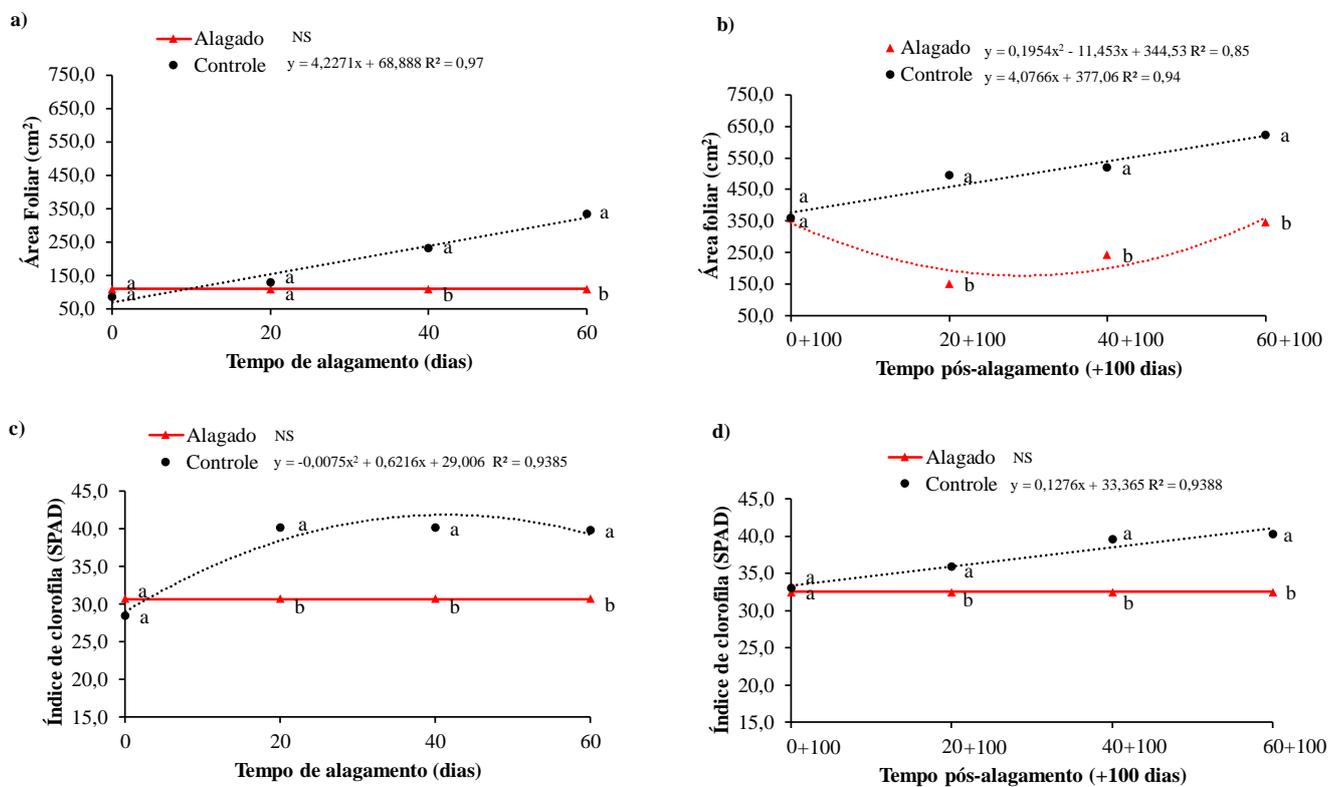


Figura 5. a) Área folia (cm²) em função dos regimes hídricos e tempos de alagamento b) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos; c) Índice de clorofila (SPAD) em função dos regimes hídricos e tempos de alagamento d) e em função dos regimes hídricos e nas mudas previamente alagadas com 100 dias pós-alagamentos. Letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni ($p \geq 0,05$) para os regimes hídricos. NS= não significativo.

A área foliar obteve resultados semelhantes ao diâmetro de coleto, no qual o alagamento foi prejudicial para a sua expansão a partir dos 40 dias (Figura 5a). Fatores indeterminados, como por exemplo condições climáticas ou outras variáveis, resultaram na diferença significativa das plantas previamente

alagadas por 20 dias em comparação ao controle (Figura 5b). No entanto, não houve a recuperação das plantas previamente alagadas a partir dos 40 dias, uma vez que estas diferiram-se do controle (Figura 5b).

O índice de clorofila foi prejudicado desde os 20 dias de alagamento (Figura 5c), no qual não houve a recuperação para as plantas previamente alagadas a partir dos 20 dias em diante (Figura 5d).

Os resultados obtidos pela redução de crescimento com o alagamento já eram esperados, uma vez que na condição de hipóxia gerada em decorrência deste estresse, as plantas recorrem ao mecanismo de fuga ao estresse, destinando um custo energético mínimo para a taxa de crescimento vegetal ou, em alguns casos, a paralisação total desse processo como medida de proteção, logo as reservas energéticas são destinadas à processos que auxiliem a sobrevivência direta da planta nessas condições, como por exemplo, formação de raízes adventícias, aerênquimas, pneumatóforos e lenticelas que auxiliam as trocas gasosas nestas condições (Chaves et al., 2002; Dolferus, 2014; Kissmann et al., 2014). A redução de do acúmulo de biomassa seca sob alagamento deve estar intimamente relacionada a paralisação do crescimento e, no caso da parte aérea também é possível citar que nessas condições é comum a intensa queda de folhas e clorose que também contribuem para diminuição desta matéria (Silveira et al., 2015).

A redução no índice de clorofila sob inundação pode ser relacionada à menor assimilação de nitrogênio, necessário na síntese de clorofila. A hipóxia dificulta as atividades da enzima redutase do nitrato, o que conseqüente prejudica os teores de nitrogênio na parte aérea da planta, os quais estão intimamente associados aos índices de clorofilas (Bonfim-Silva et al., 2011; Gonçalves et al., 2012; Wang et al., 2014).

Em sumo, o alagamento a partir dos 20 dias já foi o suficiente para o prejuízo da maioria das características de crescimento avaliadas em mudas de *D. alata* cultivadas sob 70% de sombreamento, com exceção para as características de diâmetro de coleto e área foliar, as quais foram prejudicadas a partir dos 40 dias de alagamento. O pós-alagamento com o período de 100 dias não foi o suficiente para que as mudas previamente alagadas recuperassem a maioria destas características. Logo, períodos superiores à 100 dias de pós-alagamento poderiam permitir a recuperação das variáveis de crescimento, para isso é necessário que mais estudos sejam realizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonfim-Silva EM, Silva TJA, Cabral CEA, Kroth BE, Rezende D (2011). Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, 24(2): 180-186.
- Carrazza L, Ávila J (2010). *Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Baru*. 2. ed. Editora: ISPN, Brasília. 56p.

- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osório ML, Carvalho I, Faria T, Pinheiro, C (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7): 907-916.
- Davidson AE, Araújo AC, Artaxo P, Balch JK, Brown IF, Bustamante MMC, Coe MT, Defries RS, Keller M., Longo M, Munger JW, Schroeder W, Soares-Filho BS, Souza CM, Wofsy SC (2012). The Amazon bases in transition. *Nature*, 481(7381): 321-328.
- Dolferus R (2014). To grow or not to grow: a stressful decision for plants. *Plant Science*, 229: 247-261.
- Ferreira DF (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6): 1039-1042.
- Gonçalves JFDC, Melo EGDF, Ferreira MJ, Silva CEMD, Gomes IB (2013). Crescimento, partição de biomassa e fotossíntese em plantas jovens de *Genipa spruceana* submetidas ao alagamento. *Cerne*, 19(2): 193-200.
- Gonçalves JFDC, Melo EGDF, Silva CEMD, Ferreira MJ, Justino GC (2012). Estratégias no uso da energia luminosa por plantas jovens de *Genipa spruceana* Steyererm submetidas ao alagamento. *Acta Botanica Brasílica*, 26(2): 391-398.
- Jardim CH (2018). Aspectos teórico-metodológicos relativos à dimensão temporal e espacial do clima. *Revista Geografias*, 82-95.
- Junglos FS, Junglos MS, Dresch DM, Bento LF, Santiago EF, Mussury RM, Scalon SDPQ (2018). Morphophysiological responses of *Ormosia arborea* (Fabaceae) seedlings under flooding and post-flooding conditions. *Australian Journal of Botany*, 66(7): 489-499.
- Kissmann C, Veiga EB, Eichemberg MT, Habermann G (2014). Morphological effects of flooding on *Styrax pohlii* and the dynamics of physiological responses during flooding and post-flooding conditions. *Aquatic Botany*, 119: 7-14.
- Kranner I, Minibayeva FV, Beckett RP, Seal CE (2010). What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytologist*, 188(3): 655-673.
- Li M, López R, Venturas M, Pita P, Gordaliza GG, Gil L, Rodríguez-Calcerrada J (2015). Greater resistance to flooding of seedlings of *Ulmus laevis* than *Ulmus minor* is related to the maintenance of a more positive carbon balance. *Trees*, 29(3): 835-848.
- Sano SM, Brito MA, Ribeiro JF (2016). *Dipteryx alata*: Baru. In: Vieira RF, Camillo J, Coradin L (Eds.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste*. Brasília: MMA. Série Biodiversidade 44: 203-215.
- Sano SM, Ribeiro JF, Brito MA (2004). *Baru: biologia e uso*. Editora: Embrapa Cerrados, Planaltina. 52p.
- Silveira NM, Alves JD, Deuner S, Dousseau S, Henrique PDC (2015). Crescimento e partição de carboidratos em plantas de *Sebastiania membranifolia* submetidas ao alagamento. *Cerne*, 21(1): 67-74.

- Souza CCD, Oliveira FAD, Silva IDFD, Amorim Neto MDS (2000). Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3): 338-342.
- Voesenek LA, Bailey-Serres J (2015). Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytologist*, 206(1): 57-73.
- Wang G, Bronson KF, Thorp KR, Mon J, Badaruddin M. (2014). Multiple leaf measurements improve effectiveness of chlorophyll meter for durum wheat nitrogen management. *Crop Science*, 54(2): 817-826.
- Zanandrea I, Alves JD, Deuner S, Goulart PFP, Henrique PC, Silveira NM (2010). Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. *Australian Journal of Botany*, 57(8): 661-669.
- Zhao HF, Zhao Y, Zhang C, Tao X, Xu XN (2014). Growth, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence responses of two cultivars of *Salix integra* Thunb to waterlogging stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 137-149.

Propagação *in vitro* da canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.)

 10.46420/9786588319314cap6

Daniella Arai Zanetta Bassan¹ 

Silvia Correa Santos^{2*} 

Claudia Roberta Damiani² 

Livia Maria Chamma Davide² 

Elias Silva de Medeiros² 

Luiz Guilherme Vieira de Carvalho² 

Viviane Wruck Trovato² 

Gilmar Gabriel de Souza² 

INTRODUÇÃO

A canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) é uma leguminosa arbórea de grande porte, da família Caesalpinaceae, com grande potencial para reflorestamento devido sua ocorrência natural em diversos tipos de solo, com baixa exigência quanto à fertilidade química do solo e apresenta plasticidade adaptativa (Carvalho, 1994). Tendo em vista a necessidade de ampliação da base de dados de espécies nativas e genótipos potenciais para cada região do país, têm-se buscado conhecer mais a respeito da silvicultura de espécies nativas que tenham crescimento rápido, aliado a alta produtividade de madeira (Bertolini et al., 2015).

A propagação da maioria das espécies florestais ocorre via semente, a qual gera variabilidade genética, resultado da recombinação gênica ou das diversas possibilidades de recombinação dos gametas femininos e masculinos durante a fecundação (Gauer; Cavalli-Molina, 2000). Devido à recombinação gênica na reprodução sexuada, resultante da polinização livre, genótipos elite correm o risco de deixar de transmitir suas características superiores à sua descendência. Entretanto, quando ocorre multiplicação por autofecundação ou via propagação vegetativa este risco é quase nulo (Ribas et al., 2005). Dentre as formas de propagação vegetativa, a propagação via cultura de tecidos pode ser uma ferramenta valiosa para obter mudas para reflorestamento de áreas perturbadas, bem como gerenciar espécies ameaçadas de extinção (Souza et al., 2017).

¹ IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul – Brasil.

² Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil.

* Autor para correspondência: silviasantos@ufgd.edu.br

A cultura de tecidos representa uma das formas mais viáveis de multiplicação de matrizes selecionadas de espécies florestais (Oliveira et al., 2013). Contudo, os protocolos de estabelecimento *in vitro* e subsequentes etapas para a produção de plantas viáveis pode variar bastante entre diferentes espécies (Ram et al., 2012). Durante o processo de micropropagação é importante obter taxas satisfatórias de multiplicação com o mínimo de variação de explante para explante (Morais et al., 2012), sendo os principais limitantes para o sucesso dessa técnica, o genótipo, a desinfestação superficial e a superação de recalcitrância dos explantes (Borges et al., 2012). Estando *in vitro*, a recalcitrância de espécies é a incapacidade de as plantas responderem a cultura de tecidos e, de acordo com Carra et al. (2019), pode estar relacionada a uma variedade de fatores desencadeantes. Dentre estes fatores pode-se citar os genéticos (Mccown, 2000), a fisiologia das plantas doadoras, a manipulação *in vitro* e estresses da cultura *in vitro* (Benson, 2000).

A desinfestação dos explantes é um dos fatores mais críticos para o estabelecimento da cultura asséptica *in vitro* (Brondani et al., 2009), sendo imprescindível nesta etapa o controle da contaminação dos explantes, que pode variar de acordo com a espécie estudada em função dos microrganismos endofíticos específicos e das condições sanitárias das sementes (Souza et al., 2017).

Para o cultivo *in vitro*, o principal meio de cultura é o MS (Murashige; Skoog, 1962), no entanto para espécies lenhosas o WPM (Woody Plant Medium) (Lloyd; Mccown, 1980) têm sido muito utilizado (Oliveira et al., 2013). MS e WPM possuem diferentes concentrações de sais basais utilizados para induzir e manter a embriogênese e organogênese, segundo Costa (2019), o meio de cultura MS tem sido muito utilizado em trabalhos com espécies da família Fabaceae.

Na etapa de multiplicação, os fatores mais importantes são o tipo e a concentração de citocinina, sendo estas indispensáveis para a superação de dominância apical e indução de proliferação de gemas axilares (Brondani et al., 2009). As espécies respondem diferentemente a tipo e concentrações de citocinina, portanto, o sucesso nesta etapa está nas tentativas e erros, e nas necessidades e/ou problemas encontrados durante os testes. A concentração de citocinina utilizada deve induzir uma taxa de proliferação aceitável sem causar o amarelecimento ou malformação dos brotos (Inácio, 2010). A Zeatina é uma citocinina natural (Cid; Teixeira, 2014), enquanto a 6-benzilaminopurina (BAP) é sintética e utilizada em diferentes espécies na cultura de tecidos (Soares, 2011).

O enraizamento é uma etapa que define o resultado final da micropropagação, e consiste na formação de raízes adventícias na base das microestacas. No enraizamento *in vitro*, as raízes são induzidas em meio de cultura sob condições laboratoriais, sendo em última fase, as plantas transplantadas para substratos e acondicionadas em casa de vegetação para a aclimatização. Neste caso, tem-se melhor controle das condições de cultura obtendo-se elevados percentuais de enraizamento (Leitzke et al., 2009). Em geral,

a composição do meio de cultura e o tipo e concentrações de auxina são as variáveis que mais influenciam o enraizamento, sendo as respostas dependentes do genótipo (Oliveira et al., 2013).

As auxinas mais utilizadas para promover a indução de raízes e melhorar o sistema radicular formado, são o ácido indolbutírico (AIB), o ácido naftaleno acético (ANA) e o ácido 3-indolacético (AIA) (Santos-Serejo et al., 2006). Borges et al. (2012), relatam que o AIB é a auxina sintética mais empregada com sucesso no enraizamento *in vitro* de diferentes espécies, pois estimula a iniciação radicial promovendo aumento da porcentagem e a uniformidade do enraizamento, possibilitando a redução do tempo de permanência na fase de produção de mudas, além de não causar fitotoxicidade aos explantes em uma larga faixa de concentração (Pizzatto et al., 2011).

A geração de protocolos é primordial para a micropropagação, uma vez que cada espécie responde diferentemente às condições de estabelecimento, multiplicação, enraizamento e de aclimatização (Hua et al., 2014). No caso da canafístula, as informações sobre a micropropagação da espécie ainda são escassas. Estudos realizados por Bassan et al. (2006), Curti (2011) e Cândido (2013) não obtiveram um protocolo eficiente de propagação clonal a partir da cultura de tecidos, embora afirmem que a espécie tem potencial para a micropropagação e ressaltam a necessidade de novos estudos.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi estabelecer um protocolo eficiente de propagação clonal para a canafístula a partir da cultura de tecidos, passando pelas etapas de estabelecimento, multiplicação e enraizamento *in vitro*.

MATERIAL E MÉTODOS

Estabelecimento in vitro

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Biotecnologia Vegetal da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais (FCBA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, no período de abril a agosto de 2017.

Para a obtenção das plantas doadoras de explantes, as sementes foram coletadas de matrizes localizadas nos municípios de Angélica e Ivinhema (MS) e submetidas à escarificação térmica em água quente (95 °C), por 24 horas (Oliveira et al., 2013). A semeadura foi realizada em tubetes contendo substrato florestal. Aos 85 dias após a semeadura, ramos caulinares com aproximadamente 60 - 80 mm foram excisados.

No laboratório, os ramos foram lavados em água corrente e suas folhas retiradas. Em câmara de fluxo laminar, os ramos vegetativos foram esterilizados superficialmente por meio de lavagem com álcool 70% (1 minuto) e imersão em solução de hipoclorito de sódio 2,5%, sob agitação constante, por cinco e 10 minutos. Para cada 500 mL de solução de hipoclorito foi adicionado 0,5 mL de detergente (Tween 80).

Após a esterilização superficial foram realizadas três lavagens com água estéril, seguida da preparação e inoculação dos explantes em meio de cultura Wood Plant Medium - WPM (Lloyd; Mccown, 1980), acrescido de 5,0 mg L⁻¹ de BAP (6-benzilaminopurina), 30 g L⁻¹ de sacarose, 100 mg L⁻¹ de mio-inositol e 6 g L⁻¹ de ágar, sendo o pH ajustado para 5,8 antes da adição do ágar. O meio de cultura foi esterilizado em autoclave a 121°C e 1,5 atm por 20 minutos. Após a inoculação dos explantes, os frascos de cultivo (tubos de ensaio) foram mantidos em sala de crescimento com temperatura controlada de 25 ± 2°C em período de escuro por 7 dias e, posteriormente, foram submetidos à luminosidade com densidade de fluxo de fótons de 45 μmol.m².s e fotoperíodo de 16 horas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 2x2. Os fatores avaliados foram o tipo de explante (um nó com a gema apical e segmento nodal com duas gemas laterais) e o tempo de desinfestação (5 e 10 minutos) em hipoclorito de sódio (2,5%), totalizando quatro tratamentos. Cada tratamento foi constituído de dez repetições e cada repetição constituída de oito tubos de ensaio com um explante cada.

As avaliações foram realizadas aos 7 e 41 dias após a desinfecção. As características analisadas aos 7 dias foram: porcentagem de contaminação fúngica (FUNG) e bacteriana (BACT), e explantes oxidados (OXID). Aos 41 dias foram analisadas: porcentagem de explantes estabelecidos (SOB), número médio de folhas por brotação (NF/B), número médio de brotos por explante (NB) e comprimento médio das brotações (CB), presença ou ausência de calos (CALO). Durante as avaliações, os tubos com contaminações e com explantes totalmente oxidados foram descartados.

Os dados obtidos foram avaliados por meio da análise de deviance, sendo utilizado o modelo linear generalizado com famílias Binomial e Poisson (Resende; Biele, 2002). Variáveis binomiais relevantes na área biológica são aquelas provenientes de experimentos do tipo dose-resposta, em que os indivíduos sobrevivem, ou não, em função da dosagem do elemento adverso (produto químico, nível de estresse, etc.). Neste caso, geralmente são atribuídos, por exemplo, os valores 1 para os indivíduos sobreviventes e zero para os mortos (Resende; Biele, 2002).

Para as variáveis SOB, OXID, FUNG e BACT foi utilizado o modelo de regressão Binomial com função de ligação logit. Para as variáveis NB e NF/B foi utilizado o modelo de regressão Poisson com função de ligação log. Para verificar a significância de cada fator foi utilizando o teste Qui-Quadrado na análise de deviance. Como os dois fatores (Explante e Tempo) possuem apenas dois níveis, a análise de deviance já é conclusiva para comparação entre os níveis. Para a variável CB foi realizada a análise de variância sendo utilizando a transformação Box Cox. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2018) e para as análises gráficas foram utilizadas as bibliotecas ggplot2 (Wickham, 2016).

Multiplicação e enraizamento in vitro

Os experimentos visando à multiplicação e enraizamento da canafístula, foram desenvolvidos no período de agosto de 2018 a março de 2019.

O material vegetal utilizado nas etapas descritas a seguir foi oriundo de plântulas advindas de sementes germinadas *in vitro*. As sementes foram coletadas de matrizes nos municípios de Angélica e Ivinhema (MS) e submetidas à escarificação mecânica na ponta oposta ao hilo, com uso de lixa. O meio de cultivo utilizado, bem como os protocolos para germinação e estabelecimento *in vitro* já foram descritos.

Nesta fase foram utilizados segmentos nodais caulinares, com duas gemas laterais sem folhas e o ápice excisado com aproximadamente 1,0 cm, oriundas do cultivo *in vitro*. Os fatores estudados foram três concentrações de Zeatina (ZEA), em delineamento inteiramente casualizado, totalizando três tratamentos com dez repetições, sendo cada repetição constituída por um frasco de cultivo de 260 mL, contendo 50 mL de meio de cultura com quatro explantes cada. O meio de cultura utilizado foi o meio WPM, acrescido de 1,0 g L⁻¹ de carvão ativado, zeatina de acordo com o tratamento, 30 g L⁻¹ de sacarose, 100 mg L⁻¹ de mio-inositol e 6 g L⁻¹ de ágar, sendo o pH ajustado para 5,8 antes da adição do ágar. O meio de cultura foi esterilizado em autoclave a 121°C e 1,5 atm por 20 minutos. Após a inoculação, os frascos com explantes foram mantidos em sala de crescimento com condições controladas conforme descrito no item 2.1.

As avaliações foram realizadas após 40 dias de cultivo, sendo analisadas: sobrevivência (SOB), explantes que emitiram brotações adventícias (EBA), explantes que formaram calo (CALO), número médio de brotações por explante (B/E), comprimento médio das brotações (CB) e número médio de folhas por brotação (NF).

Os resultados foram avaliados por meio da análise de deviance, utilizando o modelo linear generalizado com famílias Binomial e Poisson. Para as variáveis SOB, CALO e EB foi utilizado o modelo de regressão Binomial com função de ligação logit. Para as variáveis NB/E e NF/B foi utilizado o modelo de regressão Poisson com função de ligação log. Para verificar a significância de cada fator foi utilizando o teste Qui-Quadrado na análise de deviance. Para a variável CB foi proposta a análise de variância sendo aplicado o teste Tukey para comparação entre os níveis de Zeatinina. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2018) e para as análises gráficas foram utilizadas as bibliotecas ggplot2 (Wickham, 2016).

Enraizamento in vitro

Na fase de enraizamento foram utilizados segmentos nodais caulinares, com duas folhas e a gema apical, de cerca de 2,0 cm, oriundas do cultivo *in vitro*. Os fatores estudados foram a concentração de AIB: 0; 2,5 e 5,0 mg L⁻¹, em delineamento inteiramente casualizado, totalizando três tratamentos com dez repetições, sendo cada repetição constituída por um frasco de cultivo de 260 mL, contendo 50 mL de

meio, com quatro explantes cada. O meio de cultura utilizado foi o meio WPM acrescido de 1,0 g L⁻¹ de carvão ativado, AIB de acordo com o tratamento, 30 g L⁻¹ de sacarose, 100 mg L⁻¹ de mio-inositol e 6 g L⁻¹ de ágar, sendo o pH ajustado para 5,8 antes da adição do ágar. O meio de cultura foi esterilizado em autoclave a 121°C e 1,5 atm por 20 minutos. Após a inoculação, os frascos com explantes foram mantidos em sala de crescimento com condições controladas, descrito no item 2.1.

As avaliações foram realizadas após 40 dias de cultivo, sendo analisadas: sobrevivência (SOB), explantes que emitiram raízes (ER), explantes que formaram calo (CALOS), número médio de raízes (NMR) e comprimento médio das raízes (CR).

Os resultados foram avaliados por meio da análise de deviance, através do modelo linear generalizado com família Binomial e função de ligação logit. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2018) e para as análises gráficas foram utilizadas as bibliotecas ggplot2 (Wickham, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de deviance foram detectadas diferenças significativas a 1% de probabilidade entre o tipo de explante para as variáveis sobrevivência, oxidação, contaminação fúngica e bacteriana e número de folhas por broto. Para o fator tempo de desinfestação, somente oxidação apresentou diferença significativa. A interação do explante e tempo de desinfestação mostrou-se significativa para a variável número de folhas por broto (Tabela 1). Os resultados sugerem que a escolha do explante refletiu nos resultados apresentados.

Tabela 1. Valores de p para sobrevivência (SOB), oxidação (OXID), contaminação fúngica (FUNGO), contaminação bacteriana (BACT), número de broto (NB) e número de folhas por broto (NF/B) - fase de estabelecimento.

FV	Sob	Oxid	Fungo	Bact	Nb	Nf/b
Explante	< 0,0001**	0,0005**	0,0013**	1	0,0229**	< 0,0001**
Tempo des.	0,0537	0,0003**	0,6821	1	0,3748	0,2154
E x t	0,4289	1	0,9999	1	0,1852	0,0001**

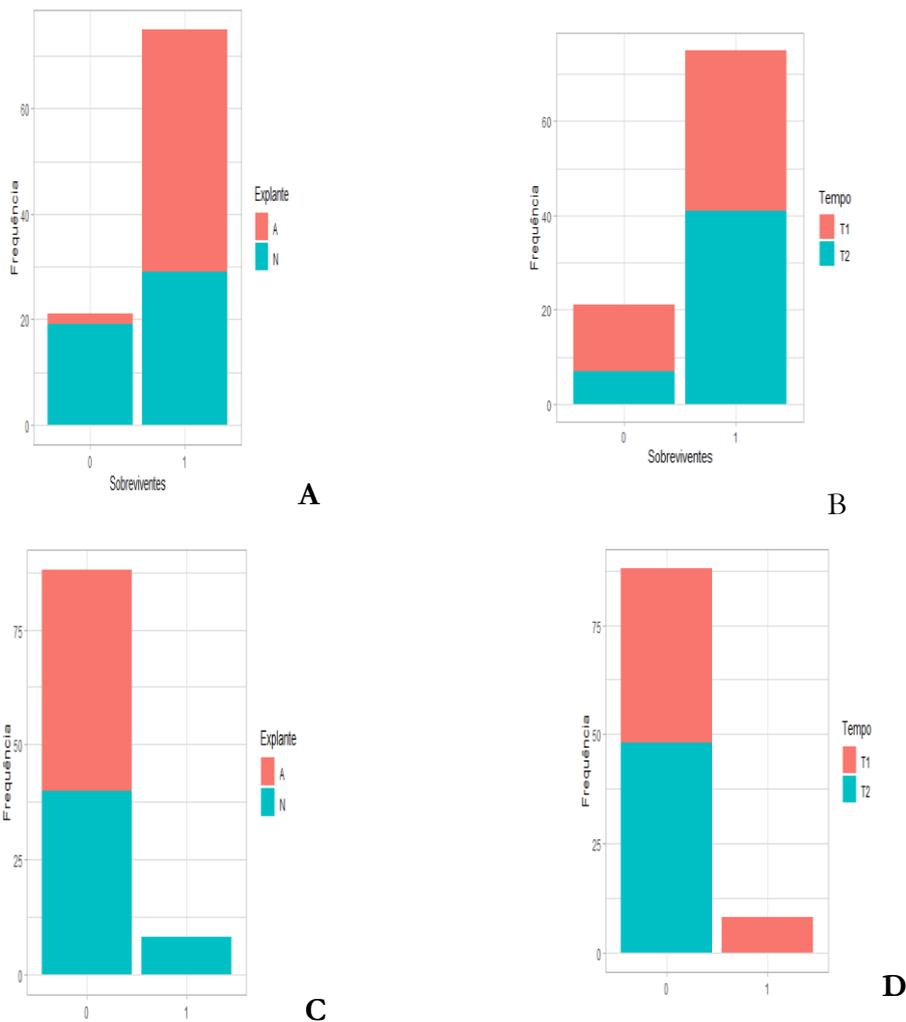
** (significativo a $p < 0,01$)

Na Figura 1 são apresentados os dados de sobrevivência de explantes em função do tipo de explante e tempo de desinfestação estudados. No teste Qui-Quadrado da análise de deviance (Tabela 1), apenas o fator explante foi significativo. Pode-se verificar na Figura 1 que os explantes apicais apresentaram frequência de morte menor que segmentos nodais (coluna “0”) e frequência de estabelecimento (coluna “1”), superior ao estabelecimento de segmentos nodais.

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

Em termos de porcentagem foi obtido 95,8% de estabelecimento de explantes apicais e 60,4% de estabelecimento de segmentos nodais. O tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio não afetou o estabelecimento de explantes. Pode-se verificar no gráfico que a frequência de sobrevivência dos explantes na coluna “1” para ambos os tempos de desinfestação estudados, variando entre 70% e 85%. Flôres et al. (2011) observaram elevadas taxas de sobrevivência e estabelecimento (98%) *in vitro* para a mesma espécie.

Na análise da oxidação, os fatores explante e tempo de desinfestação foram significativos a 1% de probabilidade, de acordo com o teste Qui-Quadrado na análise de deviance (Quadro 1). Na Figura 1, verifica-se que praticamente não ocorreu oxidação dos explantes estudados (coluna “0”), não tendo sido verificada a ocorrência de oxidação em explantes apicais, o que ocorreu para segmentos nodais em baixa porcentagem (coluna “1”). Ainda, a desinfestação com hipoclorito de sódio a 10’ foi superior à desinfestação por 5’, uma vez que não ocorreu oxidação de explantes no maior tempo de desinfestação.



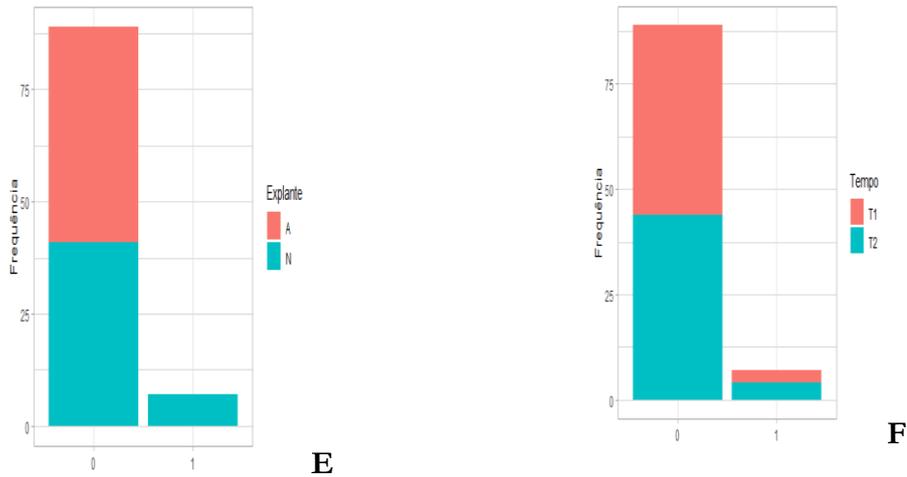


Figura 1. Estabelecimento de explantes de canafístula, oxidação de explantes (A, B, C, D, E, F), e contaminação fúngica de canafístula de explantes de canafístula (A, B, C, D, E, F) oriundos de ápice (A) e segmento nodal (N) em função do tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio por 5 minutos (T1) e 10 minutos (T2) aos 07 dias de cultivo. Dourados/MS, 2017.

De acordo com Junior Fermino et al. (2009), as espécies arbóreas apresentam dificuldade para o estabelecimento *in vitro* devido à grande diversidade de microrganismos contaminantes. De acordo com Bassan et al. (2006), a ausência de oxidação nos explantes de canafístula se deve, provavelmente, à reduzida concentração de fenóis nos tecidos de canafístula ou pode ser atribuída à origem seminal dos explantes, uma vez que vários autores correlacionam a formação de compostos fenólicos em culturas *in vitro* à idade do explante.

Na avaliação da contaminação dos explantes por fungos e bactérias, podemos verificar que não ocorreu contaminação fúngica em ápices caulinares (coluna “1”), e para segmentos nodais, a contaminação foi baixa, correspondendo a aproximadamente 14% de segmentos nodais contaminados. Os tempos de desinfestação, 5 e 10’ de exposição ao hipoclorito de sódio não foram significativos para a característica estudada, tendo ambos se mostrado eficientes para controle da contaminação fúngica, que ocorreu em baixa porcentagem para ambos os tempos de exposição, em torno de 6 e 5%, respectivamente (Figura 1).

Para número de brotações emitidas por explante, apenas o fator explante foi significativo de acordo com o teste Qui-Quadrado na análise de deviance (Tabela 1). A quantidade de brotos emitidos em explantes nodais (36,5%) foi menor e estatisticamente diferente da quantidade de brotos em explantes apicais, mostrando superioridade de explantes apicais para a variável (Figura 2). O tempo de desinfestação não teve efeito significativo sobre o número de brotos.

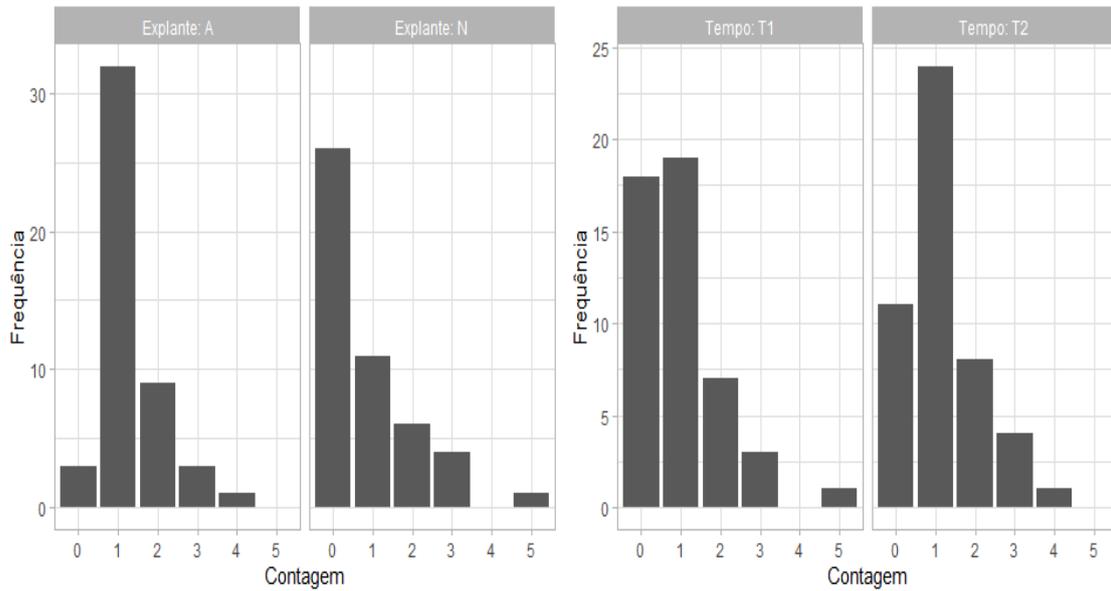


Figura 2. Número de brotos emitidos por explante, considerando o tipo de explante, ápice (A) e segmento nodal (N) e o tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio por 5 minutos (T1) e 10 minutos (T2) aos 07 dias de cultivo. Dourados/MS, 2017.

De acordo com o teste Qui-Quadrado na análise de deviance, a interação tipo de explante e tempo de desinfestação foi significativa (Tabela 1). A quantidade de folhas em explantes de segmentos nodais é 96% menor em relação aos explantes apicais. Para os explantes apicais, não houve diferença significativa entre os tempos de desinfestação. Para explantes de segmentos nodais, a quantidade de folhas quando os explantes são submetidos a dez minutos de desinfestação em hipoclorito de sódio é 9,5 vezes maior do que no tempo de desinfestação de cinco minutos (Tabela 2 e Figura 3).

Para comprimento de brotos, somente o fator explante foi significativo pelo teste F, onde ápice foi superior a segmentos nodais, gerando brotações maiores (Figura 3B).

Tabela 2. Número de folhas totais emitidas por explantes de canafístula, considerando o tipo de explante, ápice (A) e segmento nodal (N), e o tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio por 5 minutos (T1) e 10 minutos (T2) aos 41 dias de cultivo.

Tipo de explante	Tempo de exposição		Total
	5'	10'	
A	55	52	107
N	2	19	21
Total	57	71	128

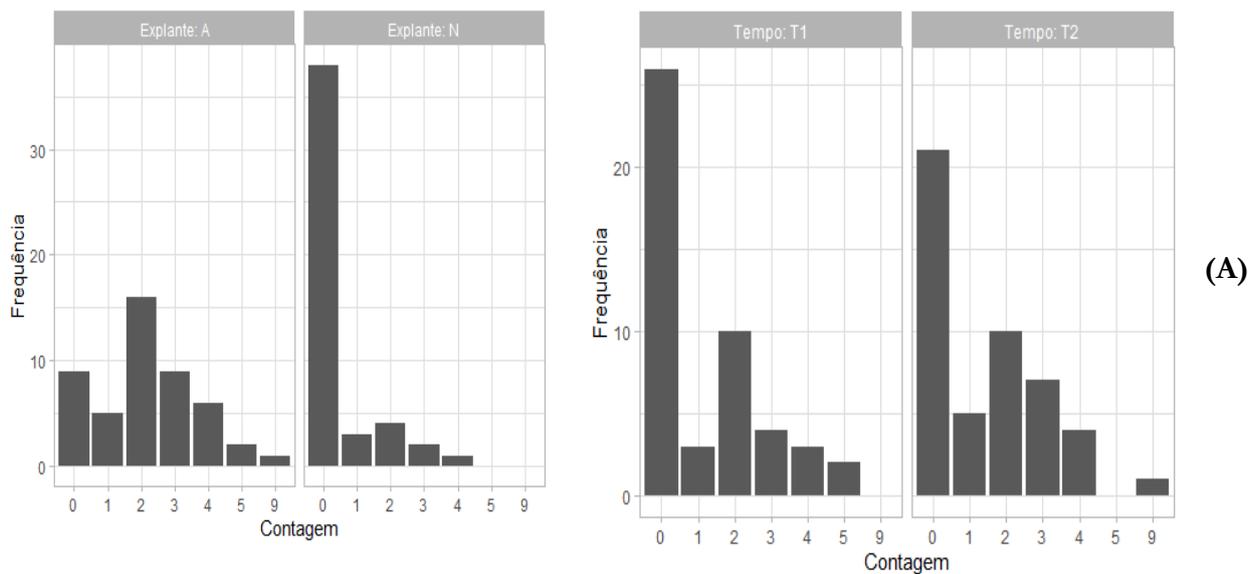
Foi realizada análise de deviance para as variáveis sobrevivência (SOB), formação de calos (CALO), explantes que emitiram brotações (EB), número de brotos por explante (NB/E) e número de folhas por

brotação, onde verificou-se através do teste do qui-quadrado, que o fator de variação Zeatina não foi significativo para nenhuma das variáveis analisadas na fase de multiplicação *in vitro*. As figuras abaixo ilustram as respostas de explantes de canafístula submetidos a concentrações de zeatina no meio de cultivo WPM.

Na Figura 4 são apresentados os dados de sobrevivência de explantes para os tratamentos, demonstrando que a utilização do regulador de crescimento vegetal nas concentrações estudadas não se mostrou eficiente para a indução de brotações.

Observou-se ainda, que a utilização de zeatina e o aumento em sua concentração no meio de cultura favoreceu a formação de calos friáveis na base dos segmentos caulinares (Figura 4B). Embora tenha sido constatado que o uso de carvão ativado ($1g L^{-1}$) promova menor formação de calos, na presença da citocinina, ocorreu maior formação de calos na base dos explantes (dados não apresentados).

Todos os tratamentos promoveram emissão de brotos e folhas nos explantes, embora não tenham diferido estatisticamente pelo teste do qui-quadrado na análise de deviance. A emissão de brotos foi alta em todos os tratamentos com uma média de 97,9% (Figura 4C), no entanto, apesar disso, as taxas de multiplicação de brotos foram relativamente baixas (menor que 2,00 brotos/segmento) mostrando queda com o aumento na concentração de zeatina e aumento no número de folhas por broto. Em experimento realizado por Cândido (2013), a média obtida de brotos por explante foi de 3,4 e a porcentagem de brotos que emitiram brotação foi de 90,51% respectivamente.



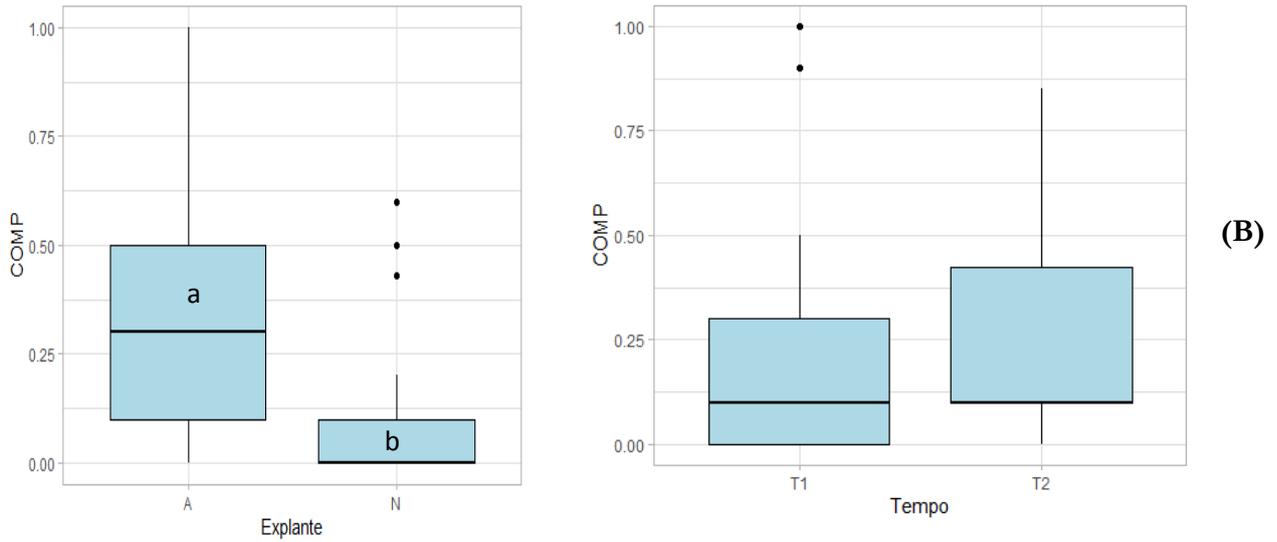
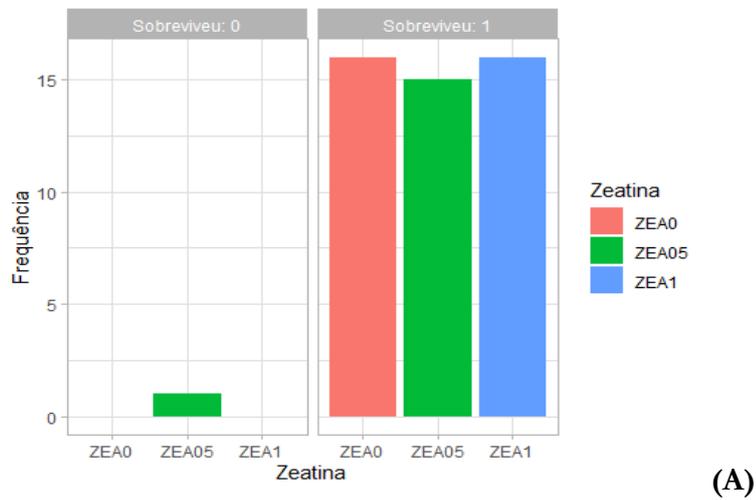
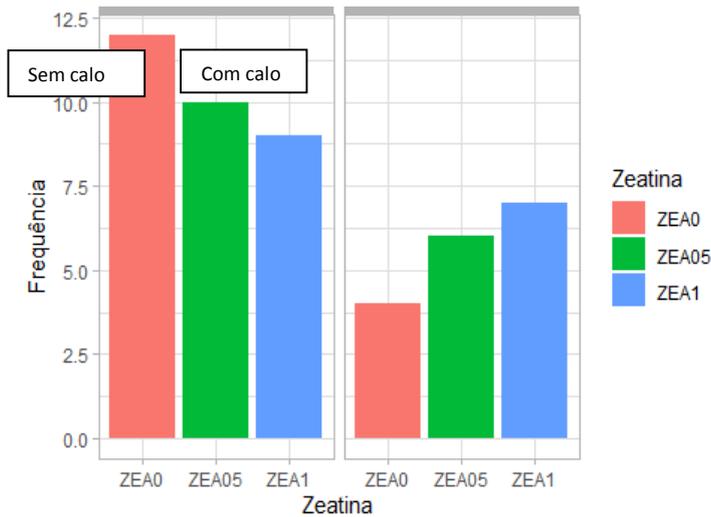
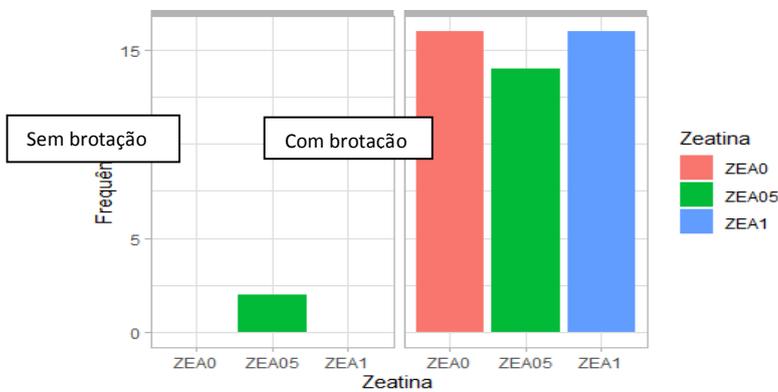


Figura 3. Número de folhas emitidas por explante de canafistula, considerando o tipo de explante, ápice (A) e segmento nodal (N), e o tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio por 5 minutos (T1) e 10 minutos (T2) aos 41 dias de cultivo. (B) Comprimento de brotos de canafistula, considerando o tipo de explante, ápice (A) e segmento nodal (N) e o tempo de desinfestação em hipoclorito de sódio por 5 minutos (T1) e 10 minutos (T2) aos 07 dias de cultivo. (Letras iguais não diferem entre si pelo teste F a 1% de probabilidade). Dourados/MS, 2017.





(B)



(C)

Figura 4. (A) Sobrevivência de explantes de canafístula submetidos a concentrações de zeatina: ausência (ZEA0); 0,5 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA05) e 1,0 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA1). (B) Formação de calos em explantes, e (C) emissão de brotos em explantes de canafístula submetidos a concentrações de zeatina: ausência (ZEA0); 0,5 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA05) e 1,0 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA1). Dourados/MS, 2019.

Para comprimento de brotos foi realizada análise de variância e teste de Tukey, e verificou-se que diferença significativa para as concentrações de zeatina utilizadas, tendo a concentração de 1 mg L⁻¹ promovido maior indução no comprimento de brotos dos explantes de canafístula (Figura 5B).

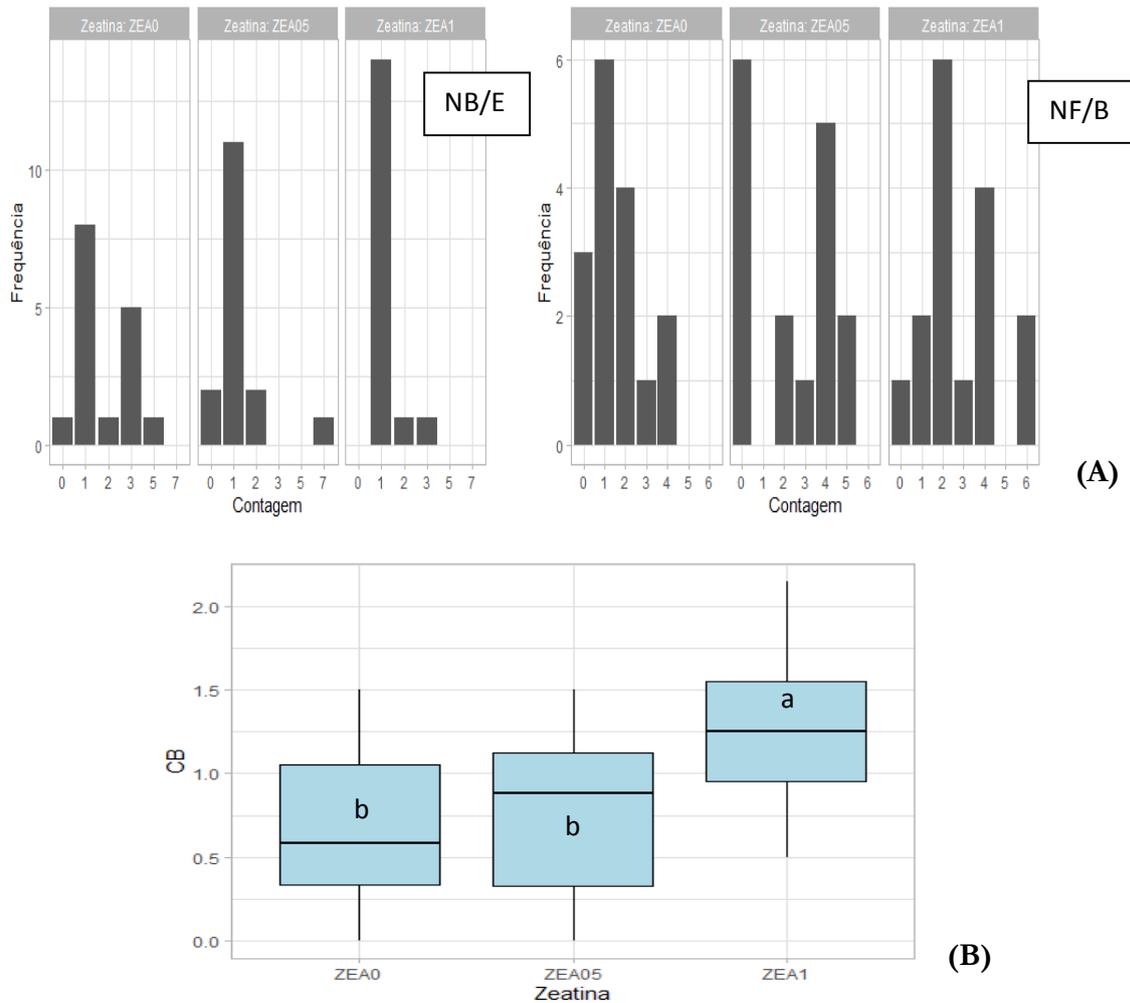


Figura 5. (A) Número de brotos/explante (NB/E) e número de folhas/brotação (NF/B) em explantes de canafístula submetidos a concentrações de zeatina: ausência (ZEA0); 0,5 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA05) e 1,0 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA1). (B) Comprimento de brotações (CB) em explantes de canafístula submetidos a concentrações de zeatina: ausência (ZEA0); 0,5 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA05) e 1,0 mg L⁻¹ de zeatina (ZEA1). Dourados/MS, 2019.

Carra et al. (2019) ressaltam que BAP e ZEA são as citocininas mais amplamente utilizadas, com resultados satisfatórios para proliferação em árvores lenhosas, tendo obtido não somente maiores quantidades de produção de novos brotos, mas também favorecendo o alongamento de entrenós, essencial para obter uma boa porcentagem de enraizamento.

Os resultados do presente trabalho corroboram com as observações relatadas por Cândido (2013) com o uso de citocininas (BAP, cinetina, thidiazuron -TDZ e isopenteniladenina - 2iP) na multiplicação da espécie, com alta taxa de sobrevivência, alta porcentagem de formação de brotos (90,51%) em todos os tratamentos, sugerindo que não há necessidade de uso dos reguladores avaliados, até o momento, na multiplicação *in vitro* de canafístula.

Enraizamento in vitro

Nesta etapa não foi observada protrusão de raízes na avaliação realizada aos 40 dias, em nenhum dos tratamentos. Para os dados obtidos sobrevivência (SOB) e formação de calos (CALO) foram realizadas análise de deviance onde se verificou através do teste do qui-quadrado, que o fator de variação AIB não foi significativo.

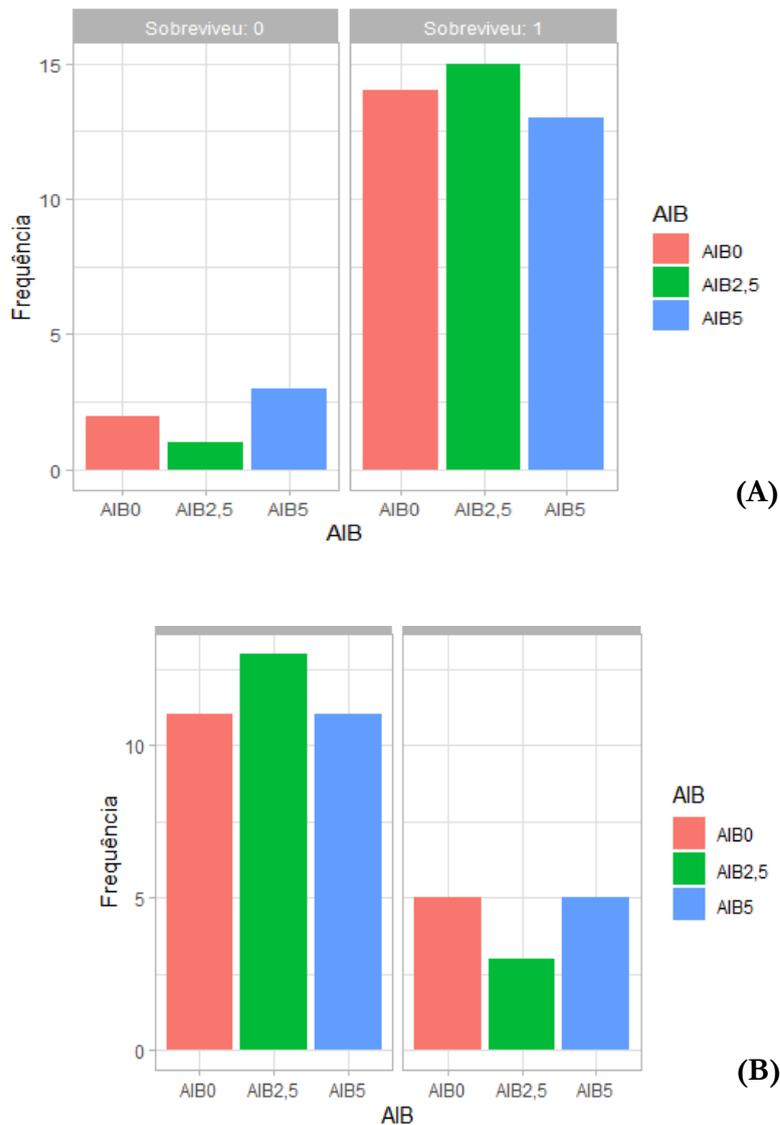


Figura 6. Sobrevivência de explantes (A) e formação de calos em explantes (B) de canafístula submetidos a concentrações de AIB: ausência de AIB (AIB0); 2,5 mg L⁻¹ de AIB (AIB2,5) e 5,0 mg L⁻¹ de AIB (AIB5). Dourados/MS, 2019.

Na Figura 6 verifica-se alta sobrevivência dos explantes independente da concentração de AIB aplicada, entretanto, houve a formação de calos friáveis na base dos explantes em todos os tratamentos (Figura 6). De acordo com Rossato et al. (2015), a formação de calos (massas celulares) é um dos principais problemas durante a elaboração de protocolos de micropropagação, pois comprometem a protrusão de

raízes e também de brotações. Carra et al. (2019) verificaram que o uso de AIB na micropropagação de *Zelkova sicula* promoveu a formação de massa de calos na superfície cortada, que não é adequada para desenvolvimento radicular subsequente e crescimento de plântulas.

Embora vários estudos tenham sido realizados visando o desenvolvimento *in vitro* da canafístula (Bassan, 2006; Curti, 2014), não foi estabelecido um protocolo otimizado. Gomes (2017) ressalta que o período de cultivo é de grande importância, onde os melhores resultados foram observados aos 60 dias.

Resultados recorrentes de insucesso no estudo da multiplicação e rizogênese *in vitro* de canafístula com o uso de diversos reguladores de crescimento sugerem a recalcitrância da espécie, isto é, a incapacidade de células, tecidos e órgãos vegetais de responder à cultura de tecidos (Benson, 2000). Segundo McCown (2000), plantas perenes lenhosas apresentam recalcitrância de explantes com maior intensidade quando comparadas a plantas dos demais táxons.

Estudos realizados por Ckurshumova e Berleth (2015) comprovaram que genes responsáveis pela regulação na via metabólica da auxina tem implicação no aumento da capacidade de regeneração e na formação de brotações novas, mesmo a partir de tecidos recalcitrantes; sugerindo que, apesar dos recentes avanços, a base molecular da regeneração de plantas ainda é pouco clara, sendo imprescindível um aprofundamento nos estudos, pois muitas plantas importantes permanecem recalcitrantes à regeneração.

CONCLUSÃO

O meio WPM suplementado com 5,0 mg L⁻¹ de BAP é eficaz no estabelecimento de explantes de canafístula.

O estabelecimento de ápices caulinares de canafístula é superior ao estabelecimento de segmentos nodais.

O tempo de exposição ao hipoclorito de sódio é eficaz no controle de contaminação bacteriana e fúngica em ápices caulinares de canafístula, no entanto não apresenta a mesma eficácia no controle de contaminação fúngica de segmentos nodais, bem como não afetou a sobrevivência e o estabelecimento *in vitro* de segmentos apicais caulinares de canafístula.

A citocinina nas concentrações testadas não foi eficiente na multiplicação *in vitro* da espécie, para as condições de estudo.

O uso de diferentes concentrações de AIB não promoveu enraizamento devido à formação de calos friáveis na base dos explantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bassan JS, Reiniger LRJ, Rocha BHG, Severo CRP, Flôres AV (2006). Oxidação fenólica, tipo de explante e meios de cultura no estabelecimento *in vitro* de canafístula (*Peltoporum dubium* (Spreng.) Taub.). *Ciência Florestal*, 16: 381-390.
- Benson EE (2000). *In vitro* plant recalcitrance: an introduction. *In vitro Cellular e Developmental Biology – Plant*, 36: 141–148.
- Bertolini IC, Debastiani AB, Brun EJ (2015). Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltoporum dubium* (Spreng.) Taubert.). *Scientia Agraria Paranensis*, 14(2): 67-76.
- Borges SR, Xavier A, Oliveira LS, Lopes AP, Otoni W, Takahashi E (2012). Estabelecimento *in vitro* de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. *Ciência Florestal*, 22(3): 605-616.
- Brondani GE, Dutra LF, Grossi F, Wendling I, Hornig J (2009). Estabelecimento, multiplicação e alongamento *in vitro* de *Eucalyptus benthamii* Maiden e Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Revista Árvore*, 33(1): 11-19.
- Candido DF (2013). *Cultivo in vitro de Peltoporum dubium (Spreng.) Taubert: multiplicação, senescência foliar e calogênese*. Dissertação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 120p.
- Carra A, Catalano C, Badalamenti O, Carimi F, Pasta S, Motisi A, Abbate L, La Bella F, Fazan L, Kozłowski G, Garfi G (2019). Overcoming sexual sterility in conservation of endangered species: the prominent role of biotechnology in the multiplication of *Zelkova sicula* (Ulmaceae), a relict tree at the brink of extinction. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 137: 139-148.
- Carvalho PER (1994). *Espécies florestais brasileiras: Recomendações Silviculturais, potencialidades e uso de madeira*. Brasília, Empresa Brasileira de Agropecuária - CNPF, 640p.
- Cid LPB, Teixeira JB (2014). Explante, meio nutritivo, luz e temperatura. In: Cid, L.P.B. (Ed.) - *Cultivo in vitro de plantas*. Brasília, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p. 21-26.
- Ckurshumova W, Berleth T (2015). Overcoming recalcitrance - Auxin response factor functions in plant regeneration. *Plant Signaling & Behavior*, 10(7): 1-13.
- Costa AO (2019). *Estabelecimento de sistemas de regeneração in vitro de flamboyant [Delonix regia (Bojer ex Hook) Raf.]*. Dissertação. Jataí, Universidade Federal de Goiás. 82p.
- Curti AR (2011). *Contribuições para a micropropagação de Peltoporum dubium (Spreng.) Taubert*. Dissertação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 94p.
- Curti AR, Reiniger LRS (2014). Formação *in vitro* de raízes em canafístula: o efeito de diferentes meios de cultivo. *Ciência Rural*, 44(2): 314-320.
- Flôres AV, Reiniger LRS, Curti AR, Paim A, Bassan JS, Cunha CMC (2011). Estabelecimento *in vitro* de canafístula (*Peltoporum dubium* (Spreng.) Taub.). em função das concentrações do meio MS. *Cerne*, 17: 549-553.

- Gauer L, Cavalli-Molina S (2000). Apomixia: um método alternativo para a produção de sementes em plantas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 6(1): 157-170.
- Gomes CS (2017). *Qualidade de sementes e rizogênese in vitro em Peltophorum dubium (Sprengel) Taubert*. Dissertação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 60p.
- Hua Q, Chen P, Liu W, Ma Y, Liang R, Wang L, Wang Z, Hu G, Qin Y (2014). A protocol for rapid in vitro propagation of genetically diverse pitaya. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 120: 741-745.
- Inácio MC (2010). *Cochlospermum regium (Mart. ex. Scharank): uma planta medicinal do cerrado*. Dissertação. Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 118 p.
- Junior Fermino PCP, Nagao EO, Pereira JES (2009). Estabelecimento, germinação e multiplicação in vitro de teca (*Tectona grandis* L.f.) a partir de genótipos da Amazônia Sul-Occidental. *Scientia Forestalis*, 37: 427-435.
- Leitzke LN, Damiani CR, Schuch MW (2009). Multiplicação e enraizamento in vitro de amoreira-preta 'Xavante': efeito da concentração de sais, do tipo de explante e de carvão ativado no meio de cultura. *Ciência e Agrotecnologia*, 33: 1959-1966.
- Lloyd G, Mccown B (1980). Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Combined Proceedings of the International Plant Propagators Society*, 30: 421-427.
- Mccown BH (2000) - Special symposium: In vitro plant recalcitrance. Recalcitrance of woody and herbaceous perennial plants: Dealing with genetic predeterminism. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*, 36: 149-154.
- Morais TP, Luz JMQ, Silva SM, Resende RF, Silva AS (2012). Aplicações da cultura de tecidos em plantas medicinais. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 14(1): 110-121.
- Murashige T, Skoog F (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3): 473-497.
- Oliveira LS, Dias PC, Brondani GE (2013). Micropropagação de espécies florestais brasileiras. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 33(76): 439-453.
- Pizzatto M, Wagner Júnior A, Luckmann D, Pirola K, Cassol DA, Mazaro SM (2011). Influência do uso de AIB, época de coleta e tamanho de estaca na propagação vegetativa de hibisco por estaquia. *Revista Ceres*, 58: 487-492.
- Ram B, Rathore TS, Reddy GRS (2012). *In vitro* propagation of *Melia dubia* Cav. from seedling explants. *Biotechnology Bioinformatics Bioengineering*, 2(1): 610-616.
- R CORE TEAM. (2018). R: *A language and environment for statistical computing* - R Foundation for Statistical Computing, Vienna. [cit.2019-11-05]. <<http://www.R-project.org/>>.
- Resende MDV, Biele J (2002). Estimação e predição em modelos lineares generalizados mistos com variáveis binomiais. *Revista Matemática e Estatística*, 20: 39-65.

- Ribas LLFR, Zanette F, Kulchetscki L, Guerra MP (2005). Micropropagação de *Aspidosperma polyneuron* (peroba-rosa) a partir de segmentos nodais de mudas juvenis. *Revista Árvore*, 29(4): 517-524.
- Rossato M, Schumacher PV, Netto APC, Souza GC, Reis EF, Stein VC (2015). Multiplicação e enraizamento in vitro de gabirobeira. *Plant Cell Culture e Micropropagation*, 11(2): 70-77.
- Santos-Serejo JA et al. (2006). Meios nutritivos para micropropagação de plantas. In: Souza AS, Junghans TG. *Introdução à micropropagação de plantas*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. 80-98.
- Soares FP (2011). Taxa de multiplicação e efeito residual de diferentes fontes de citocinina no cultivo in vitro de *Hancornia speciosa* Gomes. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(1): 152-157.
- Souza RA, Dantas PVP, Cavalcante PF, Tenório RR, Houllou LM (2017). Basic procedure for the in vitro propagation of Brazilian trees for reforestation purposes. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(2): 107-114.
- Wickham H (2016). *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. 3ªed. New York, Springer, 217p.

Crescimento inicial e qualidade de mudas de *Dipteryx alata* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares sob adubação fosfatada

 10.46420/9786588319314cap7

Gustavo Mattos Abreu¹ 

Jolimar Antonio Schiavo^{2*} 

Bruna Duque Guirardi¹ 

Tamara Izabel de Andrade Payá³ 

Phillipe Mattos Abreu² 

Gabrielly dos Santos Bobadilha⁴ 

Naelmo de Souza Oliveira² 

INTRODUÇÃO

A utilização de recursos florestais oriundos de espécies nativas do Brasil é de grande importância para a população, dado que essas florestas geram renda por meio da comercialização de seus produtos, assim como promovem benefícios por seus serviços ambientais. Melo (2013) aponta que algumas espécies nativas são exploradas em modelos extrativistas, os quais podem ser predatórios e maléficos à conservação da espécie. A domesticação dessas espécies pode ser uma alternativa para que ocorra exploração sustentável desses recursos, além do uso desses vegetais em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

O uso de múltiplos produtos oriundos de espécies nativas, como frutos, folhas, cascas, resinas e madeira é algo positivo do ponto de vista dos produtores, em função da diversificação da produção (Ribeiro et al., 2008). Uma espécie que pode ser utilizada como exemplo é o cumbaru (*Dipteryx alata* Vogel), a qual pode ser cultivada visando à produção de frutos, os quais iniciam a frutificação por volta de 5 anos idade, enquanto aos 60 anos a espécie apresenta porte para corte e aproveitamento de madeira.

Ribeiro et al. (2008) também sugerem que os frutos da espécie podem ser utilizados como alimento para o gado e outros animais durante o período seco, o que é importante do ponto de vista ecológico. Além disso, a amêndoa da espécie é de grande valor nutricional para a alimentação humana. Oliveira et al.

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Aquidauana, MS, Brasil

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, PR, Brasil

⁴ Mississippi State University, Mississippi State, MS, USA

*Autor de correspondência: schiavo@uems.br

(2006) indicam o potencial da citada espécie para produção de alimentos, forragem, madeireiro e paisagístico. A espécie pode também ser utilizada para arborizar pastagens e na recuperação de áreas degradadas.

Contudo, o sucesso dos empreendimentos florestais é em grande parte influenciado pela qualidade das mudas plantadas (Duryea, 1985) e do conhecimento das exigências nutricionais das espécies (Carlos et al., 2014). Desse modo, obter informações referentes a esses pontos pode ser crucial para o sucesso da implantação de uma floresta, seja para fins produtivos e/ou ambientais. Alguns trabalhos relacionados com a nutrição e qualidade de mudas de *D. alata* são observados na literatura (Freitas et al., 2018; Mizobata et al., 2017; Torres, 2017; Silva et al., 2016; Lacerda et al., 2011), o que demonstra o interesse de pesquisadores na espécie, devido ao seu potencial.

Ao se produzir mudas em substratos onde a disponibilidade de nutrientes é baixa, em especial o fósforo (P), torna-se indispensável a realização de fertilizações para fornecer minerais essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, a eficiência da adubação fosfatada é baixa, principalmente em solos com elevado grau de intemperismo (Santos et al., 2011), caso de diversos solos de áreas tropicais no Brasil. Tal fato acontece em função da baixa solubilidade de compostos de fósforo no solo, além da presença de altos teores de argilominerais do tipo 1:1 e óxidos e hidróxidos de Fe e Al, os quais possuem grande poder de ligação com o P (Novais; Smyth, 1999; Novais et al., 2007). Assim, existe a necessidade da utilização de alternativas que contornem tal problema, aumentando a eficiência das plantas em adquirir o nutriente.

Nesse contexto, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) apresentam potencial para uso na silvicultura tropical, dado que os mesmos são capazes de alterar a dinâmica do P no solo (Vilegas; Fortin, 2002). Além disso, as espécies micorrizo-dependentes devem ser inoculadas durante a formação das mudas, visando a garantia do desenvolvimento das plantas no campo (Siqueira et al., 1993).

Diante o exposto, foi avaliado o efeito da aplicação de doses de P em substrato autoclavado, assim como a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento, produção de massa de matéria seca e qualidade de mudas de *Dipteryx alata*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade Universitária de Aquidauana da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UUA-UEMS) localizada entre as coordenadas 20°27'20" de latitude S e 55°40'17" de longitude W. Segundo Köppen, o clima da região pertence ao tipo Aw, classificado como tropical-quente, sub-úmido, com precipitação pluviométrica anual variando de 1.200 a 1.400 mm (Alvares et al., 2014). A temperatura média anual é de 24 °C, com máxima diária de 36 °C durante o verão e mínimas de 12 °C no inverno.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo avaliadas cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³) e três tratamentos microbiológicos (inoculado com *Rhizobagus clarus*, *Gigaspora margarita* e um Controle sem inoculação), com quatro repetições, totalizando 60 vasos. A parcela experimental foi composta por um vaso contendo duas plantas.

Para a multiplicação do inóculo de FMAs foi utilizado substrato constituído por uma mistura de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e areia na proporção de 1:2 (v:v). Esse substrato foi esterilizado em autoclave, por uma vez, a 121 °C, por uma hora. Após a esterilização o substrato foi colocado em vasos de cultivo com capacidade de 5 dm³ e infectado com uma mistura de solo contendo esporos e raízes colonizadas com os FMAs, proveniente da coleção do laboratório de Matéria Orgânica e Microbiologia do Solo da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (LAMOMIS – UEMS).

Como plantas hospedeiras foram semeadas sementes de *Urochloa brizantha* cv. xaraés. As sementes de *U. brizantha* tiveram a superfície esterilizada com solução a 0,5% de hipoclorito de sódio, durante 15 minutos. Após a embebição, as sementes foram lavadas com água esterilizada. Os vasos foram mantidos em estufa pelo período de quatro meses para a multiplicação dos FMAs, os quais foram utilizados como fonte de inóculo.

O substrato utilizado no experimento foi constituído por uma mistura 1:2 (v:v) de vermiculita média e o horizonte sub-superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico. O substrato foi esterilizado em autoclave, por uma vez, a 121 °C, por uma hora. Foi realizada análise química do solo utilizado na formulação do substrato, o qual apresentou as seguintes características: pH (H₂O - Razão 1:2,5) = 4,8; Matéria orgânica (C. org. x 1,724 - Método Walkley-Black) = 13,00 g dm⁻³; P disponível (extraído com solução de Mehlich-1 e determinado por colorimetria) = 3,50 mg dm⁻³; K⁺ (extraído por Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de chama) = 1,6 mmol_c dm⁻³; Ca⁺² e Mg⁺² (extraídos com KCL 1 mol L⁻¹ e determinados por compleximetria) = 10,00 e 7,00 mmol_c dm⁻³, respectivamente; Al⁺³ (extraído com solução de KCL 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação) = 4,00 mmol_c dm⁻³, H⁺ + Al⁺³ (extraídos com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinados por titulação) = 27,00 mmol_c dm⁻³, Soma de bases = 18,60 mmol_c dm⁻³, Capacidade de troca catiônica = 45,6 mmol_c dm⁻³, Saturação por bases = 40,79% e Saturação por Al = 8,7%.

Para corrigir o solo para uma saturação por bases de 60%, foi realizada a calagem de acordo com a análise de solo, aplicando-se calcário do tipo filler com PRNT de 100%, reagindo por um período de 30 dias. Posteriormente, o substrato foi alocado em vasos plásticos com 5 dm³ de capacidade, onde foram adicionadas as doses de P, por meio da aplicação de KH₂PO₄. Devido a presença de potássio (K) no fertilizante utilizado como fonte de P, adicionou-se KCl ao substrato de cultivo das plantas, pretendendo-se equilibrar a quantidade de K aplicada via KH₂PO₄.

Os frutos de *D. alata* foram coletados de plantas matrizes situadas na UEMS, campus Aquidauana. Após o despolpamento manual dos frutos, as sementes tiveram sua superfície esterilizada por meio de imersão em hipoclorito de sódio 2% por um período de 5 minutos. Decorrido este período, as mesmas foram lavadas em água corrente e, posteriormente, em água destilada e deionizada. Para a germinação das sementes, placas de Petri foram preenchidas com algodão embebido em água destilada, dispostas em capela de fluxo laminar e submetida à luz ultravioleta durante 10 minutos para esterilização. Em seguida, as placas contendo as sementes foram levadas à câmara BOD à temperatura de 30°C, até a emissão das radículas.

A inoculação com FMAs foi efetuada no momento da sementeira, tendo como inóculo 10 mL de uma mistura de solo, raízes colonizadas e esporos de FMAs, o qual foi adicionado ao orifício onde se inseriu as sementes. Aos dez dias após a sementeira, foi realizado o desbaste, permanecendo apenas duas plantas por vaso, as quais foram selecionadas. A irrigação do substrato de cultivo foi realizada mediante monitoramento diário, onde a irrigação foi feita de modo que as plantas não atingissem o ponto de murcha.

O crescimento das mudas *D. alata* foi avaliado periodicamente aos 30, 60 e 90 dias após a sementeira (DAS), onde foram mensurados a altura total das plantas (H) e o diâmetro do coleto (DC). A H das mudas foi medida do nível acima do solo até o ponto de inserção da última folha, utilizando-se régua (graduada em cm), enquanto o DC foi mensurado ao nível acima do solo, por meio de paquímetro (graduado em mm). Após a mensuração das mudas aos 90 DAS, as mesmas foram coletadas, onde o sistema radicular foi separado da parte aérea. Para determinação da massa de matéria seca das plantas, a parte aérea e o sistema radicular foram acondicionados em estufa a 65°C por 72 horas. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,01g.

Por meio dos dados de altura total da parte aérea (H), diâmetro a altura do colo (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST) das plantas, calculou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960) (1).

$$IQD = MST / [(H / DC) + (MSPA / MSR)] \quad (1)$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos de inoculação e doses de P à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão ($p < 0,05$), respectivamente, utilizando-se o software SAEG® (UFV, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento em altura total da parte aérea (H) das mudas de cumbaru foi influenciado de modo significativo ($p < 0,05$) pelas doses de P na presença ou ausência de FMAs em todas as idades avaliadas

(Tabela 1). Em todos os tratamentos e idades de avaliação, a aplicação de P gerou ajuste de equação linear, demonstrando resposta positiva das plantas ao fornecimento de P. De forma exemplificada, aos 90 DAS, comparando-se as doses 0 e 400 mg dm⁻³, se percebe incremento de, aproximadamente, 222, 338 e 273% na altura das mudas fertilizadas nos tratamentos controle e inoculadas com *R. clarus* e *G. margarita*, respectivamente. Por outro lado, os tratamentos microbiológicos surtiram efeito no crescimento em altura das plantas apenas na dose 200 mg dm⁻³, onde o endófito *R. clarus* promoveu maior crescimento das plantas em comparação às inoculadas com *G. margarita* em todas as idades de avaliação.

O diâmetro à altura do coleto (DC) das mudas não sofreu influência da inoculação com FMAs em nenhuma das idades de avaliação (Tabela 2), o que sugere que a espécie seja pouco responsiva aos FMAs na citada variável. De modo similar ao observado para a H das mudas, a aplicação de P favoreceu o crescimento em DC das plantas. Scalon et al. (2011) afirmam que o aumento do DC de uma muda indica maior capacidade de sobrevivência da mesma após o plantio, devido ao maior particionamento de fotoassimilados na parte aérea das plantas.

Tabela 1. Altura total (H) de plantas de *Dipteryx alata* aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					p-valor	Regressão ¹	
	0	50	100	200	400		R ² (%)	Equação
H-30 DAS (cm)								
Ctl	5,13 a	6,00 a	8,94 a	9,81 ab	10,50 a	0,0033	L, 74,61	$\hat{y} = 6,1250^{**} + 0,0130^{**}P$
Rc	5,69 a	5,88 a	7,81 a	10,94 a	10,94 a	0,0096	L, 78,32	$\hat{y} = 6,0750^{**} + 0,0145^{**}P$
Gm	5,13 a	6,88 a	8,75 a	7,25 b	10,81 a	0,0182	L, 75,11	$\hat{y} = 6,0047^{**} + 0,01170^{**}P$
CV (%) = 26,28								
H-60 DAS (cm)								
Ctl	7,00 a	14,38 a	9,31 a	17,44 ab	21,56 a	0,0016	L, 78,17	$\hat{y} = 8,9734^{**} + 0,0331^{**}P$
Rc	6,23 a	9,81 a	13,63 a	24,56 a	25,69 a	0,0025	L, 83,41	$\hat{y} = 8,5719^{**} + 0,0499^{**}P$
Gm	5,94 a	13,38 a	12,25 a	13,25 b	21,31 a	0,0003	L, 83,04	$\hat{y} = 8,5000^{**} + 0,0315^{**}P$
CV (%) = 34,49								
H-90 DAS (cm)								
Ctl	7,38 a	16,94 a	14,44 a	20,13 ab	23,75 a	0,0071	L, 76,33	$\hat{y} = 11,3922^{**} + 0,0342^{**}P$
Rc	7,38 a	13,50 a	17,13 a	26,63 a	32,38 a	0,0005	L, 92,22	$\hat{y} = 10,2313^{**} + 0,0611^{**}P$
Gm	6,63 a	16,25 a	17,50 a	16,50 b	24,75 a	0,0000	L, 74,37	$\hat{y} = 11,0469^{**} + 0,0352^{**}P$
CV (%) = 30,04								

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%) = Coeficiente de variação. L = regressão linear; * e ** indicam, respectivamente, significância do parâmetro a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Houve ajuste de equação linear para o DC devido a aplicação de P nos tratamentos controle e *R. clarus* aos 60 e 90 DAS, com efeito notório da aplicação de P aos 90 DAS, onde todos os tratamentos foram influenciados ($p < 0,01$) pela fertilização fosfatada. Apenas as mudas inoculadas com *G. margarita* não foram influenciadas ($p > 0,05$) pela aplicação do P aos 60 DAS. O incremento linear em H e DC em função do fornecimento de P em mudas de *D. alata* também foi observado por Machado et al. (2014).

Tabela 2. Diâmetro à altura do coleto (DC) de plantas de *Dipteryx alata* aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³						Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	p-valor	R ² (%)	Equação
DC-30 DAS (mm)								
Ctl	1,19 a	1,13 a	1,63 a	1,88 a	1,75 a	0,0279	-	-
Rc	1,13 a	0,96 a	1,50 a	1,78 a	1,79 a	0,0167	-	-
Gm	1,25 a	1,31 a	1,81 a	1,44 a	2,00 a	0,0436	-	-
CV (%) = 24,02								
DC-60 DAS (mm)								
Ctl	1,25 a	2,13 a	2,00 a	2,69 a	3,00 a	0,0007	L, 80,96	$\hat{y} = 1,6359^{**} + 0,0038^{**}P$
Rc	1,25 a	1,75 a	2,19 a	3,00 a	2,88 a	0,0010	L, 71,60	$\hat{y} = 1,6172^{**} + 0,0040^{**}P$
Gm	1,38 a	2,13 a	2,13 a	2,19 a	2,81 a	0,0840	-	-
CV (%) = 24,85								
DC-90 DAS (mm)								
Ctl	1,38 a	2,56 a	2,31 a	2,69 a	3,25 a	0,0009	L, 72,22	$\hat{y} = 1,8842^{**} + 0,0037^{**}P$
Rc	1,25 a	2,44 a	2,38 a	3,13 a	3,31 a	0,0005	L, 71,67	$\hat{y} = 1,8484^{**} + 0,0043^{**}P$
Gm	1,38 a	2,75 a	2,81 a	2,38 a	3,31 a	0,0009	-	-
CV (%) = 20,00								

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%) = Coeficiente de variação. L = regressão linear; * e ** indicam, respectivamente, significância do parâmetro a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Fato interessante observado sobre o crescimento em H e DC das mudas de *D. alata* nas diferentes idades foi o incremento dessas variáveis ao longo do tempo em mudas que receberam ou não adubação. Comparando-se as medições realizadas aos 30 e 90 DAS, plantas não adubadas (0 mg dm⁻³) e não inoculadas com FMAs apresentaram incremento na H e DC de, respectivamente, 44 e 16%. Por outro lado, mudas não inoculadas e adubadas com a maior dose de P (400 mg dm⁻³) apresentaram maior incremento na H e DC durante o mesmo período, os quais foram de, respectivamente, 126 e 86%. Isso pode ser explicado devido o status nutricional alterar a taxa de crescimento dos vegetais, interferindo em características morfológicas desses (Epstein; Bloom, 2006).

Desse modo, o crescimento das mudas que receberam fertilizante fosfatado se mostrou acelerado, em termos de crescimento relativo de H e DC, em comparação às plantas não adubadas. De modo

contrário ao observado no presente estudo, Freitas et al. (2018) não observaram efeito significativo da aplicação de doses de P na produção de massa seca da parte aérea no crescimento em H e DC de mudas de *D. alata*, enquanto Silva et al. (2016) constataram que o P foi o maior limitante no crescimento em DC de mudas dessa espécie cultivadas em solução nutritiva. Esses resultados sugerem que a espécie apresenta elevada variação de resposta à oferta do nutriente, a qual pode estar relacionada a fatores genéticos, dado que diferentes resultados foram obtidos para progênies distintas.

Tabela 3. Massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de *Dipteryx alata* aos 90 dias após a semeadura em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³						Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	p-valor	R ² (%)	Equação
MSPA (g planta ⁻¹)								
Ctl	0,10 a	0,71 a	0,96 a	0,89 b	1,61 a	0,0026	L, 83,83	$\hat{y} = 0,3831* + 0,0031**P$
Rc	0,09 a	0,75 a	0,69 a	1,93 a	1,93 a	0,0000	L, 77,74	$\hat{y} = 0,3916** + 0,0046**P$
Gm	0,05 a	1,12 a	1,17 a	1,08 b	1,79 a	0,0089	-	-
CV (%) = 46,30								
MSR (g planta ⁻¹)								
Ctl	0,24 a	0,57 a	2,02 a	2,13 a	1,96 a	0,0585	-	-
Rc	0,32 a	0,76 a	0,66 a	2,53 a	1,75 a	0,0000	-	-
Gm	0,33 a	1,53 a	2,12 a	1,09 a	2,12 a	0,2328	-	-
CV (%) = 71,76								
MST (g planta ⁻¹)								
Ctl	0,34 a	1,28 a	2,98 a	3,02 ab	3,57 a	0,0215	L, 68,75	$\hat{y} = 1,1628* + 0,0072**P$
Rc	0,41 a	1,50 a	1,35 a	4,46 a	3,69 a	0,0000	-	-
Gm	0,38 a	2,65 a	3,30 a	2,17 b	3,91 a	0,0759	-	-
CV (%) = 56,24								

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%) = Coeficiente de variação. L = regressão linear; * e ** indicam, respectivamente, significância do parâmetro a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

A produção de massa seca da parte aérea (MSPA) das mudas de cumbaru sofreu forte influência da aplicação de P ($p < 0,01$). Apenas na dose 200 mg dm⁻³ houve diferença da MSPA entre os tratamentos de inoculação, onde o FMA *R. clarus* promoveu maior produção de biomassa aérea em comparação aos demais tratamentos (Tabela 3). Resultados similares em função da fertilização fosfatada foram encontrados por Lacerda et al. (2011) ao avaliarem a produção de mudas de *D. alata* inoculadas com *Glomus clarum* (= *R. clarus*). Os autores observaram que a aplicação de P favoreceu a produção de MSPA e MSR das plantas, enquanto a inoculação com FMAs não surtiu efeito nas mesmas variáveis. Assim, os autores sugerem apenas a aplicação de P no substrato, e não a inoculação com FMAs, para se produzir mudas da espécie.

Em relação a produção de massa seca de raízes (MSR), não foram geradas equações de ajuste em função da aplicação de P, onde apenas no tratamento com *R. clarus* foi constatado efeito significativo ($p < 0,01$) da aplicação de P. A produção de biomassa das raízes não apresentou um padrão bem estabelecido em resposta à aplicação de P e inoculação com FMAs, dado que essa característica avaliada apresentou elevada variação (CV (%) = 71,76). Tal comportamento também foi observado por Oliveira et al. (2006), os quais constataram variações altamente significativas no padrão do sistema radicular de mudas de *D. alata* produzidas via sementes de 21 progênies da espécie.

A produção de massa seca total (MST) foi influenciada pelos FMAs apenas na dose 200 mg dm⁻³, onde o endófito *R. clarus* foi mais eficiente em aumentar a biomassa das plantas de *D. alata*, quando comparado ao *G. margarita*. A MST de plantas não inoculadas apresentou ajuste de equação linear em função da aplicação de doses de P. Esse resultado é comum, dado que, em alguns casos, espécies não associadas com FMAs apresentam boa resposta ao aumento da fertilidade do substrato.

Em ocasião de alta fertilidade do solo, associada à inoculação com FMAs, normalmente ocorrem efeitos negativos no crescimento das plantas, dado que esses microrganismos promovem maiores benefícios aos vegetais em condições de baixo suprimento de nutrientes. É comum encontrar relatos na literatura onde a aplicação de altas doses de nutrientes, em especial o P, promove redução do crescimento de plantas associadas com FMAs. Em situações onde esses fungos gerem um custo energético superior ao benefício fornecido à planta, ao invés de se estabelecer uma simbiose, a interação entre os componentes tornar-se-ia um parasitismo, com consequências negativas ao vegetal (Smith; Read, 2008).

Em todas as doses avaliadas, por mais que não foram detectadas diferenças estatísticas, exceto na 200 mg dm⁻³, houve tendência de maior produção de MSPA, MSR e MST em plantas inoculadas com *G. margarita*, quando comparadas ao controle. Tais resultados podem ter ocorrido devido aos benefícios que os FMAs promovem ao crescimento das plantas, os quais vão além da nutrição fosfatada, como maior proteção face a doenças e pragas (El-Sharkawy et al., 2018), resistência a altos níveis de salinidade (Wu et al., 2010), menor necessidade de aplicação de nutrientes (Lima et al., 2015), obtenção de mudas de melhor qualidade morfológica (Soares et al., 2017) e fisiológica (Shi et al., 2016), produção de hormônios vegetais (Yao et al., 2005; Kiriachek et al., 2009), entre outros.

A relação MSPA/MSR foi influenciada pelas doses de P apenas em mudas dos tratamentos controle e *G. margarita* (Tabela 4). Nota-se que a fertilização com P promoveu aumento dessa relação em mudas de *D. alata*, exceto no tratamento inoculado com *R. clarus*. Abreu (2018) e Carlos et al. (2013) também observaram elevação dessa relação devido ao aumento da oferta de nutrientes para, respectivamente, *Hancornia speciosa* e *Stryphnodendron adstringens*. Apenas na dose 200 mg dm⁻³ houve efeito dos FMAs na MSPA/MSR, onde as plantas inoculadas com *G. margarita* apresentaram o maior valor observado dessa relação (MSPA/MSR = 1,41). Gomes e Paiva (2012) indicam que valores adequados

dessa relação devem estar próximos de 2, contudo esse valor não foi alcançado em nenhum dos tratamentos avaliados.

Tabela 4. Relação MSPA/MSR e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Dipteryx alata* aos 90 dias após a semeadura em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					p-valor	Regressão ¹	
	0	50	100	200	400		R ² (%)	Equação
Relação MSPA/MSR								
Ctl	0,45 a	1,30 a	0,68 a	0,56 b	0,94 a	0,0194	-	-
Rc	0,30 a	1,01 a	1,30 a	0,76 ab	1,29 a	0,0846	-	-
Gm	0,15 a	0,76 a	0,71 a	1,41 a	1,02 a	0,0424	-	-
CV (%) = 55,59								
Índice de qualidade de Dickson - IQD								
Ctl	0,06 a	0,16 a	0,45 ab	0,35 a	0,43 a	0,0189	-	-
Rc	0,07 a	0,23 a	0,17 b	0,50 a	0,38 a	0,0000	-	-
Gm	0,08 a	0,39 a	0,48 a	0,25 a	0,46 a	0,1296	-	-
CV (%) = 59,04								

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%) = Coeficiente de variação.

Espécies vegetais adaptadas a situações de elevada acidez e baixa oferta de nutrientes e água, caso das plantas do bioma Cerrado, apresentam como característica maior alocação de biomassa no sistema radicular em comparação com a parte aérea (Durigan et al., 2011), o que explica a ocorrência de redução desse valor. Uliana et al. (2014) apontam que a diminuição dessa relação favorece a sobrevivência de mudas após o plantio, devido os menores riscos de mortalidade por estresse hídrico.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), o qual é um indicativo da qualidade das mudas, por meio da análise de parâmetros de crescimento e produção de massa, foi influenciado pelos FMAs apenas na dose 100 mg dm⁻³, ocasião em que *R. clarus* promoveu a produção de mudas com maior qualidade, em comparação às inoculadas com *G. margarita*. Nas demais doses não se constatou efeito dos microrganismos na citada variável, contudo, houve tendência de mudas com melhor qualidade onde se realizou a inoculação com *G. margarita*.

Resultado similar foi obtido por Abreu (2018) ao avaliar o efeito da inoculação com fungos micorrízicos nativos e mix de três espécies de FMAs (*Gigaspora decipiens*, *Rhizophagus clarus* e *Scutellospora heterogama*) na produção de mudas de *Hancornia speciosa* e *Brosimum gaudichaudii*. O autor constatou que a aplicação de isolados de FMAs não promoveu aumento do IQD das plantas, contudo, para a *H. speciosa* houve tendência de maior qualidade das mudas inoculadas. O citado autor ainda observou que nos tratamentos onde foi aplicado FMAs nativos houve maior qualidade das mudas, em comparação aos

tratamentos sem inoculação e inoculados com o mix, o que pode indicar que a alta compatibilidade planta x FMAs nativos da espécie vegetal promoveu benefícios na produção das mudas.

De maneira geral, houve tendência de mudas com maior qualidade no tratamento onde se aplicou o endófito *G. margarita*, em comparação ao *R. clarus*. Esse fato pode ser explicado pelos resultados encontrados por Hart e Reader (2002), os quais observaram que espécies da família Glomaceae, a qual pertence o FMA *R. clarus*, apresentam alta taxa de infectividade das raízes, menor comprimento médio de hifas e menor biomassa fúngica no solo. Comparativamente, fungos da família Gigasporaceae, a qual engloba a espécie *G. margarita*, infectaram pouco as raízes, contudo, apresentavam maior comprimento médio de hifas e maior biomassa fúngica no solo. Desse modo, a possibilidade de explorar maior volume de solo pelas hifas de *G. margarita* pode ter beneficiado o crescimento de *D. alata*, devido à maior aquisição de recursos de crescimento presentes no solo, como água e nutrientes.

A melhoria na absorção de água e nutrientes, em especial o P, gerando aumento da produção e capacidade de sobrevivência das mudas após o plantio, são os maiores incentivos da aplicação desses microrganismos na área agrícola e florestal (Owen et al., 2015). Resultados diversos podem ser encontrados ao se avaliar a produção de mudas de espécies nativas em associação aos FMAs e doses de P. Por mais que esses microrganismos apresentem baixa especificidade ao hospedeiro, o benefício gerado pela simbiose irá depender da interação entre as partes, aliada às condições ambientais (Souza et al., 2017). Essa variabilidade pode ser explicada por aspectos intrínsecos das espécies, dado que a resposta das plantas à inoculação dependem de compatibilidades funcionais fisiológicas e bioquímicas da interação (Cano, 2011).

O benefício que o microrganismo promove às plantas vai além do crescimento vegetal e produção de massa. Tais benefícios podem ser relacionados à capacidade adaptativa a ambientes inóspitos, como os que apresentam baixa umidade e, ou, teor de nutrientes no solo, temperaturas extremas, presença de elevados teores de metais pesados e, ou, salinidade, proteção contra doenças e parasitas, assim como beneficiar a associação entre mais de um grupo de microrganismos. Gross et al. (2004) encontraram maior nodulação de bactérias fixadoras de nitrogênio em tratamento onde houve inoculação conjunta com FMAs, o que segundo os autores, pode estar relacionado com a maior quantidade de P absorvido e translocado pelos fungos para as plantas, melhorando o balanço energético da planta, o que é essencial ao processo de fixação de N.

Duboc et al. (1996) apontam que estudos avaliando as exigências nutricionais de espécies nativas apresenta baixa quantidade de informações, em comparação ao grande número de espécies que ocorrem no Brasil. Assim, trabalhos avaliando essa simbiose e as exigências nutricionais em espécies nativas são importantes, devido ao subsídio de informações relevantes para a silvicultura, almejando-se a obtenção de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, assim como a recuperação de áreas degradadas por meio de plantios de mudas.

CONCLUSÕES

De modo geral, a aplicação de P proporcionou aumento da altura total da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), produção de massa seca de parte aérea, raiz e total (respectivamente, MSPA, MSR e MST), relação MSPA/MSR e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *D. alata*.

As variáveis supracitadas não foram influenciadas de modo significativo pela inoculação com FMAs. Contudo, em especial nas doses 0, 50 e 100 mg dm⁻³ de P, houve efeito benéfico da simbiose no crescimento, produção de massa seca e qualidade das mudas.

Assim, nas condições estudadas, a aplicação de P no substrato foi suficiente para se obter mudas de qualidade de *D. alata*.

AGRADECIMENTOS

À FUNDECT; ao CNPq/CAPES pelo apoio financeiro via projetos: “casadinho” processo 620029/20080 e “casadinho/Procad processo 552377/2011-2; e a CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu GM (2018). *Adubação fosfatada e microrganismos simbiotes na produção de mudas de mangaba e mama-cadela*. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 84p.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Cano MA (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2): 15-31.
- Carlos L, Venturin N, Macedo RLG, Higashikawa EM (2013). Crescimento e nutrição mineral de mudas de barbatimão sob efeito da omissão de nutrientes. *Floresta*, 43(4): 559-568.
- Carlos L, Venturin N, Macedo RLG, Higashikawa EM, Garcia MB, Farias ES (2014). Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Revista Ciência Florestal*, 24: 13-21.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36: 10-13.
- Duboc E, Venterim N, Vale FRD, Davide AC (1996). Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.). *Cerne*, 2(1): 31-47.
- Durigan G, Melo ACG, Max JCM, Vilas Boas O, Contieri WA, Ramos VS (2011). *Manual para recuperação da vegetação de cerrado*. 3 ed. Editora: SMA, São Paulo. 19 p.

- Duryea ML (1985). Evaluating seedling quality importance to reforestation. In: Duryea ML (Ed.). *Evaluating seedling quality principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Editora: Corvallis, Oregon State University, 1-6.
- El-Sharkawy HHA, Rashad YM, Ibrahim AS (2018). Biocontrol of stem rust disease of wheat using arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma* spp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 103: 84-91.
- Epstein E, Bloom AJ (2006). *Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas*. 2 ed. Editora: Planta, Londrina. 401p.
- Freitas ECS, Paiva HN, Leite HG, Oliveira Neto SN (2018). Crescimento de mudas de *Dipteryx alata* sob adubação fosfatada e calagem. *Ambiência*, 14(2): 267-281.
- Gomes JM, Paiva HN (2012). *Viveiros florestais: propagação sexuada*. Editora: UFV, Viçosa. 116p.
- Gross E, Cordeiro L, Caetano FH (2004). Nodulação e Micorrização em *Anaderanthera peregrina* var. falcata em solo de cerrado autoclavado e não autoclavado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 95-101.
- Hart MM, Reader RJ (2002). Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 153: 335-344.
- Kiriachek SG, Azevedo LCB, Peres LEP, Lambais MR (2009). Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1-16.
- Lacerda KAP, Silva MMS, Carneiro MAC, Reis EF, Saggin Júnior OJ (2011). Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado. *Cerne*, 17(3): 377-386.
- Lima KB, Riter Netto AF, Martins MA, Freitas MSM (2015). Crescimento, acúmulo de nutrientes e fenóis totais de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata*) inoculadas com fungos micorrízicos. *Ciência Florestal*, 25(4): 853-862.
- Machado KS, Maltoni KL, Santos CM, Cassiolato AMR (2014). Resíduos orgânicos e fósforo como condicionantes de solo degradado e efeitos sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. *Ciência Florestal*, 24(3): 541-552.
- Melo SWC (2013). *Extrativismo vegetal como estratégia de desenvolvimento rural no Cerrado*. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade de Brasília, Brasília, 197p.
- Mizobata KKGS, Cassiolato AMR, Maltoni KL (2017). Crescimento de mudas de baru e gonçalo-alves em solo degradado, suplementado com resíduo, em Ilha Solteira-SP. *Ciência Florestal*, 27(2), 429-444.
- Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JCL (2007). *Fertilidade do solo*. Editora: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 1017p.
- Novais RF, Smyth TJ (1999). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Editora: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 399p.

- Oliveira AN, Silva AC, Rosado SCS, Rodrigues EAC (2006). Variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). *Revista Árvore*, 30(6), 905-909.
- Owen D, Williams AP, Griffith GW, Withers PJA (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Applied Soil Ecology*, 86: 41-54.
- Ribeiro JF, Oliveira MC, Gulias APSM, Fagg JMF, Aquino FG (2008). Usos Múltiplos da Biodiversidade no Bioma Cerrado: estratégia sustentável para a sociedade, o agronegócio e os recursos naturais. In: Faleiro FG, Farias Neto AL (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 336-360.
- Santos DH, Silva MA, Tiritan CS, Foloni JSS, Echer FR (2011). Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(5): 443-449.
- Scalon SPQ, Teodósio TKC, Novelino JO, Kissmann C, Mota LHS (2011). Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* mart. Ex tul. em diferentes substratos. *Revista Árvore*, 35(3): 633-639.
- Shi SM, Chen K, Gao Y, Liu B, Yang XH, Huang XZ, He XH (2016). Arbuscular mycorrhizal fungus species dependency governs better plant physiological characteristics and leaf quality of mulberry (*Morus alba* L.) seedlings. *Frontiers in microbiology*, 7: 1-11.
- Silva DSN, Venturin N, Rodas CL, Macedo RLG, Venturin RP, Melo LA (2016). Growth and mineral nutrition of baru (*Dipteryx alata* Vogel) in nutrient solution. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(12): 1101-1106.
- Siqueira JO, Colozzi Filho A, Saggin Junior OJ, Guimarães PTG, Oliveira E (1993). Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos e superfosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17(1): 53-60.
- Smith SE, Read DJ (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. 3 ed. Editora: Academic Press, New York. 800p.
- Soares MTS, Gaiad S, Resende AS, Menezes GI, Fernandes FA, Fernandes AHBM (2017). Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(91): 311-322.
- Souza FA, Schlemper TR, Stürmer SL (2017). A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. In: Lopes CA, Pedroso MTM (Eds.). *Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática*. Brasília: Embrapa, 223-252.
- Torres WGA (2017). *Saturação de bases em solo do cerrado para produção de mudas de pequi e baruzeiro*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 73p.
- Universidade Federal de Viçosa – UFV (1997). SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas. Versão 7.1. Viçosa, MG: Manual do usuário. 150p.

- Uliana MB, Fey R, Malavasi MM, Malavasi UC (2014). Produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* em função de substratos alternativos e da frequência de fertirrigação. *Floresta*, 44(2): 303-312.
- Villegas J, Fortin JA (2002). Phosphorus solubilization and pH changes as a result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on a medium containing NO_3^- as nitrogen source. *Canadian journal of botany*, 80(5), 571-576.
- Wu QS, Zou YN, He XH (2010). Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. *Acta physiologiae plantarum*, 32: 297-304.
- Yao Q, Zhu HH, Chen JZ (2005). Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. *Scientia Horticulturae*, 105(1): 145-151.

Fertilização fosfatada e fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de *Peltophorum dubium*

 10.46420/9786588319314cap8

Gustavo Mattos Abreu¹ 

Jolimar Antonio Schiavo^{2*} 

Bruna Duque Guirardi¹ 

Tamara Izabel de Andrade Payá³ 

Phillipe Mattos Abreu² 

Gabrielly dos Santos Bobadilha⁴ 

Naelmo de Souza Oliveira² 

INTRODUÇÃO

A supressão da vegetação nativa realizada de maneira intensiva, com o intuito de abrir novas áreas para a instalação de empreendimentos, como atividades de mineração, exploração agrícola, florestal ou pecuária são grandes causadores da poluição e redução da qualidade ambiental. Esse fato coloca em risco diversas áreas de relevante interesse ecológico, devido ao aumento da exposição do solo, redução da regeneração vegetal e biodiversidade, o que promove a degradação de grandes áreas (Araújo Filho et al., 2007).

Soares e Carneiro (2010) apontam que para se recuperar essas áreas, em muitos casos, faz-se necessária a realização de plantios de espécies arbóreas nativas, as quais devem apresentar certas características, como rápido crescimento e capacidade de suportar situações adversas, como baixa oferta de nutrientes e estresse hídrico. Além disso, os autores complementam que essas espécies devem promover melhorias na qualidade do solo, sejam elas químicas, físicas ou biológicas.

A inserção de espécies leguminosas com capacidade de fixar N atmosférico em projetos de recuperação é interessante devido a capacidade dessas em crescer de modo satisfatório em solos com baixa fertilidade. Além disso, essas espécies promovem maior sustentabilidade ao ambiente, devido à incorporação de N e aumento da matéria orgânica do solo (MOS) (Franco; Faria, 1997). Sabendo-se da relevância do incremento de MOS, manutenção da reserva de nutrientes e da atividade biológica do solo, faz-se importante a implantação de espécies que, além de reduzir os efeitos da degradação do solo, dão continuidade ao processo de sucessão vegetal (Balieiro et al., 2004).

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil.

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Aquidauana, MS, Brasil.

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, PR, Brasil.

⁴Mississippi State University, Mississippi State, MS, USA.

*Autor de correspondência: schiavo@uems.br

Diante disso, a canafístula (*Peltophorum dubium*) Taub. surge como espécie com elevado potencial de inserção em programas de recuperação, devido atender vários desses requisitos. A espécie é uma leguminosa arbórea da família Fabaceae com ampla ocorrência no Brasil, podendo atingir 15-25 m de altura na fase adulta. A espécie é heliófita, pioneira, rústica e de rápido crescimento, sendo encontrada normalmente colonizando áreas de pastagem, clareiras e bordas de mata. Ela é indicada para fins paisagísticos, reflorestamentos, sistemas agrosilvipastoris e recuperação de áreas degradadas (Lorenzi, 2002; Carvalho, 1994).

Ao se recuperar uma área degradada, o uso de espécies que apresentam capacidade de se associar com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é algo interessante (Siqueira et al., 2010). O plantio de mudas produzidas em associação com FMAs pode promover redução dos custos de recuperação, em função da menor necessidade de fertilizações e menores taxas de mortalidade das mudas (Carneiro et al., 2004). Esses fungos alteram a dinâmica de crescimento das plantas por meio de diversos processos, dentre eles a maior aquisição de nutrientes, em especial o fósforo (P), o qual apresenta baixos teores na maior parte dos solos de áreas tropicais (Flores-Aylas et al., 2003).

No entanto, de modo geral, os substratos utilizados na produção de mudas são isentos desses microrganismos benéficos ao crescimento das plantas. Esse fato ocorre devido a necessidade de desinfestação desses materiais, visando eliminar possíveis patógenos, o que conseqüentemente elimina os FMAs (Goetten et al., 2016). Desse modo, a aplicação de inoculante contendo microrganismos como os FMAs no substrato de produção das mudas são imprescindíveis para se garantir a presença desses no campo, dado que a maneira mais prática de se realizar a inoculação é durante a produção das mudas no viveiro.

Diante o exposto, foi avaliado o efeito da aplicação de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento, produção de massa de matéria seca e qualidade de mudas de *Peltophorum dubium*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade Universitária de Aquidauana da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UUA-UEMS) localizada entre as coordenadas 20°27'20" de latitude S e 55°40'17" de longitude W. Segundo Köppen, o clima da região pertence ao tipo Aw, classificado como tropical-quente, sub-úmido, com precipitação pluviométrica anual variando de 1.200 a 1.400 mm (Alvares et al., 2014). A temperatura média anual é de 24 °C, com máxima diária de 36 °C durante o verão e mínimas de 12 °C no inverno.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo avaliadas cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³) e três tratamentos microbiológicos

(inoculado com *Rizophagus clarus*, *Gigaspora margarita* e um Controle sem inoculação), com quatro repetições, totalizando 60 vasos. A parcela experimental foi composta por um vaso contendo duas plantas.

Para a multiplicação do inóculo de FMA foi utilizado substrato constituído por uma mistura de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e areia na proporção de 1:2 (v:v). Esse substrato foi esterilizado em autoclave, por uma vez, a 121 °C, por uma hora. Após a esterilização o substrato foi colocado em vasos de cultivo com capacidade de 5 dm³ e infectado com uma mistura de solo contendo esporos e raízes colonizadas com os FMAs, proveniente da coleção do laboratório de Matéria Orgânica e Microbiologia do Solo da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (LAMOMIS – UEMS).

Como plantas hospedeiras foram semeadas sementes de *Urochloa brizantha* cv. xaraés. As sementes de *U. brizantha* tiveram a superfície esterilizada com solução a 0,5% de hipoclorito de sódio, durante 15 minutos. Após a embebição, as sementes foram lavadas com água esterilizada. Os vasos foram mantidos em estufa pelo período de quatro meses para a multiplicação dos FMAs, os quais foram utilizados como fonte de inóculo.

O substrato utilizado no experimento foi constituído por uma mistura 1:2 (v:v) de vermiculita média e o horizonte sub-superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico. O substrato foi esterilizado em autoclave, por uma vez, a 121 °C, por uma hora. Foi realizada análise química do solo utilizado na formulação do substrato, o qual apresentou as seguintes características: pH (H₂O - Razão 1:2.5) = 4,8; Matéria orgânica (C. org. x 1,724 - Método Walkley-Black) = 13,00 g dm⁻³; P disponível (extraído com solução de Mehlich-1 e determinado por colorimetria) = 3,50 mg dm⁻³; K⁺ (extraído por Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de chama) = 1,6 mmol_c dm⁻³; Ca⁺² e Mg⁺² (extraídos com KCL 1 mol L⁻¹ e determinados por compleximetria) = 10,00 e 7,00 mmol_cdm⁻³, respectivamente; Al⁺³ (extraído com solução de KCL 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação) = 4,00 mmol_c dm⁻³, H⁺ + Al⁺³ (extraídos com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinados por titulação) = 27,00 mmol_c dm⁻³, Soma de bases = 18,60 mmol_c dm⁻³, Capacidade de troca catiônica = 45,6 mmol_c dm⁻³, Saturação por bases = 40,79% e Saturação por Al = 8,7%.

Para corrigir o solo para uma saturação por bases de 60%, foi realizada a calagem de acordo com a análise de solo, aplicando-se calcário do tipo filler com PRNT de 100%, reagindo por um período de 30 dias. Posteriormente, o substrato foi alocado em vasos plásticos com 5 dm³ de capacidade, onde foram adicionadas as doses de P, por meio da aplicação de KH₂PO₄. Devido a presença de potássio (K) no fertilizante utilizado como fonte de P, adicionou-se KCl ao substrato de cultivo das plantas, pretendendo-se equilibrar a quantidade de K aplicada via KH₂PO₄.

As sementes de *P. dubium* foram coletadas de plantas matrizes situadas na UEMS, campus Aquidauana, as quais tiveram sua superfície esterilizada por meio de imersão em hipoclorito de sódio 2% por um período de 5 minutos. Decorrido este período, as mesmas foram lavadas em água corrente e,

posteriormente, em água destilada e deionizada. Para a germinação das sementes, placas de Petri foram preenchidas com algodão embebido em água destilada, dispostas em capela de fluxo laminar e submetida à luz ultravioleta durante 10 minutos para esterilização. Em seguida, as placas contendo as sementes foram levadas à câmara BOD à temperatura de 30°C, até a emissão das radículas.

A inoculação com FMAs foi efetuada no momento da semeadura, tendo como inóculo 10 mL de uma mistura de solo, raízes colonizadas e esporos de FMAs, o qual foi adicionado ao orifício onde se inseriu as sementes. Aos dez dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, permanecendo apenas duas plantas por vaso, as quais foram selecionadas. A irrigação do substrato de cultivo foi realizada mediante monitoramento diário, a qual foi feita de modo que as plantas não atingissem o ponto de murcha.

O crescimento das mudas *P. dubium* foi avaliado aos 90 dias após a semeadura (DAS), onde foram mensurados a altura total das plantas (H) e o diâmetro do coleto (DC). A H das mudas foi medida do nível acima do solo até o ponto de inserção da última folha, utilizando-se régua (graduada em cm), enquanto o DC foi mensurado ao nível acima do solo, por meio de paquímetro (graduado em mm). Após a mensuração das mudas aos 90 DAS, as mesmas foram coletadas, onde o sistema radicular foi separado da parte aérea. Para determinação da massa de matéria seca das plantas, a parte aérea e o sistema radicular foram acondicionados em estufa a 65°C por 72 horas. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,01g.

Por meio dos dados de altura total da parte aérea (H), diâmetro a altura do colo (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST) das plantas, calculou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960) (1).

$$IQD = MST / [(H / DC) + (MSPA / MSR)] \quad (1)$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos de inoculação e doses de P à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão ($p < 0,05$), respectivamente, utilizando-se o software SAEG® (UFV, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das plantas (H) aos 90 dias após a semeadura (DAS) não sofreu efeito da inoculação com FMAs, exceto nas plantas fertilizadas com 200 mg dm⁻³ de P, cuja inoculação com *G. margarita* promoveu maior incremento em comparação ao controle. Foi verificado que a altura das plantas submetidas à dose 0 mg dm⁻³ de P, com ou sem inoculação com FMAs, possuíram valores inferiores em relação às demais doses de P, o que também foi observado para o diâmetro do coleto (DC). Comparando-se as doses 0 e 50 mg dm⁻³ de P, é possível notar incrementos de, aproximadamente, 128, 65 e 106% na H e 123, 51 e 68%

no DC nos tratamentos controle, *R. clarus* e *G. margarita*, respectivamente, o que indica que a espécie apresenta elevada responsividade à aplicação de fósforo para as citadas variáveis.

As variáveis H e DC das mudas inoculadas com FMAs demonstraram comportamento quadrático em função da aplicação de doses de P (Tabela 1). Tal fato é comum, dado que em elevadas concentrações de nutrientes no substrato, principalmente o P, pode ocorrer redução do benefício gerado pelos fungos, onde, a partir de um certo limite, a associação torna-se desvantajosa para a planta. Desse modo, em condições onde os FMAs promovam redução do crescimento das plantas, ao invés de se obter uma simbiose, há o estabelecimento de uma relação parasítica (Smith; Read, 2008; Schiavo et al., 2010). A relação H/DC não sofreu influência de nenhum dos fatores avaliados, o que confronta os resultados obtidos por Cruz et al. (2011), os quais encontraram efeito linear da variável em resposta à aplicação de P até 600 mg dm⁻³.

Tabela 1. Altura total das plantas (H), diâmetro à altura do coleto (DC) e relação H/DC de mudas de *Peltophorum dubium* aos 90 dias após a semeadura em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹		Equação	CV%	p-valor
	0	50	100	200	400	R ² (%)				
H (cm)										
Ctl	11,1 a	25,3 a	30,5 a	21,6 b	29,0 a	-		-	22,04	0,0007
Rc	13,1 a	21,6 a	25,8 a	25,8 ab	25,6 a	Q, 85,38	$\hat{y} = 15,092308^{**} + 0,105148^* P - 0,000200^* P^2$		27,83	0,0488
Gm	12,5 a	25,8 a	28,1 a	31,5 a	26,3 a	Q, 88,46	$\hat{y} = 15,084615^{**} + 0,157336^{**} P - 0,000326^{**} P^2$		20,44	0,0011
CV%			23,41			-		-	-	-
DC (mm)										
Ctl	2,38 a	5,31 a	4,67 a	4,00 a	4,55 a	-		-	30,17	0,0342
Rc	2,51 a	3,80 b	4,35 a	4,33 a	4,50 a	Q, 83,64	$\hat{y} = 2,830962^{**} + 0,014659^{**} P - 0,000027^* P^2$		20,48	0,0177
Gm	2,53 a	4,25 ab	4,50 a	4,50 a	4,33 a	Q, 74,28	$\hat{y} = 2,971538^{**} + 0,016235^{**} P - 0,000033^{**} P^2$		19,93	0,0146
CV%			18,94			-		-	-	-
Relação H/DC (cm mm ⁻¹)										
Ctl	4,73 a	4,76 a	6,06 a	5,42 a	6,25 a	-		-	32,16	0,6518
Rc	5,21 a	5,51 a	5,87 a	5,92 a	5,76 a	-		-	17,00	0,8289
Gm	4,95 a	5,94 a	6,43 a	7,10 a	6,13 a	-		-	18,62	0,1627
CV%			17,58			-		-	-	-

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = Coeficiente de variação. Q = regressão quadrática; * e ** indicam, respectivamente, significância do parâmetro a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Os valores de MSPA e MST (Tabela 2) apresentaram diferença entre os tratamentos microbiológicos apenas na dose 50 mg dm⁻³ de P, onde o controle superou a produção de massa das mudas inoculadas com o FMA *R. clarus*. Plantas inoculadas com *R. clarus* não responderam à aplicação de P na produção de MSPA, MSR e MST. Por mais que não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) das doses de P na produção de MSPA em mudas inoculadas com *R. clarus*, houve elevado incremento dessa variável na dose 50 mg dm⁻³, a qual apresentou acréscimo aproximadamente 9 vezes maior quando comparada às plantas não fertilizadas (0 mg dm⁻³ de P). Comparando-se as mesmas doses, é possível notar que houveram incrementos semelhantes nos tratamentos controle e *G. margarita*.

Tabela 2. Massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de *Peltoporum dubium* aos 90 dias após a semeadura em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹			
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação	CV%	p-valor
Massa seca parte aérea (g vaso ⁻¹)									
Ctl	0,378 a	7,153 a	5,540 a	1,618 a	2,905 a	-	-	47,77	0,0002
Rc	0,305 a	3,045 b	3,103 a	2,620 a	2,798 a	-	-	62,06	0,0837
Gm	0,398 a	3,703 b	4,233 a	2,965 a	2,893 a	-	-	54,82	0,0306
CV%			54,03			-	-	-	-
Massa seca raiz (g vaso ⁻¹)									
Ctl	0,148 a	1,528 a	1,448 a	0,523 a	0,928 a	-	-	51,23	0,0033
Rc	0,218 a	0,765 a	0,883 a	1,130 a	0,685 a	-	-	61,19	0,1167
Gm	0,315 a	1,508 a	1,410 a	1,253 a	0,833 a	-	-	75,84	0,2560
CV%			66,11			-	-	-	-
Massa seca total (g vaso ⁻¹)									
Ctl	0,525 a	8,680 a	6,988 a	2,140 a	3,833 a	-	-	45,93	0,0002
Rc	0,523 a	3,810 b	3,985 a	3,750 a	3,483 a	-	-	57,99	0,0774
Gm	0,713 a	5,210 ab	5,643 a	4,218 a	3,725 a	-	-	57,85	0,0552
CV%			53,49			-	-	-	-

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = Coeficiente de variação.

Não foi observada diferença significativa na MSR das plantas em nenhum dos tratamentos microbiológicos, enquanto apenas no controle houve efeito significativo ($p < 0,01$) da fertilização fosfatada na produção de raízes. Resultados semelhantes foram observados na MST, contudo, houve efeito da inoculação com FMAs apenas na dose 50 mg dm⁻³, onde mudas do tratamento controle produziram maior quantidade de massa seca. De modo geral, espera-se que espécies pioneiras como a canafístula sejam mais susceptíveis à simbiose e respondam bem à presença de FMAs (Zangaro et al., 2002). Contudo, os

citados autores também não encontraram efeitos positivos da simbiose com FMAs na produção de mudas de *P. dubium*.

Além da produção de massa seca, as relações H/MSPA e MSPA/MSR e o IQD das plantas de canafistula aos 90 DAS não demonstraram ajuste de regressão em função das doses de P. A falta de ajustamento pode ter ocorrido em função da elevada variabilidade dos dados, o que é demonstrado pelo elevado coeficiente de variação (CV%) dessas variáveis em função da aplicação de P (Tabela 3).

Tabela 3. Relações H/MSPA e MSPA/MSR e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Peltophorum dubium* aos 90 dias após a semeadura em função de doses de P e da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹				
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação	CV%	p-valor	
Relação H/MSPA (cm g ⁻¹)										
Ctl	29,40 b	3,86 a	5,78 a	14,53 a	11,39 a	-	-	24,77	0,0000	
Rc	43,41 a	10,95 a	9,35 a	12,26 a	10,23 a	-	-	40,07	0,0000	
Gm	36,14 ab	8,80 a	7,84 a	13,47 a	10,05 a	-	-	63,91	0,0046	
CV%			47,12			-	-	-	-	
Relação MSPA/MSR										
Ctl	3,38 a	4,74 a	4,15 a	3,05 a	3,71 a	-	-	41,71	0,6017	
Rc	1,46 a	3,46 a	3,38 a	2,65 a	4,41 a	-	-	40,42	0,0475	
Gm	1,32 a	2,43 a	3,62 a	3,18 a	3,59 a	-	-	43,18	0,0829	
CV%			42,06			-	-	-	-	
Índice de qualidade de Dickson – IQD										
Ctl	0,07 a	0,92 a	0,71 a	0,25 a	0,40 a	-	-	63,34	0,0062	
Rc	0,08 a	0,38 b	0,42 a	0,45 a	0,36 a	-	-	55,60	0,0865	
Gm	0,11 a	0,60 ab	0,63 a	0,45 a	0,38 a	-	-	69,26	0,1627	
CV%			58,6			-	-	-	-	

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; Ctl = Controle; Rc = *R. clarus*; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = Coeficiente de variação.

Apenas na dose 0 mg dm⁻³ de P houve efeito do tratamento microbiológico na relação H/MSPA, onde o maior valor foi observado em mudas inoculadas com *R. clarus*, enquanto o menor valor ocorreu no controle. Mudas associadas ou não aos FMAs sofreram forte efeito ($p < 0,01$) da fertilização fosfatada na citada variável, havendo redução da H/MSPA em função da aplicação de P. Resultados contrários foram observados por Abreu (2018), o qual encontrou redução significativa da relação em função da inoculação com FMAs e acréscimo em resposta do aumento da oferta de P no substrato.

A redução da H/MSPA é um ponto satisfatório, dado que quanto menor a relação, para um mesmo valor de H, mais lenhificada e de melhor qualidade será a muda (Gomes; Paiva, 2012). Contudo, os citados

autores indicam que essa característica é pouco avaliada em pesquisas sobre produção de mudas. Essa relação apresenta informação importante para a silvicultura, dada sua capacidade de inferir sobre a capacidade de sobrevivência das mudas após o plantio (Gomes; Paiva, 2012).

A relação MSPA/MSR das mudas de *P. dubium* presentes nos tratamentos controle e inoculadas com o FMA *G. margarita* não foi influenciada pela aplicação de P ($p > 0,05$), havendo influência apenas em plantas inoculadas com *R. clarus* ($p = 0,0475$). Também não foram encontradas diferenças significativas na variável em função da inoculação em nenhuma das doses. Contudo, de maneira geral, a associação das plantas com os FMAs proporcionou redução dessa relação, o que é positivo segundo Navarro et al. (2006). Os citados autores consideram essa variável como uma das mais importantes para se definir a qualidade de uma muda para plantio a campo, devido essas, geralmente, apresentarem baixos índices de mortalidade em função de variações ambientais, como períodos de estiagem prolongados.

A qualidade das mudas de canafístula, avaliadas pelo IQD, sofreu influência da inoculação com FMAs apenas na dose 50 mg dm^{-3} , onde o tratamento controle produziu mudas de melhor qualidade. A fertilização com P promoveu efeito significativo no IQD apenas em mudas do tratamento controle. No entanto, a aplicação de fósforo proporcionou aumentos nos valores do IQD de mudas micorrizadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2013), os quais avaliaram a produção de mudas de *P. dubium* em resposta à fertilização nitrogenada e fosfatada, constatando que a aplicação de N e P influenciou a qualidade das mudas, sendo o efeito do P mais pronunciado que o do N.

Esse comportamento de responsividade à aplicação de P em espécies pioneiras, caso do *P. dubium*, foi observado por Resende et al. (1999). Os autores notaram, ao estudar o efeito da fertilização fosfatada no crescimento inicial de mudas de arbóreas nativas de diferentes estágios sucessionais, que a resposta das plantas ao fornecimento de P era diferente entre espécies clímax e pioneiras, as quais eram, respectivamente, pouco e muito responsivas à fertilização.

Venturin et al. (1999) observaram redução drástica da H, DC, MSPA e MSR de mudas de *P. dubium* produzidas sob omissão de P, o que levou os autores a definir o nutriente como o mais limitante ao crescimento da espécie. Souza et al. (2012), avaliando a eficiência da nutrição de mudas de *P. dubium*, constataram que o P foi o macronutriente quantificado com menor conteúdo nas plantas, sendo a ordem de acúmulo $N > Ca > K > Mg > P$. Contudo, o nutriente foi o mais eficaz em produzir massa seca das plantas, o que demonstra a importância do mesmo para a produção de mudas da espécie.

Melhorias na nutrição das plantas, devido ao maior aporte de nutrientes no substrato ou ao uso de tecnologias que facilitem a aquisição de minerais pelas raízes, como a utilização de FMAs, são importantes para a obtenção de mudas de qualidade. Tucci et al. (2009) indicam que o aumento da oferta desses nutrientes para as plantas, em especial N, P e K, apresentam correlação direta com a qualidade e crescimento de mudas após o plantio no campo.

O plantio de mudas com baixa qualidade, seja ela fisiológica ou morfológica, pode inviabilizar projetos florestais com fins diversos, devido ao menor índice de sobrevivência e maior necessidade de replantio e tratos silviculturais. Desse modo, pesquisas que colaborem para a melhor compreensão de fatores que permitam a produção de mudas de espécies arbóreas nativas com qualidade é um aspecto primordial para o sucesso desses empreendimentos.

CONCLUSÕES

A fertilização fosfatada proporcionou incrementos na altura total da parte aérea e diâmetro à altura do coleto das mudas de *P. dubium*. Não houve efeito da inoculação nas citadas variáveis, contudo, melhores resultados foram obtidos em mudas associadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

Plantas não inoculadas com FMAs apresentaram aumento da produção de massa seca em função da aplicação de P. Nas doses 50 e 100 mg dm⁻³ a inoculação com FMAs, em especial *R. clarus*, proporcionou redução da produção de massa seca das mudas.

A aplicação de 50 e 100 mg dm⁻³ de P promoveu a obtenção de mudas de qualidade superior de *P. dubium*.

Mudas não fertilizadas (0 mg dm⁻³ de P) e inoculadas com os FMAs *R. clarus* e *G. margarita* possuíram maior relação H/MSPA.

AGRADECIMENTOS

À FUNDECT; ao CNPq/CAPES pelo apoio financeiro via projetos: “casadinho” processo 620029/20080 e “casadinho/Procad processo 552377/2011-2; e a CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu GM (2018). *Adubação fosfatada e microrganismos simbiotes na produção de mudas de mangaba e mama-cadela*. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 84p.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Araujo Filho JA, Sousa FB, Silva NL, Bezerra TS (2007). Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e povoamentos em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2(2):1592-1595.
- Balheiro FC, Dias LE, Franco AA, Campello EFC, Faria SM (2004). Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. *Ciência Florestal*, 14(1): 59-65.
- Carneiro MAC, Siqueira JO, Davide AC (2004). Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34(3): 119-125.
- Carvalho, PER (1994). *Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. COLOMBO: EMBRAPA/CNPQ. 640p.
- Cruz CAF, Cunha ACMCM, Paiva HN, Neves JCL (2011). Efeito de macronutrientes sobre o crescimento e qualidade de mudas de canafistula cultivadas em Latossolo vermelho-amarelo distrófico. *Revista Árvore*, 35(5): 983-995.
- Flores-Aylas WW, Saggin-Júnior OJ, Siqueira JO, Davide AC (2003). Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(2): 257-266.
- Franco AA, Faria SM (1997). The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 897-903.
- Goetten LC, Moretto G, Stürmer SL (2016). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on-farm and phosphorus on growth and nutrition native Woody plant species from Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 30(1): 9-16.
- Gomes JM e Paiva HN (2012). Viveiros florestais: propagação sexuada. Editora: UFV, Viçosa. 116p.
- Lorenzi H (2002) *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Editora: Plantarum, Nova Odessa. 382p.
- Navarro RM, Villar-Salvador P, Del Campo A (2006) Morfologia y establecimiento de los plantones. In: Cortina J, Peñu Elas JL, Puértolas J, Savé J, Vilagrosa A (Eds.). *Calidad de plantaciones florestais para la restauración em degradados ambientes mediterráneos: Estado actual de conocimientos*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales:Madrid, p. 67 - 88.

- Resende ÁV, Furtini Neto AE, Muniz JA, Curi N, Faquin V (1999). Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(11): 2071-2081.
- Schiavo JA, Silva CA, Rosset JS, Secretti ML, Sousa RAC, Cappi N (2010). Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(3): 322-329.
- Siqueira JO, Souza FA, Cardoso EJBN, Tsai SM (2010). *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Editora: UFLA, Lavras. 716p.
- Smith SE, Read DJ (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. 3 ed. Editora: Academic Press, New York. 800p.
- Soares CRFS, Carneiro MAC (2010). Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: Siqueira JO, Souza FA, Cardoso EJBN, Tsai SM (Eds.) *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: UFLA, 441-474.
- Souza NH, Marchetti ME, Carnevali TO, Ramos DD, Scalon SPQ, Silva EF (2013). Estudo nutricional da canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. *Revista Árvore*, 37(4): 717-724.
- Souza NH, Marchetti ME, Carnevali TO, Ramos DD, Scalon SPQ, Silva EF (2012). Estudo nutricional da canafístula (II): eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. *Revista Árvore*, 36(5): 803-812.
- Tucci CAF, Lima HN, Lessa JF. (2009). Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazonica*, 39(2): 289-293.
- Universidade Federal de Viçosa – UFV (1997). SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas. Versão 7.1. Viçosa, MG: Manual do usuário. 150p.
- Venturin N, Duboc E, Vale FR, Davide AC (1999). Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(3): 441-448.
- Zangaro W, Nisizaki SMA, Domingos JCB, Nakano EM (2002). Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi, Paraná. *Cerne*, 8(1): 77-87.

Crescimento e produção de biomassa de mudas de *Pterogyne nitens* Tull. inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada

 10.46420/9786588319314cap9

Bruna Duque Guirardi¹ 

Jolimar Antonio Schiavo^{2*} 

Gustavo Mattos Abreu¹ 

Tamara Izabel de Andrade Payá³ 

Phillipe Mattos Abreu² 

Gabrielly dos Santos Bobadilha⁴ 

Naelmo de Souza Oliveira² 

INTRODUÇÃO

O aumento populacional vem desencadeando diversas discussões sobre a segurança alimentar e sustentabilidade, tornando-se cada vez mais necessário produzir e ao mesmo tempo preservar áreas. Segundo Leles et al. (2006) esta preocupação ambiental demanda mais serviços de produtos florestais, como a produção de mudas para a recuperação de áreas degradadas, revegetação, reflorestamentos para fins econômicos, restauração de matas ciliares, arborização, entre outros fins. O autor ainda salienta a necessidade do desenvolvimento de pesquisas e técnicas que otimizem a produção de mudas, a baixo custo, atribuindo qualidade para mudas para se atender aos objetivos dos plantios finais.

Entre as técnicas estudadas para a produção de mudas destaca-se a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). A associação mutualista entre plantas e os FMAs estende a área superficial da raiz, acarretando um aumento na capacidade de absorção de água e nutrientes do solo, proporcionando assim maior taxa de crescimento e sobrevivência (Nadeem et al., 2014).

A utilização desta associação mutualista entre os FMAs e planta é promissora devido aos benefícios causados nas plantas, principalmente na fase de viveiro, podendo antecipar o tempo de transplante para o campo, o que reduz o tempo de permanência das mudas no viveiro. Sendo assim, aumenta-se a rotatividade na ocupação da infraestrutura e otimização de mão-de-obra, conseqüentemente, ocorre uma

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil

² Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Aquidauana, MS, Brasil

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, PR, Brasil

⁴ Mississippi State University, Mississippi State, MS, USA;

*Autor de correspondência: schiavo@uems.br

maior produtividade de mudas (Silveira et al., 2003). Esta associação mutualista também favorece a eficiência na utilização de nutrientes disponíveis, aumenta a tolerância aos estresses climáticos e edáficos, e aumenta a resistência das plantas a patógenos. Por conseguinte, diminui custos da produção de mudas sadias e mais precoces (Gomes; Silveira, 2007).

A *Pterogyne nitens* Tull. (amendoim do campo) é uma espécie arbórea, conhecida como “madeira nova” e “amendoim-do-campo”, apresenta rusticidade e altas taxas de crescimento. Esta espécie pertence à família Fabaceae, sub-família Caesalpinoideae. A mesma pode atingir cerca de 9-15 metros de altura, sua dispersão é de forma ampla e descontínua tanto na mata primária quanto em formações secundárias, e em vários estágios de sucessão ecológica. (Lorenzi, 1992; Filardi et al., 2009).

Carvalho (1994) descreveu sobre a madeira de *P. nitens*, como sendo elástica e resistente. A casca do caule desta espécie demonstrou-se promissora para a utilização para fins farmacêuticos (Lima et al., 2016). Já para fins energéticos a mesma é adequada para a produção de carvão vegetal com boa qualidade (Figueiredo et al. 2018). Marchesan et al. (2013) em estudo de algumas espécies para a fabricação de piso verificou que a de *P. nitens* obteve um maior rendimento na produção de lamelas. Para recuperação de áreas, essa espécie é recomendada para reposição de mata ciliar em locais com inundações periódicas e para revegetação em solos arenosos e degradados (Bomfim et al., 2009).

Diante do exposto, da múltipla utilização da espécie de *P. nitens* e da aplicação da técnica de inoculação como alternativa para produção de mudas com boa qualidade em menor tempo de crescimento, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e doses de fósforo (P) no crescimento e produção de massa nas mudas de *Pterogyne nitens* (amendoim do campo).

MATERIAL E MÉTODOS

A produção de mudas *P. nitens* foi conduzida em casa de vegetação, localizada na Unidade Universitária de Aquidauana (UEMS), no Município de Aquidauana-MS. Geograficamente, a região localiza-se entre as coordenadas 20°27'20" de latitude S e 55°40'17" de longitude W. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região pertence ao tipo Aw, classificado como tropical-quente, sub-úmido, com precipitação pluviométrica anual variando de 1.200 a 1.400 mm. A temperatura média anual é de 24 °C, com máxima diária de 36 °C durante o verão e mínimas de 12 °C no inverno (Alvares et al., 2013).

O preparo do inóculo de FMAs foi feito em substrato constituído por uma mistura de solo e vermiculita na proporção de 1:2 (v/v). Foi realizada a esterilização do substrato em autoclave, na temperatura de 121°C, por uma hora. Posteriormente, o mesmo foi acondicionado em vasos plásticos de cultivo com capacidade de 5 dm³ e inoculado com uma mistura de solo, contendo esporos e raízes

colonizadas com os FMAs *Gigaspora margarita* e nativos. Para a semeadura utilizou-se a espécie *Brachiaria decumbens*. A multiplicação dos fungos para ser usados como inóculo, foi feita em um período de quatro meses em casa de vegetação.

O substrato utilizado no experimento foi composto por uma mistura de um horizonte sub-superficial de um solo Argissolo Vermelho distrófico e vermiculita média 1:1 v/v (Schiavo et al., 2010; Santos et al., 2018). Procedeu-se a análise química desse solo, o qual apresentou os seguintes resultados: pH = 4,8 (H₂O; 1:2,5); MO = 13,00 g.kg⁻¹ (oxidação pelo dicromato de potássio, em meio sulfúrico); P = 3,50 g.kg⁻¹ (Mehlich-1); K = 1,60 mmol_c dm⁻³ (Mehlich-1); Ca²⁺ = 10,00 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 7,00 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 4,00 mmol_c dm⁻³; H⁺+Al³⁺ = 27,00 mmol_c dm⁻³ SB= 18,60 mmol_c dm⁻³; CTC= 45,60 mmol_c dm⁻³; v = 40,79%; m= 8,77%.

Para o preparo do substrato foi realizado a esterilização do solo em autoclave, na temperatura de 121°C, por uma hora. Posteriormente, o mesmo foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de 5 dm³. Após este procedimento, realizou-se a calagem de acordo com a análise de solo, com o objetivo de se elevar a saturação por bases para 60 %, reagindo por um período de 30 dias. Adicionalmente foi realizada a aplicação das doses de fósforo (P) tendo como fonte o KH₂PO₄. Com a função de equilibrar os teores de potássio, foram adicionadas doses do mesmo sob fonte de KCl.

As sementes de *P. nitens* foram coletadas a partir de 3 plantas matrizes, localizadas no campus da UEMS em Aquidauana. A semeadura procedeu-se com a abertura de quatro orifícios no substrato por vaso. Nos tratamentos correspondentes à inoculação com FMAs, adicionaram-se 5 mL de inóculo por orifício. Em seguida, semeou-se uma semente germinada por orifício.

Aos vinte dias após a semeadura, foi realizado o desbaste das mudas, permanecendo apenas duas plantas por vaso. Estas foram avaliadas com medições periódicas de altura e diâmetro à altura do colo aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS). Para a avaliação da colonização micorrízica (CM), coletou-se o sistema radicular separado da parte aérea de cada planta. Em seguida, foi realizada a lavagem das raízes, e posteriormente, a coleta de subamostras de 2 cm de comprimento de raízes de cada planta. As subamostras foram conservadas em etanol a 50% para determinação da CM através do método da interseção em placa de Petri reticulada (Giovannetti; Mosse, 1980), após a coloração das raízes com azul de metila (Koske; Gemma, 1989).

A determinação da matéria seca total da planta foi realizada com a parte aérea e o sistema radicular, os quais foram levados para estufa a 65°C por 72 horas e pesados o material, para determinação da matéria seca.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 5 x 3, sendo os fatores doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 mg kg⁻¹), inoculação (*G. margarita* e FMAs nativo) e sem inoculação com FMAs, com quatro repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos de inoculação e doses de P à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão ($p < 0,05$), respectivamente, utilizando-se o software SAE[®] (UFV, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colonização micorrízica nas raízes das mudas de *P. nitens* inoculadas com o fungo *G. margarita*, no geral obteve maior média, quando comparada com os demais tratamentos. Em comparação ao fungo nativo, foi maior 57, 15, 26, 3 e 22%, respectivamente, nas doses 0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de P (Tabela 1). Diniz et al. (2007) em estudo com a espécie *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares na região do Cerrado, verificou que a colonização micorrízica nessa planta foi maior com o inóculo dos *G. etunicatum* e *G. margarita* quando comparados com o fungo nativo. Essa diferença entre a porcentagem de colonização entre as espécies de fungos, pode ser explicada pela variação nas proporções das hifas externas entre elas (Brito et al., 2017).

Foi observado que a aplicação de P influenciou significativamente na taxa de colonização micorrízica apenas no tratamento com a inoculação de fungos nativos. Houve uma tendência de maior taxa de colonização com a aplicação de P até a dose de 200 mg dm⁻³. Silva et al. (2017) trabalhando com a produção de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) também constataram que a porcentagem da colonização micorrízica foi influenciada significativamente pela adubação fosfatada.

Tabela 1. Colonização micorrízica de mudas de Amendoim do campo (*Pterogyne nitens* Tull.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares Nativo, *Gigaspora margarita*, e sem inoculação sob diferentes doses de fósforo.

FMAs	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação
	Colonização Micorrízica (%)						
C	22,50 c	25,00 b	27,50 b	17,50 b	80,00 b	-	-
N	52,50 b	65,00 a	67,50 a	77,50 a	67,50 a	Q, 0,96*	$\hat{y} = 53,42 + 0,202P - 0,000417P^2$
Gm	82,50 a	75,00 a	82,50 a	80,00 b	82,50 a	-	-
CV%						25,32	

FMAs = Fungos micorrízico arbuscular; C = Controle; N = nativo; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Q: regressão quadrática; * significância a 1% de probabilidade pelo teste F.

Segundo Smith et al. (2010) o principal benefício da associação micorrízica com a planta é a maior absorção de fósforo (P) em situações de baixo suprimento. Os autores salientam que entre os fatores edáficos que mais controla a porcentagem de colonização e os efeitos da simbiose nas plantas é a disponibilidade de P, dependendo da sua quantidade disponível, a simbiose pode ser de natureza mutualística, neutralista ou parasitária.

O tratamento controle (sem inoculação) também apresentou colonização de FMAs, o que pode ter ocorrido foi a presença de propágulos de FMAs na água não esterilizada utilizada para a irrigação das mudas durante o período de condução do experimento.

Para a altura das plantas de *P. nitens* aos 30 dias após a semeadura não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem inoculação. Já para a aplicação de P, as doses foram significativas apenas no tratamento com a inoculação de fungos nativos, gerando ajuste de equação linear, ou seja, quando maior a dose aplicada maior foi o crescimento em altura das plantas (Tabela 2). Carneiro et al. (2004) concluíram em seu trabalho que a inoculação com FMAs e doses fosfatadas apresentam pouco efeito no crescimento em estágio inicial da planta de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). Este mesmo efeito também foi encontrado no presente estudo, onde os FMAs tiveram efeito significativo a partir dos 60 dias após a semeadura, somente nos tratamentos sem adubação de P e com aplicação de dose com 50 mg dm⁻³ de P.

Tabela 2. Altura de mudas de Amendoim do campo (*Pterogyne nitens* Tull.) aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS), inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares Nativo, *Gigaspora margarita*, e sem inoculação sob diferentes doses de fósforo.

FMAs	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação
H-30 DAS (cm)							
C	2,84 a	3,55 a	3,10 a	2,60 a	4,0 a	-	-
N	3,50 a	2,88 a	3,07 a	3,88 a	4,48 a	L, 0,73*	$\hat{y} = 3,04 + 0,0035 P$
Gm	3,58 a	3,41 a	3,51 a	4,51 a	4,08 a	-	-
CV(%)						17,02	
H-60 DAS (cm)							
C	3,90 b	5,00 c	7,38 a	6,50 a	8,38 a	L, 0,72*	$\hat{y} = 4,78 + 0,096 P$
N	5,07 b	7,38 a	7,07 a	7,12 a	6,21 a	-	-
Gm	8,63 a	7,62 a	7,51 a	6,62 a	8,00 a	Q, 0,95*	$\hat{y} = 13,72 - 0,03675 P + 0,0007605 P^2$
CV(%)						24,20	
H-90 DAS (cm)							
C	5,52 b	5,88 b	11,12 a	10,38 a	11,38 a	Q, 0,78*	$\hat{y} = 5,32 + 0,044 P - 0,000075 P^2$
N	7,75 b	9,75 ab	9,93 a	11,00 a	9,12 a	Q, 0,94*	$\hat{y} = 8,0 + 0,028 P - 0,0000626 P^2$
Gm	14,38 a	11,31 a	10,38 a	10,07a	11,07 a	Q, 0,86*	$\hat{y} = 13,72 - 0,03675 P + 0,0007605 P^2$
CV(%)						27,71	
H-120 DAS (cm)							
C	6,31 b	6,69 b	12,88 a	11,57 a	12,69 a	-	-
N	8,75 b	13,93 a	11,19 a	12,31 a	9,68 a	-	-
Gm	15,31 a	12,93 a	12,00 a	10,62 a	13,57 a	Q, 0,91*	$\hat{y} = 13,68 - 0,02617 P + 0,0006420 P^2$
CV(%)						22,48	

FMAs = Fungos micorrízico arbuscular; C = Controle; N = nativo; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Q: regressão quadrática e L: regressão linear; * significância a 1% de probabilidade pelo teste F.

A altura com a inoculação de fungos *G. margarita*, no geral foi significativamente maior quando comparada com os demais tratamentos, nas doses 0 e 50 mg dm⁻³ de P, aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura nas mudas de *P. nitens*. Moreira et al. (2019) observaram um maior efeito dos FMAs no incremento em altura das plantas *Coffea arabica* L no tratamento sem adição de adubação fosfatada. Este

fato demonstra que o crescimento em alturas de mudas em associação com os FMAs não é efetivo em conjunto com altas concentrações de P.

No tratamento sem inoculação aos 60 dias após a semeadura houve efeito significativo para a aplicação de doses de P, quanto maior foi a quantidade de P usada maior foi o crescimento em altura das mudas de *P. nitens*. Corrêa et al. (2002) verificaram que para a variável altura de mudas de acerola (*Malpighia glabra* L.) houve influência pela aplicação de fósforo, observando-se uma resposta linear positiva. Esses autores ainda salientam a importância do fósforo para o crescimento das mudas, o qual participa da formação da parede celular e vários processos metabólicos, que são vitais ao desenvolvimento da planta.

A altura das mudas *P. nitens* no tratamento com a inoculação do fungo *G. margarita*, foi influenciada significativamente pela adubação fosfatada, aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura, observando-se uma regressão quadrática. De forma semelhante Abreu et al. (2018) também observaram uma regressão quadrática para as doses de P com a inoculação do fungo *G. margarita*. Este fato indica que a aplicação de P em plantas inoculadas com essa espécie de fungo é benéfica até uma determinada dose, a partir desta ocorre um decréscimo no crescimento em altura das plantas. No incremento em altura nas mudas de *P. nitens* não houve diferença significativa entre os tratamentos controle, inoculação com o fungo nativo e o *G. margarita*, nas doses aplicadas de 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de P.

Tabela 3. Diâmetro à altura do colo (DC) das mudas de Amendoim do campo (*Pterogyne nitens* Tull) aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS), inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares Nativo, *Gigaspora margarita*, e sem inoculação sob diferentes doses de fósforo.

FMAs	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação
DC-30 DAS (mm)							
C	1,30 a	1,43 a	1,19 a	1,31 a	1,32 a	-	-
N	1,30 a	1,30 a	1,39 a	1,37 a	1,57 a	L, 0,89*	$\hat{y} = 1,28 + 0,000644 P$
Gm	1,58 a	1,61 a	1,31 a	1,47 a	1,58 a	-	-
CV(%)						13,21	
DC -60 DAS (mm)							
C	1,88 b	2,08 a	2,47 a	2,71 a	2,81 a	Q, 0,98*	$\hat{y} = 1,85 + 0,0064 P - 0,000010 P^2$
N	1,91 b	2,28 a	2,62 a	2,80 a	2,48 a	Q, 0,98*	$\hat{y} = 1,93 + 0,00783 P - 0,0000162 P^2$
Gm	3,02 a	3,00 a	2,62 a	2,11 a	3,01 a	Q, 0,84*	$\hat{y} = 3,18 - 0,000866 P + 0,00002036 P^2$
CV(%)						21,70	

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

DC -90 DAS (mm)							
C	2,53 b	2,50 b	3,25 a	3,57 a	3,61 a	Q, 0,90*	$\hat{y} = 2,4 + 0,0084 P - 0,000013 P^2$
N	3,07 b	3,37 ab	3,81 a	4,02 a	3,43 a	Q, 0,98*	$\hat{y} = 3,04 + 0,00904 P - 0,00002015 P^2$
Gm	4,81 a	4,43 a	3,52 a	2,92 a	3,97 a	Q, 0,96*	$\hat{y} = 4,95 - 0,01719 P + 0,00003672 P^2$
CV(%)							22,34
DC -120 DAS (mm)							
C	2,81 b	2,87 b	4,31 a	4,07a	4,19 a	Q, 0,74*	$\hat{y} = 2,75 + 0,012 P - 0,000021 P^2$
N	3,43 b	4,00 ab	4,38 a	4,60 a	3,43 a	Q, 0,99*	$\hat{y} = 3,46 + 0,0117 P - 0,0000296 P^2$
Gm	4,88 a	4,45 a	4,00 a	3,50 a	4,47 a	Q, 0,99*	$\hat{y} = 4,93 - 0,01254 P + 0,00002836 P^2$
CV(%)							20,08

FMA = Fungos micorrízico arbuscular; C = Controle; N = nativo; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Q: regressão quadrática e L: regressão linear; * significância a 1% de probabilidade pelo teste F.

O diâmetro à altura do colo das mudas de *P. nitens*, aos 60 dias após a semeadura, sem aplicação da adubação fosfatada foi influenciada significativamente pelo tipo de inoculação. O maior valor encontrado foi na inoculação com o fungo *G. margarita*, sendo maior 60 e 58%, respectivamente, quando comparada ao controle e inoculada com o fungo nativo (Tabela 3). Resultado similar foi encontrado por Samarão et al. (2011), os autores avaliaram o desempenho das mudas de gravioleira (*Annona muricata* L.) com fungos micorrízicos em diferentes doses de fósforo. Foi observado um maior incremento diâmetro à altura do colo nas mudas com a inoculação do fungo *G. margarita*, em comparação com o inoculo nativo e sem inoculação, nos tratamentos sem a adição de P.

Tabela 4. Matéria seca de Amendoim do campo (*Pterogyne nitens* Tull.) da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e matéria seca total (MST), com inoculação com fungos micorrízicos arbusculares Nativo, *Gigaspora margarita*, e sem inoculação sob diferentes doses de fósforo.

FMA	Doses de fósforo mg dm ⁻³					Regressão ¹	
	0	50	100	200	400	R ² (%)	Equação
MSPA (g planta ⁻¹)							
C	3,30 b	4,05 b	8,87 a	8,28 a	10,1 ab	Q, 0,83*	$\hat{y} = 3,26 + 0,043 P - 0,000065 P^2$
N	6,32 b	9,79 a	9,31 a	9,40 a	7,57 b	-	-
Gm	11,48 a	11,61 a	10,45 a	7,60 a	13,05 a	Q, 0,78*	$\hat{y} = 12,39 - 0,038428 P + 0,00009893 P^2$
CV(%)						23,84	
MSR (g planta ⁻¹)							
C	1,84 b	3,04 a	6,90 a	7,20 a	7,41 a	Q, 0,95*	$\hat{y} = 1,2 + 0,064 P - 0,00012 P^2$
N	3,84 ab	5,54 a	5,98 a	8,52 a	6,21 a	Q, 0,94*	$\hat{y} = 3,69 + 0,0374 P - 0,0000774 P^2$
Gm	6,39 a	6,99 a	7,30 a	9,49 a	7,52 a	-	-
CV(%)						38,09	
MST (g planta ⁻¹)							
C	5,15 b	7,10 b	15,67 a	17,75 a	17,52ab	Q, 0,92*	$\hat{y} = 4,5 + 0,11 P - 0,00018 P^2$
N	10,18 b	15,32 a	15,30 a	17,94 a	13,78 b	Q, 0,89*	$\hat{y} = 10,92 + 0,0648 P - 0,000144 P^2$
Gm	17,85 a	18,60 a	17,75 a	21,01 a	20,58 a	-	-
CV(%)						25,68	

FMA = Fungo micorrízico arbuscular; C = Controle; N = nativo; Gm = *G. margarita*. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem entre os tratamentos de inoculação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Q: regressão quadrática e L: regressão linear; * significância a 1% de probabilidade pelo teste F.

A adubação fosfatada foi significativa nos tratamentos sem e com inoculação (*G. margarita* e nativos), aos 60, 90 e 120 dias após a semeadura, apresentando uma equação quadrática. Aguiar et al. (2004) em pesquisa com a espécie algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), verificaram um incremento no diâmetro do colo, em resposta a inoculação, até a dose de 50 mg dm⁻³ de P no solo. O P influencia no desenvolvimento da planta por fazer parte de vários processos metabólicos, doses reduzidas de P proporcionaram menor desenvolvimento das mudas e as doses muito elevadas podem ser malélicas as mesmas (Rocha et al., 2013).

A massa seca da parte área (MSPA) das mudas de *P. nitens* foi influenciada significativamente pela inoculação nas doses 0, 50 e 400 mg dm⁻³ de P, sendo o FMA *G. margarita* o que proporcionou os maiores

valores de MSPA nas citadas doses (Tabela 4). Resultado similar foi encontrado por Samarão et al. (2011), com a inoculação do fungo *Gigaspora margarita* em comparação ao tratamento sem inoculação na produção de mudas de gravioleira.

A inoculação com os FMAs não influenciou significativamente na massa seca da raiz (MSR) nos tratamentos com adubação fosfatada. Observou-se diferença significativa na MSR sem a aplicação de P, sendo maior 247% a inoculação com o fungo *G. margarita* em comparação com o tratamento sem inoculação.

A adubação fosfata foi significativa na MSR no tratamento sem inoculação, a equação observada foi a quadrática mostrando que o P aumenta a produção de raiz até uma determinada dose. Leite et al. (2017) encontraram para MSR, um ponto máximo de incremento em torno da dose de 100 mg kg⁻¹ de P, com 45% de aumento em relação às plantas que não receberam adubação. Os autores explicam este fato, pela planta inicialmente necessitar do nutriente para a formação de massa radicular, e partir do excesso de P a planta já não necessita buscar o nutriente, sendo assim não ocorre o crescimento em raiz.

Geralmente em condições experimentais, em doses mais elevadas de fósforo a planta prioriza o desenvolvimento da parte aérea. Este fato pode melhorar determinados índices, a exemplo o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Tadeu et al., 2018). Esse índice indica eficiência na predição da qualidade das plantas, por considerar a robustez e o equilíbrio de partição de massa entre os diferentes órgãos da planta (Gomes; Paiva, 2012). No geral foi observado no presente estudo maiores média de MSPA quando se compara a MSR, com e sem adubação fosfatada.

A massa seca total (MST) teve influência significada pelos FMAs, nos tratamentos com as doses 0, 50 e 400 mg dm⁻³ de P. No tratamento sem adubação fosfatada o *G. margarita* a MST foi maior 247 e 75%, respectivamente, quando comparado com o controle e fungos nativos. Este fato demonstra que para a produção de mudas de *P. nitens* entre os FMAs estudado, o mais indicado é o *G. margarita*. Cruz et al. (2010) concluem que é desejável encontrar o valor máximo para essa variável, visto que mudas com elevada MST são mais vigorosas, rustificadas (endurecidas) e possuem alta capacidade fotossintética, conseqüentemente promove um melhor desenvolvimento da planta.

CONCLUSÃO

O fungo micorrízico arbuscular da espécie *Gigaspora margarita* foi o que se demonstrou mais promissor para o desenvolvimento das mudas de amendoim do campo (*Pterogyne nitens* Tull.), principalmente nas doses mais baixas de fósforo.

De maneira geral, nas variáveis estudadas, mudas sem inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares, apresentaram ajuste quadrático em função das doses de P, com ponto de máximo próximo a dose de 200 mg dm⁻³ de P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu GM, Schiavo JA, Abreu PM., Bobadilha GS, Rosset JS (2018). Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1): 156-164.
- Aguiar RLF, Maia LC, Salcedo IH, Sampaio EVSB (2004). Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da Algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC]. *Revista Árvore*, 28(4): 589-598.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711–728.
- Bomfim AA, Novaes AB, José ARS, Grisi FA (2009). Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. *Floresta*, 39(1): 33-40.
- Brito VN, Tellechea FRF, Heitor LC, Freitas MSM, Martins, MA (2017). Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. *Ciência Florestal*, 27(2): 485-497.
- Carneiro MAC., Siqueira JO, Davide AC (2004). Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34(3): 119-125.
- Carvalho, PER (1994). *Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Editora: Colombo. 640 p.
- Corrêa FDO, Souza CAS, Carvalho JD, Mendonça, V. (2002). Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de aceroleira. *Revista brasileira de fruticultura*, 24(3): 793-796.
- Cruz CAF, Paiva HN, Neves JCL, Cunha ACMCM (2010). Resposta de mudas de *Senna macranthera* (dc. Ex collad.) Hs Irwin & barnaby (fedegoso) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico a macronutrientes. *Revista Árvore*, 34(1): 13-24.
- Diniz LG, Collier LS, Sugai MAA (2007). Desenvolvimento do *Enterolobium contortisiliquum* Inoculado com Fungos Micorrízicos Arbusculares na Região do Cerrado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo – CBCS 2007, Gramado-RS. *Anais...* Gramado-RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- Figueiredo MEO, Longue Júnior D, Pereira AKS, Carneiro ACO, SILVA CMS (2018) Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tull. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, 28(1): 420-431.
- Filardi FLR, Garcia FCP, Okano RMC (2009) Caesalpinioideae (leguminosae) lenhosas na estação ambiental de volta grande, Minas Gerais, Brasil. *Revista Árvore*, 33(6): 1071-1084.

- Giovannetti M, Mosse B (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(4): 489-500.
- Gomes JM e Paiva HN (2012). *Viveiros florestais: propagação sexuada*. Editora: UFV, Viçosa. 116p.
- Gomes VFF e Silveira APD (2007) Micorrizas em Plantas Frutíferas Tropicais. In: Silveira APD e Freitas SS (Eds.). *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Campinas: Instituto Agrônomo, 312p.
- Koske RE, Gemma JN (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycology Research*, 92(4): 486-488.
- Leite TS, Dombroski JLD, Freitas RMO, Leite MS, Rodrigues MRO (2017). Produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e partição de assimilados em resposta à adubação fosfatada e inoculação com fungos micorrízicos. *Ciência Florestal*, 27(4): 1157-1166.
- Leles PSS, Lisboa AC, Neto SNO, Grugiki MA, Ferreira MA (2006). Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. *Floresta e Ambiente*, 13(1): 69-78.
- Lima CS, Polaquini CR, Santos MB, Gullo FP, Leite FS, Scorzoni L,..., Regasini LO (2016) Anti-Candida and anti-Cryptococcus evaluation of 15 non-alkaloidal compounds from *Pterogyne nitens*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(10): 841-845.
- Lorenzi H (1992). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Editora: Nova Odessa: Plantarum. 368p.
- Marchesan R, Kasprzak LFF, Schirigatti EL, Klitzke RJ, Rocha MP (2013) Produção de lamelas em serra de fita horizontal múltipla para fabricação de piso engenheirado de madeira. *Floresta e Ambiente*, 20(1): 124-134.
- Moreira SD, França AC, Graziotti PH, Leal FDS, Silva EB (2019). Fungos micorrízicos arbusculares e doses de fósforo no crescimento do cafeeiro em solo não esterilizado. *Revista Caatinga*, 32(1): 72-80.
- Nadeem SM, Ahmad M, Zahir, ZA, Javaid, A, Ashraf M (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology advances*, 32(2): 429-448.
- Rocha JHT, Pietro MR, Borelli K, Backes C, Neves MB (2013). Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. *Cerne*, 19(4): 535-543.
- Samarão SS, Rodrigues LA, Martins MA, Manhães TN, Alvim LAM (2011). Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(1): 81-88.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira JB (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Editora: Embrapa, Brasília. 590p.

- Schiavo JA, Silva CA, Rosset JS, Secretti ML, Sousa RAC, Cappi N (2010). Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(3): 322-329.
- Silva EP, Ferreira PAA, Furtini-Neto AE, Soares CRFS (2017). Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. *Ciência Florestal*, 27(4): 1269-1281.
- Silveira APD, Silva LR, Azevedo IC, Oliveira E, Meletti LMM (2003). Desempenho de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo, em diferentes substratos. *Bragantia*, 62(1): 89-99.
- Smith SE, Facelli E, Pope S, Smith FA (2010). Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, 326: 3-20.
- Tadeu HC, Carneiro MAC, Miranda MR, Alho LC, Araújo Neto PI, Viana ÁL (2018). Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Doses in the Production of *Parkia nitida* (Miquel) in Seedling Nursery in the South of Amazonas. *Journal of Experimental Agriculture International*, 28(4): 1-10.
- Universidade Federal de Viçosa – UFV (1997). *SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas*. Versão 7.1. Viçosa, MG : Manual do usuário. 150p.

Mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) com fungos micorrízicos arbusculares

 10.46420/9786588319314cap10

Daniella Arai Zanetta Bassan¹ 

Silvia Correa Santos^{2*} 

Elaine Reis Pinheiro Lourente² 

Livia Maria Chamma Davide² 

Elias Silva de Medeiros² 

Luiz Guilherme Vieira de Carvalho² 

Ricardo Fernando da Rui² 

Gilmar Gabriel de Souza² 

INTRODUÇÃO

Várias espécies florestais apresentam limitações de restabelecimento em solo degradado, decorrente da retirada da vegetação de mata, o que reflete no potencial de regeneração do solo e pode limitar à aquisição dos nutrientes. Na recuperação dessas áreas degradadas é necessário aplicar estratégias que possam aproximar as características da floresta anteriormente existentes, de forma rápida e permanente (Sugai et al., 2011; Brancalion et al., 2010; Tabarelli et al., 2010).

A aplicação de micorrizas no solo é uma estratégia a ser considerada para uso na restauração ecológica, advindo da capacidade em aumentar a eficiência de aquisição e o ciclo de nutrientes das plantas (Ferreira et al., 2012). Embora os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) sejam geralmente encontrados em solos e plantas de áreas degradadas, o número de propágulos viáveis é muito baixo, havendo a necessidade de introduzir plantas hospedeiras capazes de multiplicar os FMAs existentes, podendo-se introduzir também propágulos infectivos de isolados para a recuperação da comunidade dos FMAs na área (Schneider et al., 2012).

O conhecimento das espécies arbóreas nativas com bom potencial de resposta à inoculação com FMAs é importante para a recuperação de áreas degradadas e florestamento de espécies economicamente importantes, uma vez que na maioria das regiões destinadas ao reflorestamento há limitações nutricionais, podendo dificultar o estabelecimento inicial das mudas no solo (Sugai et al., 2011).

A inoculação de substratos com fungos micorrízicos se apresenta dentre as técnicas utilizadas que asseguram uma elevada qualidade morfofisiológica de mudas produzidas em condições de viveiro (Owen

¹ IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul – Brasil.

² Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil.

* Autor para correspondência: silviasantos@ufgd.edu.br

et al., 2015) que por sua capacidade de explorar maiores volumes de substrato, favorecerá a absorção de nutrientes e a ciclagem de nutrientes minerais com perdas mínimas, reduzindo o tempo de produção de mudas, melhorando seu estado nutricional e acelerando seu crescimento (Santos et al., 2011; Miranda, 2008).

Além disso, os FMAs podem desempenhar um papel fundamental no processo de mineralização da matéria orgânica (Paterson et al., 2016), aumentando a fertilidade do solo (Sugai et al. 2011; Sheldrake et al. 2017). A eficiência da simbiose e, portanto, de propagação de micélio extra radicular, absorção de nutrientes e especificidades de expressão gênica são influenciados pela combinação genótipo específico de FMA e planta hospedeira, sendo as diferentes respostas de crescimento, resultantes da interação morfológica e funcional entre fungo e planta (Lee et al., 2013; Farias et al., 2014).

A determinação de uma dose ideal de fósforo para maximizar a produção ou a resposta das plantas inoculadas com FMAs é importante, pois as variações das exigências nutricionais podem afetar o processo de colonização e esporulação micorrízica (Heitor et al., 2016). De acordo com Feitosa e Santos (2016), a disponibilidade de fósforo (P) dos solos é determinante e modula os efeitos benéficos proporcionados pelo fungo às plantas, além do conhecimento do nível ideal de P, explorando os benefícios dessa associação.

Coutinho et al. (2019) sugerem o desenvolvimento de protocolos para inoculação de mudas e solo com FMAs de forma a obter maior sucesso no replantio em áreas de restauração. Colodete et al. (2014) sugerem selecionar fungos mais generalistas em sua relação simbiótica, tendo em vista seu maior potencial reabilitador, pois colonizam e têm eficiência em vários hospedeiros, facilitando a diversidade e sucessão vegetal na área, enquanto que, do lado do hospedeiro, devem-se evitar plantas muito seletivas. Informações sobre as interações dos FMAs com espécies arbóreas são importantes, em estudos com visão tecnológica, para viabilizar o uso destes em larga escala na recuperação de áreas degradadas (Schneider et al. 2012).

Diante do exposto, este trabalho avaliou os efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e diferentes doses de fósforo, no desenvolvimento de mudas de canafístula.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido – estufa coberta com filme plástico transparente de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 150 micras de espessura e cercada lateralmente por estrutura revestida com tela de nylon preta com 75% de sombreamento, na FCA/UFGD, Dourados - MS, situada à latitude de 22°11'53.2"S, longitude de 54°56'02.3"W e 400 m de altitude, no período de agosto/2018 a fevereiro/2019. O clima predominante é do Cwa (temperado chuvoso com inverno seco, verão chuvoso, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C) com temperatura média anual de 22,7°C e precipitação de 1.410 mm (Arai et al., 2010).

O experimento foi conduzido a partir de mudas de canafístula obtidas através de sementes provenientes de matrizes localizadas nos municípios de Angélica e Ivinhema (MS). As sementes foram coletadas e submetidas à escarificação térmica. A semeadura foi realizada em tubetes contendo substrato florestal comercial com irrigações diárias. Quando as mudas apresentaram altura média de 10 cm, foram levadas a casa de vegetação (50% de sombreamento) para o transplantio em vasos com capacidade para 5 dm³.

O substrato utilizado no experimento foi constituído por mistura de 2:1 (v:v) de solo e areia. O solo obtido do horizonte subsuperficial, a 30 cm de profundidade na área de repouso da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com as seguintes características químicas: potencial hidrogeniônico ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) = 5,20; $\text{P}_{\text{Mehlich}^{-1}}$ = 2,25 mg dm⁻³; alumínio (Al^{+3}) = 14,40 mmol_c.dm⁻³; hidrogênio (H^+)+ Al^{+3} = 26,40 mmol_c.dm⁻³; K, Ca^{+2} e Mg^{+2} = 0,50, 4,30 e 1,60 mmol_c.dm⁻³, respectivamente; saturação por bases (V%)= 19,53; saturação por alumínio (m%)= 69,23. A esterilização do solo foi realizada em autoclave vertical, a temperatura do solo permaneceu em média de 121°C por uma hora. A correção do solo foi realizada com calcário “filler” visando elevar a saturação de bases para 70%, tendo como base a análise dos atributos químicos do solo. Para o cálculo da necessidade de corretivo, utilizou-se o método da saturação por bases (Raij et al., 1997).

Os vasos foram levados para a casa de vegetação e mantidos à 70% da capacidade de campo por um período de 30 dias, para que ocorresse a reação do calcário com o solo. A adubação foi realizada adicionando as doses de P (0, 60, 120, 180 e 240 mg kg⁻¹ de solo) de acordo com cada tratamento, utilizando como fonte o K₂HPO₄ (fosfato dipotássico). Em função das doses crescentes de P, fez-se necessário equilibrar as doses de K, utilizando-se como fonte o cloreto de potássio (KCl) (60% K₂O). Neste processo, o solo de cada vaso novamente foi transferido a sacos plásticos, que foram inflados com ar e agitados até ocorrer completa mistura com os minerais.

No preparo do inóculo, o substrato foi colocado em vasos de cultivo com 7 dm³ de capacidade e infectado com 50 cm³ de inóculo, composto por mistura de solo, esporos e raízes de *Brachiaria decumbens* colonizadas com FMAs, de acordo com os tratamentos. Estes vasos foram mantidos em casa de vegetação

para a multiplicação dos fungos, utilizados como inóculo. O inóculo teve origem nos isolados de FMAs, provenientes da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul/UEMS, os quais foram multiplicados em associação com *Brachiaria decumbens* em substrato composto por mistura de solo e areia na proporção de 2:1 (v:v), misturado em betoneira, esterilizado em autoclave (temperatura de 121°C/ 1 hora), e colocados em vasos que foram mantidos em estufa por um período de quatro meses.

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados, em arranjo fatorial 5x5, com subdivisão no tempo. Os tratamentos foram: inoculação com espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Clareoideoglossum etunicatum*) e o controle (sem FMAs) e aplicação de doses de P (0, 60, 120, 180 e 240 mg kg⁻¹), em quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo 5 dm³ de substrato, com uma planta por vaso.

O crescimento das mudas de canafístula foi avaliado com medições periódicas da altura de mudas, diâmetro do coleto aos 30, 60, 90, 120, 150, 180 dias após o plantio (DAP). Aos 90 e 120 DAP foi realizada a avaliação com clorofilômetro SPAD-502 (Konica-Minolta, Tokyo, Japan) para obtenção do teor de clorofila. As avaliações foram realizadas entre 8 e 11 horas da manhã, em folhas completamente expandidas e previamente marcadas (segunda ou terceira folha totalmente aberta), de modo que todas as medições fossem sempre realizadas nas mesmas folhas. Aos 180 DAP, as mudas foram retiradas dos vasos e o sistema radicular separado da parte aérea. Após lavagem, subamostras de 2 cm de comprimento de raízes foram coletadas e conservadas em etanol a 50%, para posterior verificação da colonização micorrízica, após a coloração das raízes de acordo com metodologia de Koske e Gemma (1989).

A parte aérea e as raízes das plantas foram secas separadamente, em estufa de ventilação forçada, a 65°C, por 72 horas para determinação de massa seca de parte aérea (MSPA); massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) das plantas. Foram realizados os cálculos de índice de qualidade de mudas – IQD (Dickson et al., 1960); dependência micorrízica - DM e eficiência micorrízica – EM (Plenchette et al., 1983). A frequência e intensidade de colonização micorrízica foi realizada conforme Trouvelot et al. (1986).

Para análises estatísticas dos dados foi utilizado o programa R (R Core Team, 2019) por meio das bibliotecas nlme (Pinheiro et al. 2019) e phia (Rosario-Martinez, 2015). O efeito dos tratamentos de FMAs foram comparados pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade e os efeitos das doses de P submetidos à análise de regressão. Para a apresentação exploratória dos dados foi utilizado o diagrama de caixa ou *Box Plot* (Valladares Neto et al., 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi constatada a presença de arbúsculos, hifas e vesículas nas raízes de mudas dos tratamentos sob inoculação de fungos micorrízicos, em todos os tratamentos, atestando a colonização micorrízica. De acordo com Costa et al. (2005), a presença de arbúsculos e hifas formadas nas raízes é geralmente considerada como sinal de funcionamento da associação, e atesta a dinâmica da colonização, não indicando necessariamente o estabelecimento da simbiose. Os arbúsculos são considerados sítios de troca por excelência entre os simbiossiontes, no entanto, permanecem em sua forma por 4 a 5 dias e sofrem degeneração, tendo a célula sua atividade retomada (Hoffmann; Lucena, 2006).

Em baixa concentração de P, a simbiose desenvolve-se plenamente, enquanto seu desenvolvimento é restrito em alta concentração de P (Feitosa; Santos, 2016), no entanto, os mecanismos pelos quais o P regula o desenvolvimento da simbiose são desconhecidos (Kiriachek et al. 2009). A diminuição da percentagem de colonização micorrízica ocasionada pela adição de doses crescente de fósforo é considerada normal, visto que, uma planta no estado nutricional favorável não necessita da colonização micorrízica para a absorção do P da solução do solo (Balota et al., 2011).

Vários estudos atestam esta condição em diferentes espécies: *Cecropia pachystachya* (Carneiro et al., 2004); mudas de *Annona muricata* (Samarão et al., 2011); mudas de *Cordia africana*, *Croton macrostachyus*, *Erythrina brucei* e *Millettia ferruginea* (Dobo et al., 2016), mudas de *Caesalpinia ferrea* e *Piptadenia stipulacea* (Feitosa; Santos, 2016). As observações indicam que características funcionais de cada espécie de FMAs que foram inoculados podem estar envolvidas em sua associação com o hospedeiro e com o ambiente no solo (Chagnon et al., 2013). M'barki et al. (2018) afirmam que a mesma cultivar pode responder diferentemente a diferentes espécies de fungos.

Os parâmetros morfológicos mais utilizados na avaliação da qualidade das mudas são altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea e radicular (Gomes; Paiva, 2011; Massad et al., 2017). Na Tabela 1 são apresentados os valores de 'p' da análise de deviance para altura, diâmetro e relação altura x diâmetro. Pode-se verificar que a interação entre fungos micorrízicos x dia e doses de P x dia apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade no teste F para altura e diâmetro. A interação dose de P x fungos micorrízicos não teve efeito significativo para as variáveis avaliadas. Brito et al. (2017) observaram desempenhos diferentes de espécies de FMAs *Rhizophagus clarus* e *Gigaspora margarita*, no crescimento de mudas de paricá, em relação a doses de P aplicadas.

Tabela 1. Valores de p obtidos na análise de deviance para altura (m) e diâmetro de coleto (cm) de mudas de canafístula submetidas à inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de doses de fósforo em função do tempo.

Fonte de variação	Altura	Diâmetro
FMA	< 0,0001**	< 0,0001**
Dose	0,0015**	0,0002**
Dia	< 0,0001**	< 0,0001**
Fma x dose	0,8159	0,7359
Fma x dia	< 0,0001**	< 0,0001**
Dose x dia	< 0,0001**	< 0,0001**
Fma x Dose x Dia	0,1034	0,0840

** (significativo a $p < 0,01$); * (significativo a $p < 0,05$); FMA (fungos micorrízicos); Dose (dose de fósforo); Dias (dias após plantio)

Na Figura 1 são apresentados o efeito das doses de fósforo sobre o crescimento das mudas em altura em relação ao tempo e as tendências de crescimento de mudas de canafístula em função da dose de fósforo aplicada. Verifica-se (Figura 1A) que até os 120 dias após o plantio não há influência das doses de fósforo. A partir de 150 dias após o plantio (DAP) observa-se uma dispersão maior dos valores em altura, sugerindo efeito dos tratamentos. Aos 180 dias, as doses de fósforo apresentaram efeito significativo sobre a altura das mudas, onde a dose zero de fósforo proporcionou maior altura (41,7 cm). A dose de 183 mg kg⁻¹ de fósforo propicia a menor altura de plantas (27,93 cm) aos 180 dias. Observa-se ainda a tendência de crescimento em altura das mudas para cada dose de fósforo aplicada, e verifica-se ajuste de regressão quadrática (Figura 1B).

A altura de mudas é um dos parâmetros utilizados na classificação e seleção, principalmente na comercialização de mudas florestais (Brachtvogel; Malavasi, 2010). Segundo Paiva e Gomes (2000), mudas de espécies arbóreas com a altura entre 15 e 30 cm estão aptas ao plantio no campo. Mudas de canafístula sob diferentes adubações, ao final de 120 dias, apresentaram altura de plantas entre 20 e 30 cm em estudos realizados por Cruz et al. (2012) e Mussi et al. (2013). No presente trabalho, aos 180 DAP, a menor altura de plantas obtida foi de 28,2 cm e a maior altura de 41,72 cm, sugerindo a aptidão das mudas ao plantio no campo, para o quesito altura, independente do tratamento.

A inoculação com FMAs não promoveu, inicialmente, efeito significativo sobre a altura de plantas (Figura 2A). *G. albida* e *C. etunicatum* promoveram desempenho superior e significativo estatisticamente na altura de plantas, a partir de 150 DAP, enquanto as mudas inoculadas com *G. margarita* e *G. clarum* apresentaram o menor crescimento. A inoculação com *G. albida* e *C. etunicatum* levaram ao maior crescimento das mudas com incrementos de 42,8% e 13,4%, respectivamente, em relação ao controle. As mudas micorrizadas com *G. clarum* e *G. margarita* apresentaram médias de altura 3,35% e 2,7% inferiores ao tratamento sem micorrização. Houve ajuste quadrático para todos os tratamentos de inoculação (Figura 2B), e verifica-se baixo crescimento no início e um incremento maior em altura no final do ciclo.

Para diâmetro do coleto, os valores médios obtidos nas mudas de canafístula, aos 180 dias após o plantio, variaram de 4,17 a 6,15 mm (Figura 3A), encontrando-se abaixo ou no nível inferior dos valores descritos por Gonçalves et al. (2000), para caracterizar mudas de espécies nativas de qualidade quanto ao diâmetro do coleto (5 e 10 mm), mas semelhantes aos dados obtidos por Cruz et al. (2012) que obtiveram menor DC de 5,53 e maior DC de 7,59 mm para mudas de canafístula.

De acordo com Scheer et al. (2012), o diâmetro do coleto é importante na avaliação do potencial da muda para sobrevivência e crescimento após o plantio em campo. O maior diâmetro do colo sugere maior alocação de fotoassimilados na parte aérea, podendo ser considerado para indicar a capacidade de sobrevivência de mudas em condições de campo e auxiliar na definição das doses de fertilizantes a serem utilizadas na produção das mudas (Scalon et al., 2001). Segundo Souza et al. (2006), dentro de uma mesma espécie, as plantas com maior diâmetro apresentam maior sobrevivência, devido maior capacidade de formação e crescimento de novas raízes.

Na Figura 3A, observa-se que o incremento em diâmetro apresentou a mesma tendência da altura, não tendo ocorrido efeito significativo das doses de fósforo sobre o crescimento das mudas no início do ciclo, até os 120 dias. A diferença no incremento das mudas em função das doses de fósforo aplicadas foi verificada aos 150 e 180 dias, onde houve ajuste quadrático para a variável. Aos 150 dias, a dose mínima calculada foi 170 mg kg^{-1} de fósforo, que propiciou o menor diâmetro do coleto (3,77 mm). Aos 180 dias, o menor diâmetro (3,95 mm) foi proporcionado pela dose mínima calculada de 209 mg kg^{-1} de fósforo.

Ainda, na Figura 3B, pode-se acompanhar o padrão de crescimento em diâmetro das mudas para cada dose de fósforo aplicada. O incremento em diâmetro das mudas de canafístula com o tempo apresentou ajuste quadrático para todas as doses de fósforo, tendo as mudas sem aplicação de fósforo (dose zero) maior diâmetro ao final do ciclo. As mudas que não receberam adubação fosfatada obtiveram maior diâmetro médio (6,15 mm) ao final das avaliações.

Os tratamentos com micorrização não apresentaram efeito significativo sobre o incremento em diâmetro do coleto das mudas ao longo das avaliações (Figura 4).

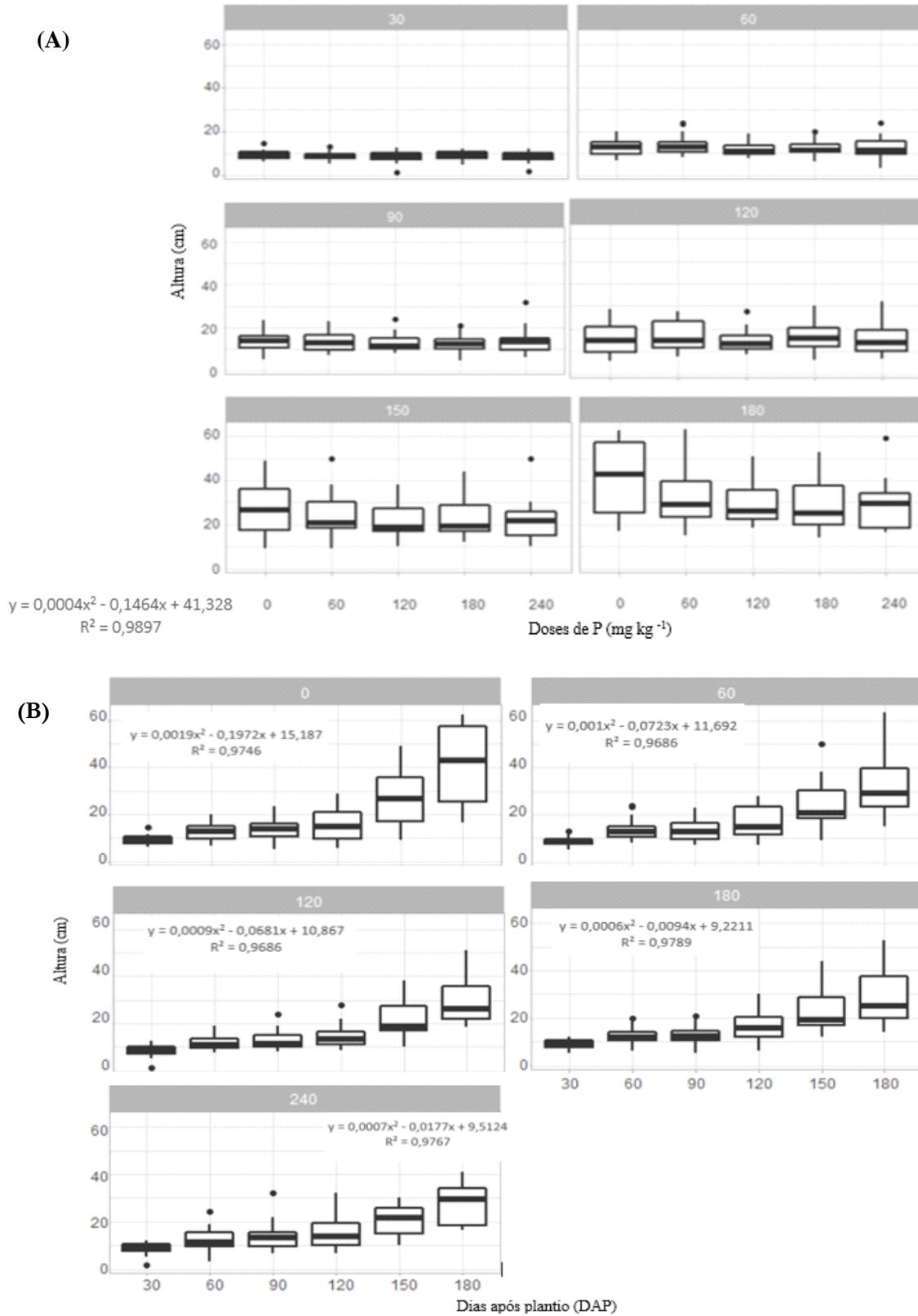


Figura 1. (A) Altura (cm) de mudas de canafistula aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o plantio, sob aplicação de P, e (B) efeito de doses e P (0, 6, 120, 150 e 240 mg kg⁻¹ no tempo).

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

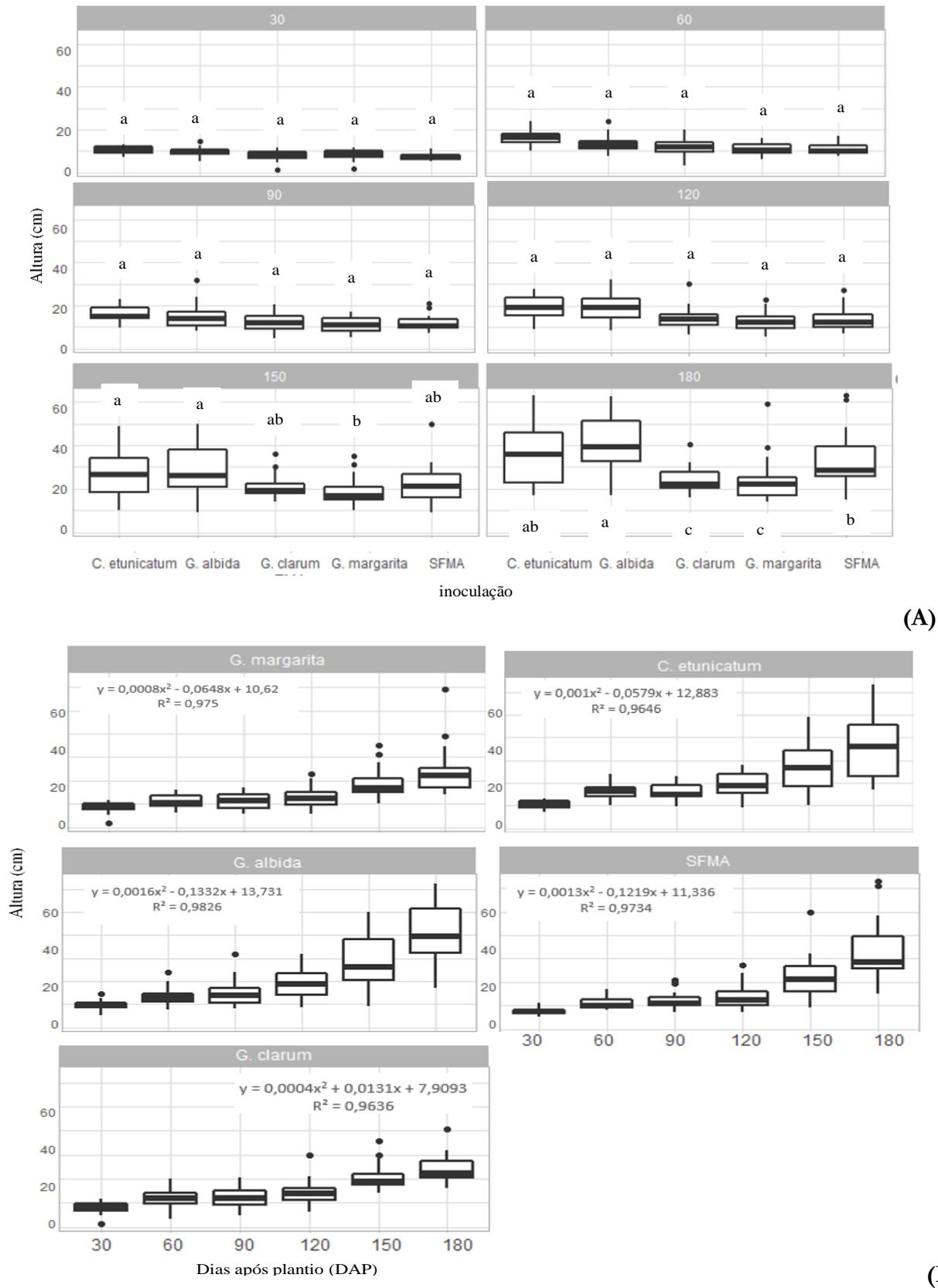


Figura 2. Altura (cm) de mudas de canafistula (A) aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o plantio sob inoculação com fungos micorrízicos e (B) efeito da inoculação com fungos micorrízicos (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Claroideoglomus etunicatum*) e o controle (sem FMAs) no tempo. (*Médias seguidas de letras distintas são diferentes entre si a 1% de probabilidade).

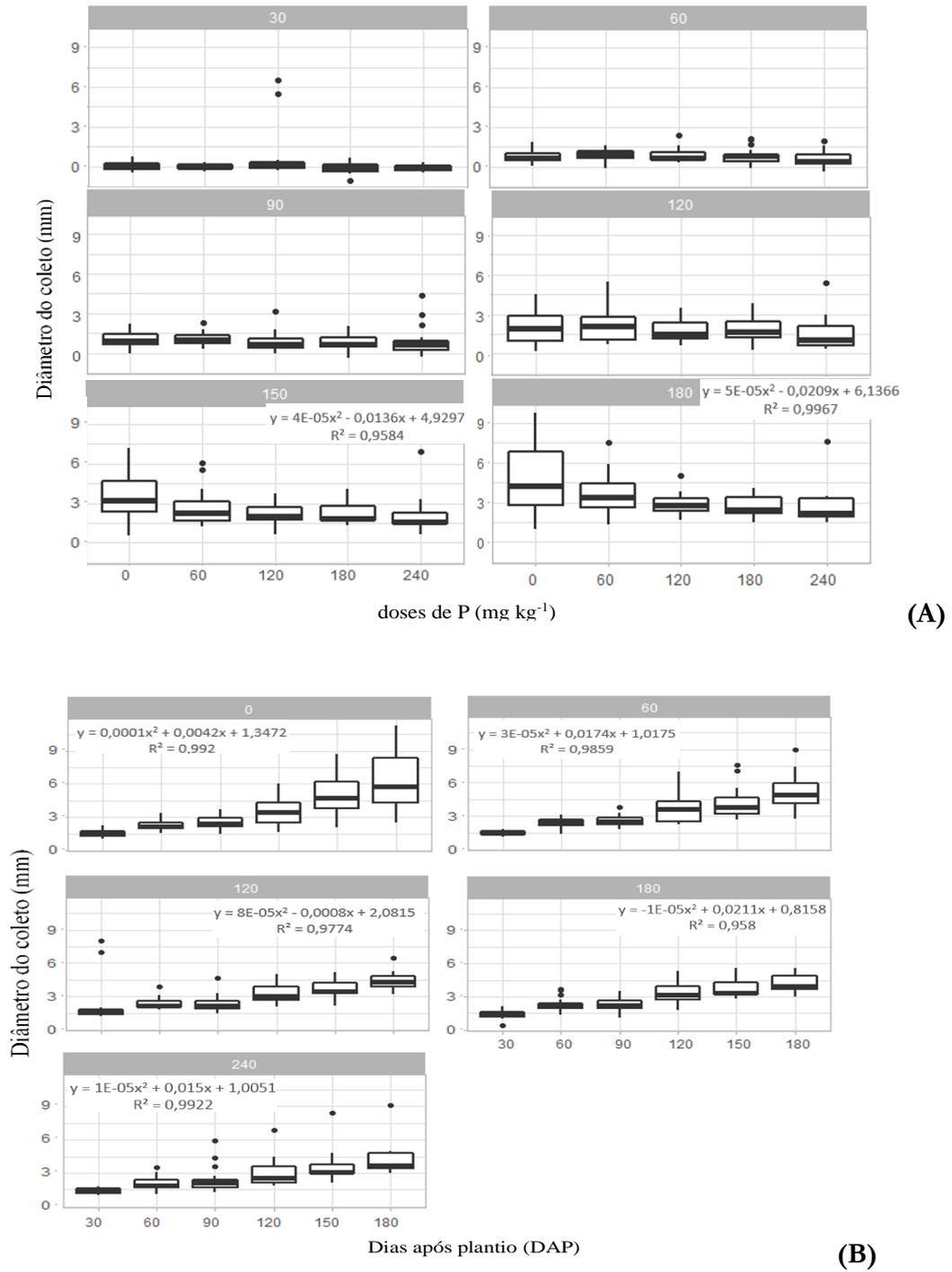


Figura 3. Diâmetro do coleto (mm) de mudas de canafistula (A) aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o plantio, sob aplicação de fósforo e efeitos de doses de fósforo (B) (0, 60, 120, 150 e 240 mg kg⁻¹) no tempo.

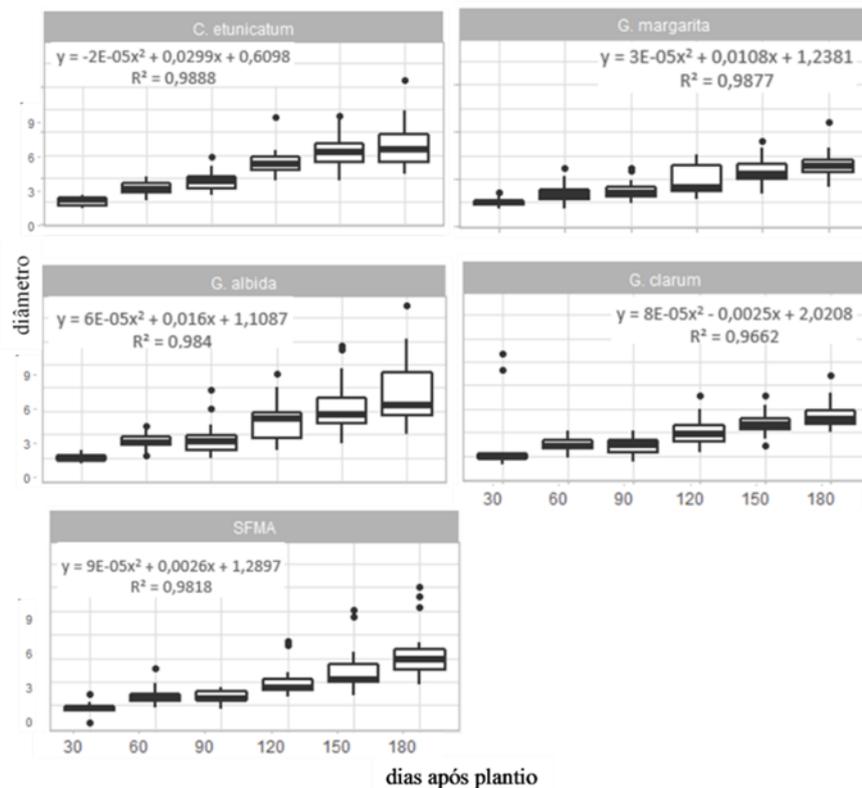


Figura 4. Diâmetro do coleto (mm) de mudas de canafístula em função da inoculação com fungos micorrízicos (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Clareoideoglomus etunicatum*) e o controle (sem FMAs) no tempo.

Os dados de crescimento apontam uma superioridade da simbiose entre a canafístula e *G. albida*. Mesmo com o alto grau de variação nas características, percebe-se benefício da presença do fungo para o crescimento das mudas. As associações micorrízicas com *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* se mostraram negativas para o crescimento das mudas de canafístula, as quais apresentaram de modo geral, crescimento inferior ao controle.

A ausência de resposta no período inicial de crescimento para as características altura e diâmetro do coleto, segundo Pasqualine et al. (2007), é atribuída às próprias reservas nutricionais contidas nas sementes, ao tempo necessário para o estabelecimento da simbiose funcional e à própria condição de micotrofia (dependência micorrízica) da planta. De acordo com Silva et al. (2006), a baixa colonização micorrízica pode ser explicada pelo fato de que o estabelecimento da simbiose efetiva com algumas espécies de mudas pode demorar mais de seis meses.

Estudos realizados por Fahey et al. (2016) constataram que a taxa de crescimento relativo aumentou com a colonização por FMA em *Luebea seemanii* e *Tabebuia rosea*, no entanto, não alterou o crescimento de *Ficus insipida* e *Occhrosia pyramidale*, indicando que, mesmo nos primeiros meses de crescimento, a colonização pode ser benéfica para algumas espécies e para outras não.

Para a massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) a interação dose de P x fungos micorrízicos, observaram-se diferenças significativas a 1% de probabilidade no teste F (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de p para massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST), relação massa seca de parte aérea-massa seca de raiz (MSPA/MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de canafístula em função da inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de diferentes doses de fósforo.

FONTE DE VARIAÇÃO	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSP	IQD
FMA	$9,433 \times 10^{-6} **$	$1,013 \times 10^{-5} **$	$9,739 \times 10^{-7}$	0,5200	$3,679 \times 10^{-6}$
DOSE	$1,640 \times 10^{-7} **$	$2,500 \times 10^{-9} **$	$2,280 \times 10^{-9}$	0,2401	$1,200 \times 10^{-9}$
FMA x DOSE	$1,696 \times 10^{-4} **$	$7,710 \times 10^{-8} **$	$1,459 \times 10^{-6}$	0,7149	$2,170 \times 10^{-8}$

** (significativo a $p < 0,01$).

De forma geral o acúmulo de matéria seca obtido, tanto para parte aérea como para raiz foi baixo, tendo em vista a perda de folhas e morte de mudas em razão de ataque de cochonilhas que ocorreu próximo aos 120 dias de plantio. Mudas sem inoculação e inoculadas com *G. albida* e *C. etunicatum*, na ausência de fósforo apresentaram maior teor de matéria seca (parte aérea, raiz e total) que as mudas dos demais tratamentos.

Os teores de matéria seca de parte aérea e raiz são apresentados nas Figuras 5 e 6. Somente sob a dose zero de fósforo houve diferença significativa entre tratamentos com micorrizas para massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), onde as mudas inoculadas com *G. albida* apresentaram maior desempenho (27,5 g de MSPA, 12,9 g de MSR) , seguidas por *C. etunicatum* (11,37 g de MSPA e 5,09 g de MSR), SFMA (11,13 g de MSPA e 2,76 g de MSR), *G. margarita* (3,07 g de MSPA e 0,99 g de MSR) e *G. clarum* (1,21 g de MSPA e 0,66 g de MSR). Os fungos *G. clarum* e *G. margarita* apresentaram desempenho inferior aos demais tratamentos com micorrizas (Figura 6A e 6B).

A Figura 7 ilustra o acúmulo de matéria seca em cada tratamento com micorrização em resposta às doses de P. Somente mudas inoculadas com *C. etunicatum*, *G. albida* e apresentaram diferenças estatísticas significativas para as doses de fósforo. Houve ajuste quadrático para as variáveis, mostrando a maior eficiência, dos dois simbiontes, no acúmulo de matéria de parte aérea e raiz na ausência de P. As doses mínimas de fósforo calculadas para MSPA (Figura 7A) e MSR (Figura 7B) com inoculação de *G. albida* foram 142 e 166 mg kg⁻¹ de P, respectivamente e para *C. etunicatum* foram 151 mg kg⁻¹ de P para MSPA e 142 mg kg⁻¹ de P para MSR. Os demais tratamentos com fungos micorrízicos não apresentaram diferenças estatisticamente para as doses de fósforo estudadas.

Em acúmulo de massa seca total (MST), os resultados obtidos foram semelhantes aos resultados de MSPA e MSR. As doses mínimas de fósforo calculadas que promoveriam o menor acúmulo de MST

em plantas inoculadas com *G. albida*, e *C. etunicatum* foram 149 e 174 mg kg⁻¹ de P (Figura 7). Os resultados demonstram que o aumento nas doses de P apresentam maior efeito sobre a simbiose entre as mudas de canafístula e *G. albida*, quando comparada à simbiose com *C. etunicatum*.

Feitosa e Santos (2016), pesquisando os efeitos da inoculação de *G. etunicatum* e doses de P em mudas de duas espécies da família Fabaceae, *Piptadenia stipulacea* (jurema branca) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) verificaram que não houve diferença entre as produções de MSPA para os diferentes tratamentos de P nas mudas micorrizadas, e, que na ausência de micorrização a produção de matéria seca foi significativamente inferior às mudas micorrizadas. Os dados de matéria seca obtidos corroboram com os dados de colonização e crescimento, demonstrando superioridade na simbiose com *G. albida*, bem como a desvantagens na inoculação com *G. margarita* e *G. clarum*.

Na Figura 8A e 8B são apresentados os valores de dispersão de IQD obtidos no presente trabalho. Só houve diferença entre os tratamentos com FMAs na ausência de fósforo, onde os maiores valores de IQD foram 4,67; 1,74 e 1,24 para *G. albida*, *C. etunicatum* e SFMA, respectivamente. Nos tratamentos com aplicação de fósforo, os valores de IQD obtidos foram abaixo de 1,0 (Figura 8A).

A avaliação da qualidade das mudas de plantas arbóreas, ainda no viveiro, por meio de índices que expressam relações entre os parâmetros de crescimento, pode ser uma ferramenta para identificar seu adequado desenvolvimento, bem como se as mudas estão com o máximo potencial para sobrevivência após a expedição para o campo (Silva et al., 2012).

De acordo com Caldeira et al. (2012), quanto maior o IQD, melhor a qualidade da muda produzida porém, não há na literatura valores de referência quanto à qualidade para as diferentes espécies arbóreas nativas, o que dificulta a análise dos índices (Ferraz; Engel, 2011). Gomes e Paiva (2011) afirmam que para as mudas serem consideradas de qualidade é necessário IQD maior que 0,2 (*Pseudotsuga Menziesii* e *Picea Abies*). O valor descrito se aplica bem a canafístula, com destaque para os tratamentos com FMAS supracitados.

A Figura 8B ilustra a resposta de mudas sob inoculação com o simbionte específico em relação às doses de fósforo aplicadas. Mudas inoculadas com *G. albida* e *C. etunicatum* submetidos à dose zero apresentaram maior qualidade das mudas com IQD superiores aos demais tratamentos micorrízicos. Foram obtidas, para ambos os tratamentos, curva de ajuste quadrático para IQD em relação das doses de fósforo aplicadas, onde as doses mínimas de fósforo calculadas para os tratamentos *G. albida* e *C. etunicatum* foram 150 e 185 mg kg⁻¹. Segundo Gomes et al. (2013) e Caldeira et al. (2008), o IQD é uma característica variável em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, do tipo e proporção do substrato, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada. Em *Anadenanthera colubrina* var. cebil a inoculação com *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita* não resultou em benefícios no incremento em qualidade das mudas (Soares et al., 2017). No estudo, a simbiose com *G.*

albida proporcionou maior qualidade de mudas de canafístula. O índice de clorofila não sofreu influência do uso de FMAs e das doses de P nas avaliações realizadas aos 90 e 120 DAP.

Quanto à dependência micorrízica (DM) e eficiência micorrízica (EM) (Figura 9), as mudas inoculadas com a espécie *G. albida* apresentaram alta dependência e eficiência micorrízica para todas as doses de fósforo avaliadas, exceto na dose 180 mg kg⁻¹. O mesmo comportamento foi observado para *C. etunicatum* com destaque para a dose 60 mg kg⁻¹ de fósforo, onde a dependência é classificada como alta (Figuras 10 e 11). A eficiência da associação entre FMAs e plantas pode ser quantificada através de um índice obtido através da razão entre a diferença do peso seco de plantas inoculadas e não inoculadas, pelo peso seco de plantas inoculadas, expresso em porcentagem. Os percentuais representam o grau de dependência da planta pelo fungo, onde >75% é considerada dependência muito alta; 51 a 75%, dependência alta; 26% a 50%, dependência média e 0% dependência nula (Moreira; Siqueira, 2006; Miranda, 2008).

Pode-se verificar também que as respostas quanto à dependência à simbiose foram diferentes em razão do microbionte e das doses de P, onde os simbiontes *G. clarum* e *G. margarita* apresentaram alta dependência para as doses 60 e 120 mg kg⁻¹ de fósforo, e valores de dependência micorrízica negativa para as demais doses. Isso sugere que plantas inoculadas com estes fungos e nestas doses de P apresentaram menor acúmulo de massa seca em comparação ao controle e que os microbiontes não encontraram condições favoráveis para beneficiar as mudas, sendo possível caracterizar esta interação como parasítica.

A capacidade do fungo de estimular o crescimento da planta é determinada pelas características dos componentes da simbiose, principalmente do microbionte, que pode apresentar diferentes graus de eficiência, sendo até mesmo ineficaz ou parasítico temporário das plantas hospedeiras. Contudo, a disponibilidade de fósforo no solo é fator determinante na resposta da planta a inoculação com FMA, e indica o grau de benefício da associação que varia quanto à dependência micorrízica (DM) e indica o potencial de benefício da inoculação (Feitosa; Santos, 2016).

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

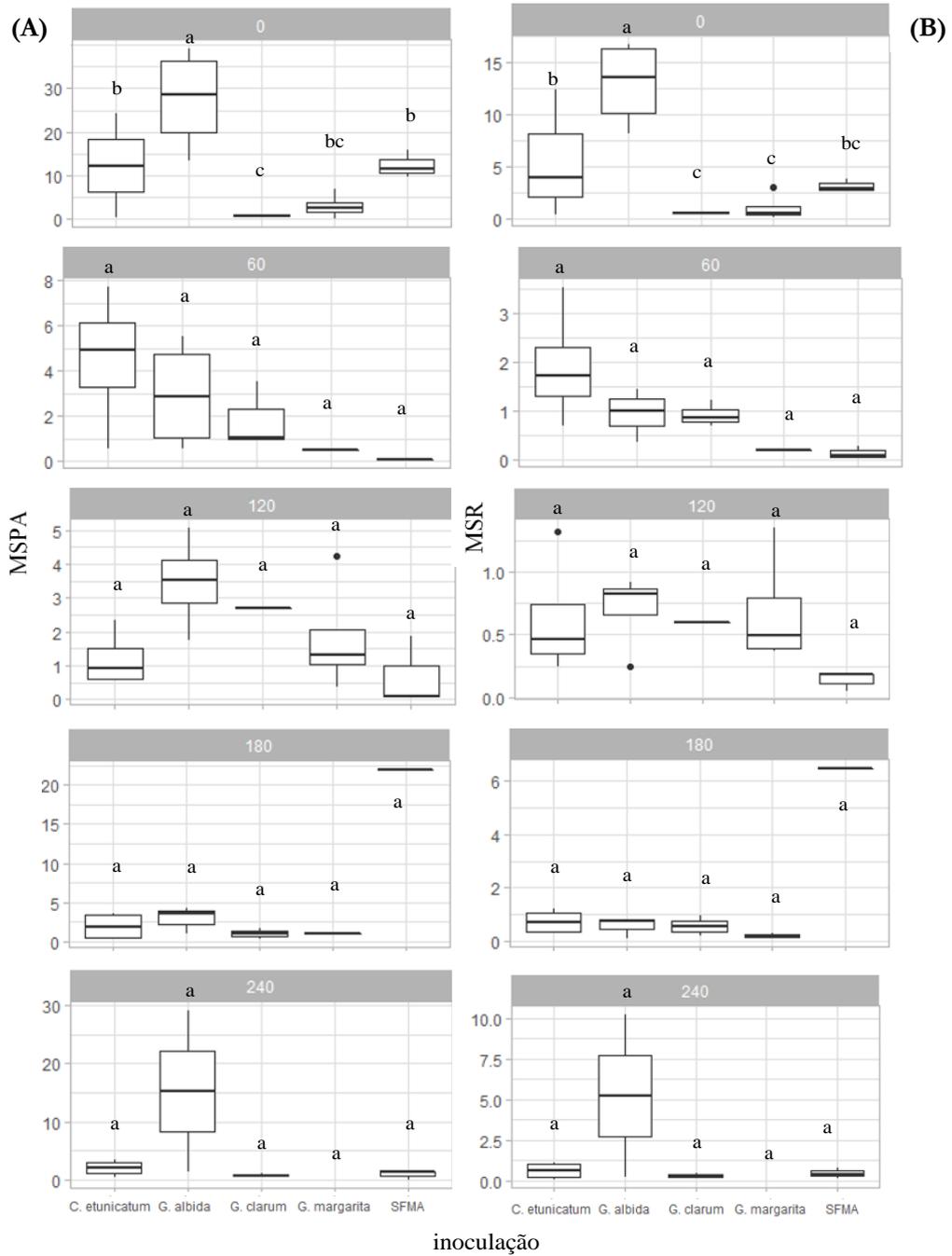


Figura 5. Massa seca de parte aérea – MSPA (A) e Massa seca de raiz – MSR (g) (B) de mudas de canafístula submetidas a inoculação com fungos micorrízicos em função das doses 0, 60, 120, 180 e 240 mg kg⁻¹ de fósforo. (*Médias seguidas de letras distintas são diferentes entre si a 1% de probabilidade).

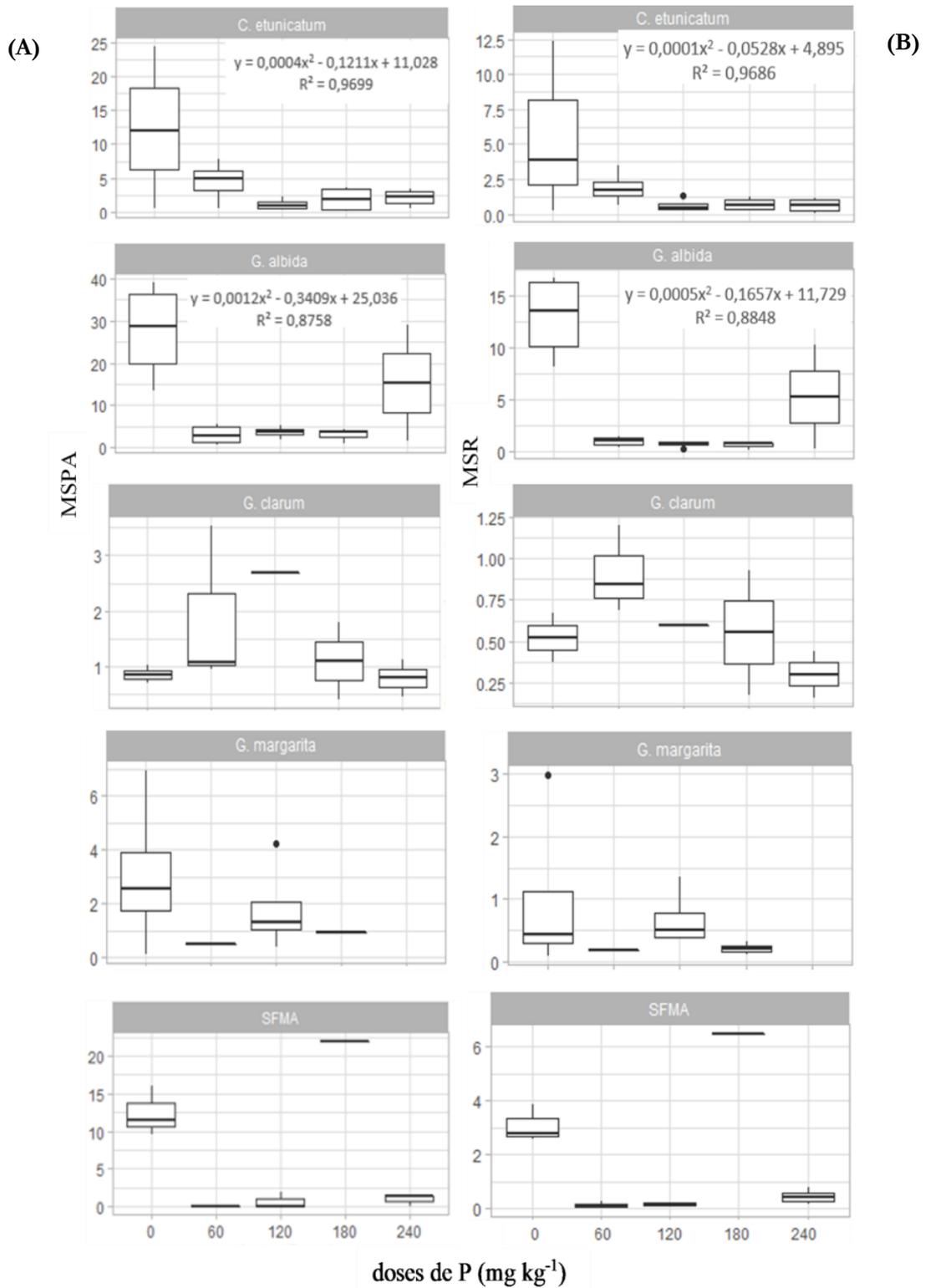


Figura 6. Massa seca de parte aérea – MSPA (A) e Massa seca de raiz – MSR (g) (B) de mudas de canafistula inoculadas com fungos micorrízicos (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Clareoideoglomus etunicatum*) e o controle (sem FMAs) sob doses de fósforo.

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

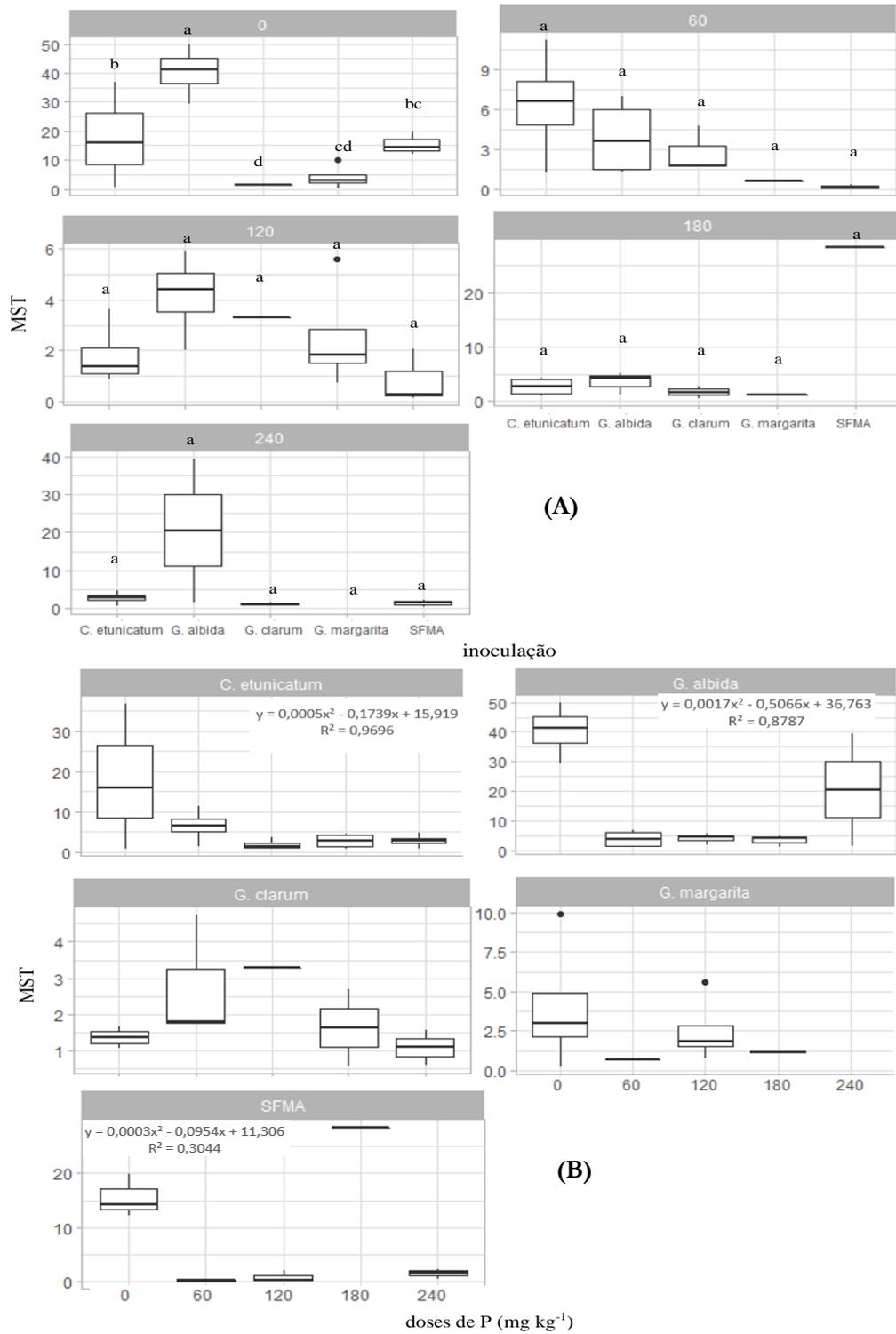


Figura 7. Massa seca total (MST) (A) de mudas de canafistula sob inoculação com fungos micorrízicos sob as doses 0, 60, 120, 180, 240 mg kg⁻¹ de fósforo e (B) respostas fisiológicas de mudas de canafistula inoculadas com fungos micorrízicos (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Claroideoglomus etunicatum*) e o controle (sem FMAs) sob doses de fósforo (*Médias seguidas de letras distintas são diferentes entre si a 1% de probabilidade).

Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas

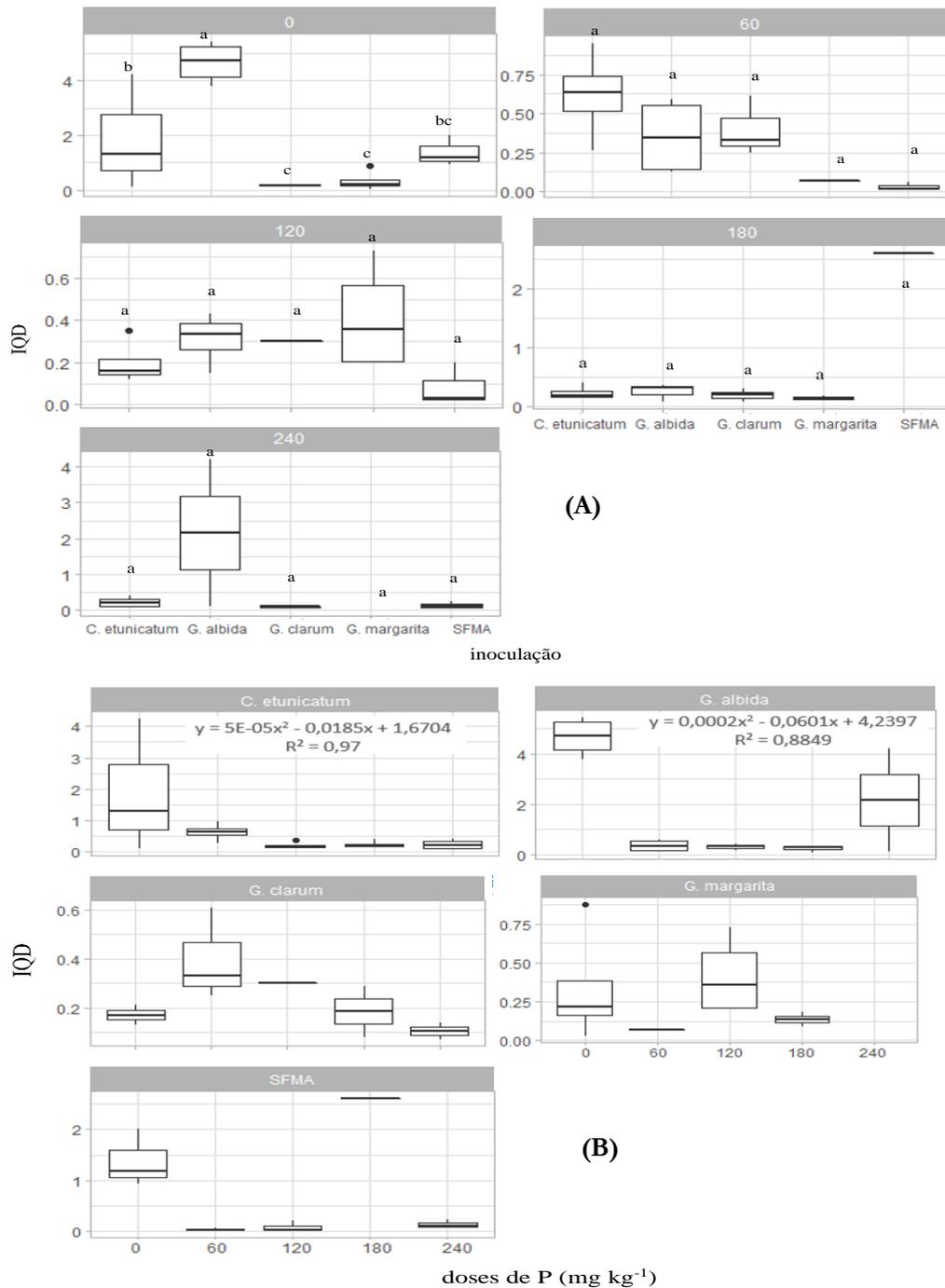


Figura 8. Índice de Qualidade de Dickson - IQD (A) de mudas de canafistula inoculadas com fungos micorrízicos sob as doses 0, 60, 120, 180, 240 mg kg⁻¹ de fósforo e (B) respostas fisiológicas de mudas de canafistula inoculadas com FMAs (*Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora albida* e *Clareoideoglossum etunicatum*) e o controle (sem FMAs) sob doses de fósforo. (*Médias seguidas de letras distintas são diferentes entre si a 1% de probabilidade).

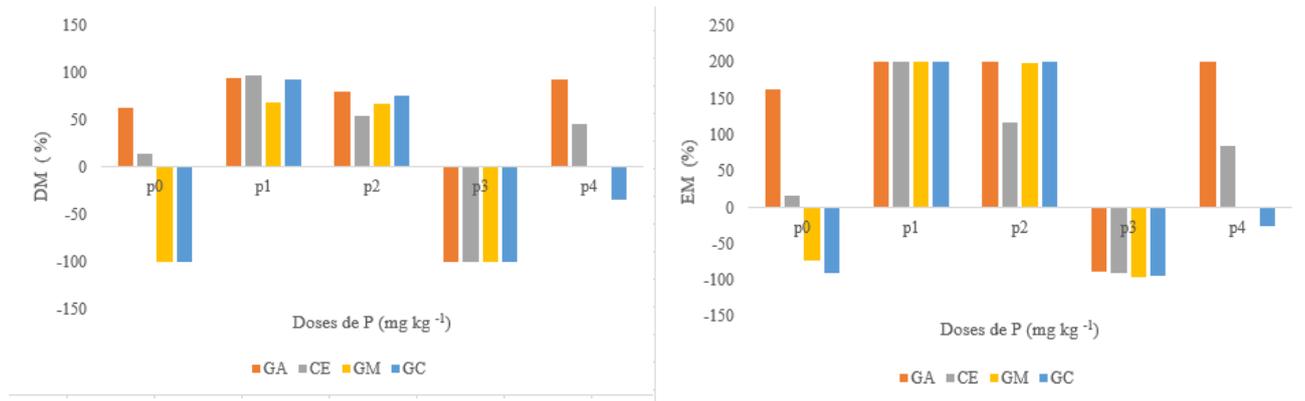


Figura 9. Dependência micorrízica (DM) e Eficiência micorrízica (EM) em mudas de canafístula inoculadas com diferentes FMAs (GA: *Gigaspora albida*; CE: *Clareoideoglossum etunicatum*; GM: *Gigaspora margarita*; GC: *Glomus clarum*).

CONCLUSÃO

A ação de *G. albida* no desenvolvimento de mudas de canafístula foi maior na ausência de adubação fosfatada. A adubação fosfatada na dose 60 mg kg⁻¹ P proporcionou melhores condições para micorrização da espécie *C. etunicatum*. A simbiose com as espécies *G. clarum* e *G. margarita* é ineficaz para a produção de mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arai FK, Gonçalves GGG, Pereira SB, Comunello E, Vitorino ACT, Daniel O (2010). Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados - MS. *Engenharia Agrícola*, 30(5): 922-931.
- Balota EL, Machineski O, Stenzel NMC (2011). Mycorrhizal efficiency in acerola seedlings with different levels of phosphorus. *The Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(3): 457-464.
- Brachtvogel EL, Malavasi UC (2010). Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. *Revista Árvore*, 34(2): 223-232.
- Brancalion PHS, Rodrigues RR, Gandolfi S, Kageyama PY, Nave AG, Gandara FB, Barbosa LM, Tabarelli M (2010). Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Revista Árvore*, 34(3): 455-470.
- Brito VN, Tellechea FRF, Heitor LC, Freitas MSM, Martins MA (2017). Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. *Ciência Florestal*, 27(2): 485-497.
- Caldeira MVW, Blum H, Balbinot R, Lombardi KC (2008). Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, 6: 191-202.

- Caldeira MVW, Delarmelina WM, Lübe SG, Gomes DR, Gonçalves EO, Alves AF (2012). Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Floresta*, 42(1): 77 – 84.
- Carneiro MAC, Siqueira JO, Davide AC (2004). Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34(3): 119-125.
- Chagnon PL, Bradley RL, Maherali H, Klironomos JN (2013). A trait-based 475 framework to understand life history of mycorrhizal fungi. *Trends plant Science*, 18: 476-491.
- Colodete CM, Souza SB, Barbirato JO, Ruas KF (2014). Novas perspectivas da simbiose micorrízica e seus facilitadores transmembrânicos na interface da troca bidirecional de nutrientes minerais: revisão. *Perspectiva on line: Biologia & Saúde*, 12(3): 8-21.
- Costa CMC, Cavalcante UMT, Goto BT, Santos VF, Maia LC (2005). Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 225- 232.
- Coutinho ES, Barbosa M, Beiroz W, Mescolotti DLC, Bonfim JA, Berbara RLL, Fernandes GW (2019). Soil constraints for arbuscular mycorrhizal fungi spore community in degraded sites of rupestrian grassland: *Implications for restoration*. *European Journal of Soil Biology*, 90: 51–57.
- Cruz CAFÉ, Paiva HN, Cunha ACMCM, Neves JCL (2012). Produção de mudas de canafístula cultivadas em latossolo vermelho amarelo álico em resposta à macronutrientes. *Cerne*, 18(1): 87-98.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF (1960) - Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1): 10-13.
- Dobo B, Asefa F, Asfaw Z (2016). Phosphorus requirement for colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and effect of AMF inoculants on growth of perennial crops and agroforestry trees. *East African Journal of Science*, 10(2): 77-86.
- Fahey C, Winter K, Slot M, Kitajima K (2016). Influence of arbuscular mycorrhizal colonization on whole-plant respiration and thermal acclimation of tropical tree seedlings. *Ecology and Evolution*, 6(3): 859–870.
- Farias DH, Pinto MAV, Carra B, Schuch MW, Souza PVD (2014). Desenvolvimento de mudas de mirtileiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36: 655-663.
- Feitosa AG, Santos DR (2016). Fósforo e fungos micorrízicos no crescimento de mudas arbóreas da caatinga. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 12(4): 392-396.
- Ferraz AV, Engel VL (2011). Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* l. var. *stilbocarpa* (HAYNE) LEE ET LANG.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (MART. EX DC.) SANDL.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (BENTH.) BRENNAN). *Revista Árvore*, 35(3): 413-423.

- Ferreira DA, Carneiro MAC, Saggin-Junior OJ (2012). Fungos micorrízicos arbusculares em um Latossolo Vermelho sob manejos e usos no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 51-61.
- Gomes JM, Paiva HN (2011). *Viveiros florestais (propagação sexuada)*. Viçosa, UFV, 116p.
- Gomes DR, Caldeira MVW, Delarmelina WM, Gonçalves EO, Trazzi PA (2013). Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. *Cerne*, 19(1): 123–131.
- Gonçalves JLM, Santarelli EG, Moraes Neto SP (2000) - Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves, J.L.M. & Benedetti, V. Nutrição e fertilização florestal. *Instituto de Pesquisas Florestais*, 310-350.
- Heitor LC, Freitas MSM, Brito VN, Carvalho AJC, Martins MA (2016). Crescimento e produção de capítulos florais de calêndula em resposta à inoculação micorrízica e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 34(1): 26-30.
- Hoffmann VL, Lucena SV (2006). *Para entender micorrizas arbusculares*. Empresa Brasileira de Agropecuária Algodão, Doc. 156, Campina Grande, 22p.
- Kiriachek SG, Azevedo LCB, Peres LEP, Lambais MR (2009). Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(1): 1-16.
- Koske RE, Gemma JN (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycology Research*, 92(4): 488-505.
- Lee EH, Eo JK, Ka KH, Eom AH (2013). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. *Mycobiology*, 41: 121-125.
- Massad MD, Dutra TR, Meireles IESM, Sarmiento MFQ, Santos AR, Menezes ES (2017). Avaliação do crescimento de canafistula em diferentes densidades de mudas por bandeja e volumes de tubetes. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 5(1): 1-9.
- M'barki N, Tekaya M, Alssaoul F, Chehab H (2018). Comparative microscopic observations of arbuscular mycorrhizal fungi after colonization of five Tunisian olive cultivars. *African Journal of Agricultural Research*. 13(21): 1095-1100.
- Miranda JCC (2008). Dinâmica de fungos micorrízicos arbusculares e produção de inoculante. In: Miranda JCC. *Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo*. Planaltina, Empresa Brasileira de Agropecuária Cerrados, 67-86.
- Moreira FS, Siqueira JO (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ªed. Lavras, UFLA, 774p.
- Mussi NS, Carvalho MO, Silva MM, Campos ANR, Cunha ACMCM (2013). Substratos orgânicos na produção de mudas de canafistula. *Cadernos de Agroecologia*, 8(2): 1-5.
- Owen D, Williams AP, Griffith GW, Withers PJA (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Applied Soil Ecology*, 86: 41–54.
- Paiva N, Gomes M (2000). *Viveiros florestais (cadernos didáticos)*. 2ªed. Viçosa, UFV, 69p.

- Pasqualine D, Uhlmann A, Sturmer SL (2007). Arbuscular mycorrhizal fungal communities influence growth and phosphorus concentration of woody plants species from the Atlantic rain forest in South Brazil. *Forest Ecology and Management*, 245(1/3): 148-145.
- Paterson E, Sim A, Davidson J, Daniell TJ (2016). Arbuscular mycorrhizal hyphae promote priming of native soil organic matter mineralisation. *Plant and Soil*, 408: 243-254.
- Pinheiro J, Bates DM (2019). R Core Team. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-139. [cit. 2019-09-18]. <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- Plenchette C, Fortin JA, Furlan V (1983). Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant and Soil*, 70(2): 199-209.
- Raj BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ª ed. Campinas, Instituto Agronômico Fundação IAC, 285 p.
- R CT (2018). R: *A language and environment for statistical computing*. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. [cit. 2019-09-18]. <<http://www.R-project.org/>>.
- Rosario-Martinez H (2015). *Phia: Post-Hoc Interaction Analysis*. R package version 0.2-1. [cit. 2019-09-19]. <<https://CRAN.R-project.org/package=phia>>.
- Samarão SS, Rodrigues LA, Martins MA, Manhães TM, Alvim LAM (2011). Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33(1): 81-88.
- Santos PC, Freitas MSM, Freitas SJ, Silva MPS (2011). Fungos micorrízicos no crescimento e nutrição de rebentos oriundos de coroa de abacaxi. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33: 658-665.
- Scalon SPQ, Scalon Filho H, Rigoni MR, Veraldo F (2001). Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23(3): 652-655.
- Scheer MB, Carneiro C, Bressan AO, Santos KG (2012). Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (vell.) Brenan. *Cerne*, 18(4): 613-621.
- Schneider J, Oliveira LM, Guilherme LRG (2012). Espécies tropicais de pteridófitas em associação com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com arsênio. *Química Nova*, 35: 709-714.
- Sheldrake M, Rosenstock NP, Revillini D, Olsson PA, Mangan S, Sayer EJ, Wallander H, Turner BL, Tanner EVJ (2017). Arbuscular mycorrhizal fungal community composition is altered by long-term litter removal but not litter addition in a lowland tropical forest. *New Phytologist*, 214: 455-467.
- Silva MA, Silva FSB, Yano-Melo AM (2006). Fungos micorrízicos arbusculares e vermicomposto na aclimação de *Alpinia purpurata* (Viell.) Schum e *Zingiber spectabile* Griff. (Zingiberaceae). *Acta Botânica Brasílica*, 20(2): 249-256.

- Silva RF, Saidelles FLF, Kemerich PDC, Steffen RB, Swarowsky A, Silva AS (2012). Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 16(8): 881-886.
- Soares MTS, Gaiad S, Resende AS, Menezes GI, Fernandes FA, Fernandes AHBM (2017) - Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(91): 311-322.
- Souza CAM, Oliveira RB, Martins Filho S, Lima JS (2006). Desenvolvimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. *Ciência Florestal*, 16: 243-249.
- Sugai MAA, Collier LS, Saggin-Júnior OJ (2011). Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. *Bragantia*, 70: 416-423.
- Tabarelli, M.; Aguiar, A.V.; Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Peres, C.A. (2010) - Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation*, Amsterdã, 143: 2328-2340.
- Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherch e de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *In: Gianinazzi-Pearson, V.; Gianinazzi, S. Mycorrhizae: physiology and genetics*. Paris, INRA-Press, 217-221.
- Valladares Neto J, Santos CB, Torres EM, Estrela C, Peres CA (2017). Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. *Revista Odontológica do Brasil-Central*, 26(76): 1-6.

ÍNDICE REMISSIVO

A

adubação, 31, 45, 48, 50, 88, 89, 93, 99, 100, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 128, 134, 145, 146, 148, 149
amendoim do campo, 114, 122
arbóreas, 31, 46, 48, 56, 60, 77, 99, 100, 102, 109, 110, 111, 112, 124, 126, 127, 131, 139, 146, 149
Arecaceae, 48
aroeira, 20, 28

B

BAP, 71, 73, 82, 84
baru, 61, 99, 100
botânica, 14

C

canafistula, 70, 72, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 103, 108, 109, 111, 112, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147
cerrado, 43, 61, 96, 99, 100, 116, 123, 147

D

déficit hídrico, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 30, 31, 35, 36, 39, 40, 42, 45, 46, 53
desenvolvimento vegetal, 18, 60

E

espécies nativas, 4, 48, 70, 88, 97, 132, 147
esporulação micorrízica, 127
estresse hídrico, 12, 13, 31, 39, 42, 45, 49, 53, 57, 67, 96, 102
Eugenia myrcianthes, 30, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46
explante, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 85, 86

F

fósforo, 14, 21, 89, 90, 92, 93, 94, 96, 99, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 130, 131, 134, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148
fotossíntese zero, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44
fruticultura tropical, 7, 17
fungos micorrízicos arbusculares, 4, 88, 89, 92, 93, 94, 96, 102, 103, 106, 107, 108, 110, 111, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 146, 147, 148

H

hipóxia, 60, 67

I

índice de qualidade de Dickson, 44, 91, 96, 98, 105, 122

L

leguminosa, 70, 103
luminosidade, 4, 53, 73

M

micropropagação, 71, 72, 83, 85, 87
mudanças climáticas, 7, 8, 15, 16, 18

N

nutrição, 4, 46, 89, 95, 98, 109, 147, 148

P

Pantanal, 2, 48, 49, 57, 58, 100, 149
polímero hidroretentor, 39
produção

de mudas, 4, 16, 32, 46, 47, 72, 94, 96, 97, 98,
100, 102, 103, 108, 109, 110, 111, 112, 113,
114, 116, 122, 123, 125, 127, 145, 146, 147,
148
vegetal, 8
Pterogyne nitens, 113, 114, 117, 118, 119, 121, 122,
123, 124

Q

qualidade de mudas, 44, 46, 88, 89, 103, 111,
112, 129, 140, 146, 149

R

radiação solar, 54, 55, 56
reflorestamento, 70, 88, 126
respostas fisiológicas, 7, 8, 143, 144

S

segmentos nodais, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 87
selênio, 19, 22, 24, 26
sensível ao alumínio, 26
silício, 19, 22, 24, 25, 28, 30, 31, 35, 36, 37, 38,
39, 45, 46
simbiose, 95, 97, 98, 106, 108, 117, 127, 130,
137, 139, 140, 145, 146
sombreamento, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 45, 46, 50,
52, 53, 54, 55, 57, 58, 61, 62, 67, 128, 147, 148

T

toxicidade do alumínio, 19
transpiração, 7, 10, 12, 13, 31, 49, 55, 56, 57, 58

  **Cleberton Correia Santos**

Graduado em Agroecologia (UEMS). Mestre e Doutor em Agronomia - Produção Vegetal (UFGD). Atualmente é Pós-Doutorando (PNPD/CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UFGD. Professor Voluntário na Graduação e Pós-Graduação em Agronomia da UFGD. Tem experiência em Tecnologias para Produção de Mudas e Ecofisiologia, Nutrição e Metabolismo de Plantas. Contato: cleber_frs@yahoo.com.br.



  **Silvana de Paula Quintão Scalon**

Graduada em Ciências Biológicas (UFJF), Mestre em Agronomia - Fisiologia Vegetal e Doutora em Ciência dos Alimentos - Fisiologia Pós-colheita de Frutos e Hortaliças, ambas pela UFLA. Professora Titular da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Produtividade em Pesquisa do CNPq nível 1D. Tem experiência em Ecofisiologia de Mudas de Espécies Arbóreas e Frutíferas Nativas. Contato: silvanascalon@ufgd.edu.br.



ISBN 978-658831931-4



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br