

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**QUALIDADE DE MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms PRODUZIDAS  
SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUMINOSIDADE E ALAGAMENTO**

**VANESSA DE MAURO BARBOSA FREITAS**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL**

**2018**

QUALIDADE DE MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms PRODUZIDAS SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUMINOSIDADE E ALAGAMENTO

VANESSA DE MAURO BARBOSA FREITAS  
Bióloga

Orientadora: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON

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

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

B238q Barbosa, Vanessa De Mauro

Qualidade de mudas de *Ormosia arborea* (Vell.) Harms produzidas sob diferentes condições de luminosidade e alagamento / Vanessa De Mauro Barbosa -- Dourados: UFGD, 2018.

73f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon

Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Trocas gasosas. 2. Disponibilidade hídrica. 3. Luminosidade. I. Título.

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

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

**QUALIDADE DE MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms PRODUZIDAS  
SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUMINOSIDADE E ALAGAMENTO**

por

Vanessa de Mauro Barbosa Freitas

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

Aprovada em: 24 / 08 / 2018



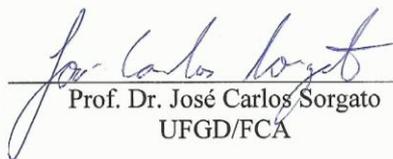
Profª. Dra. Silvana de Paula Quintão Scalon  
Orientador – UFGD/FCA



Profª. Dra. Cristiane Bezerra da Silva  
UFGD/FCA



Profª. Dra. Rosilda Mara Mussury Franco Silva  
UFGD/FCBA



Prof. Dr. José Carlos Sorgato  
UFGD/FCA



Prof. Dr. Etenaldo Felipe Santiago  
UEMS

## DEDICATÓRIA

Àqueles que sempre me apoiaram e torceram por minha vitória, meus pais (Alcides e Maria José), irmãos (Alessandro, Cristiane e Fábio), cunhadas (o) (Andrea, Josileide e Rodrigo) e sobrinhas (os) (Diogo, Lais, Helena, Lorenzo e Maitê)...

Dedico!

Ao meu amado esposo Joaquim e minha amada filha Izabela, por estarem ao meu lado me incentivando nos momentos difíceis em que pensei em desistir...

Ofereço!

## AGRADECIMENTOS

Impossível não agradecer primeiramente à Deus e à Nossa Senhora Aparecida. Sem fé não vou à lugar nenhum;

Agradeço a todas amizades que fiz durante a pós graduação, que me ajudaram entre trabalhos e conversas, especialmente à Sara Bastos, Ana Paula Rissato, Fernanda Junglos e Cristiane Paier e dizer que a amizade de vocês foi fundamental para conclusão deste trabalho;

À Daiane Mugnol Dresh, que além de ser uma grande amiga que tive o prazer de poder conviver durante algum tempo, foi também essencial para o término da “bendita” tese;

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana de Paula Quintão Scalon pela orientação e amizade. Gostaria de dizer que ela é uma grande pessoa, além de ótima profissional;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da Universidade Federal da Grande Dourados pelo apoio e infraestrutura, essenciais para a realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio financeiro;

Enfim, à todos que de alguma forma puderam contribuir para o término de mais uma etapa da minha vida, deixo aqui o meu mais sincero..

OBRIGADA!!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUÇÃO GERAL .....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14

### **CAPÍTULO I - MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms NÃO DEVEM SER PRODUZIDAS A PLENO SOL**

RESUMO .....	20
ABSTRACT .....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
RESULTADOS .....	23
DISCUSSÃO.....	28
CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

### **CAPÍTULO II – AJUSTE METABÓLICO E ANATÔMICO DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms COMBATEM O SINERGISMO ENTRE SOMBREAMENTO E ALAGAMENTO**

RESUMO .....	36
ABSTRACT .....	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	38
RESULTADOS .....	41
DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63

CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
ANEXO .....	71

## QUALIDADE DE MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms PRODUZIDAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUMINOSIDADE E ALAGAMENTO

Autora: Vanessa de Mauro Barbosa Freitas

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana de Paula Quintão Scalon

**RESUMO** - *Ormosia arborea* (Vell.) Harms é uma espécie arbórea de ampla ocorrência, com características típicas de secundária tardia, tornam-se indispensáveis ações que visem sua propagação e conservação. As plantas são expostas a diversos estressores naturais, dentre eles o estresse hídrico ocasionado pelo excesso de água que limita o desenvolvimento de plantas consideradas não adaptadas. A luminosidade também é um fator importante que influencia o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Assim, foram realizados dois experimentos tendo como objetivo encontrar respostas sobre a emergência das plântulas sob diferentes disponibilidades luminosas, bem como respostas das plantas quando submetidas ao alagamento do substrato associado com diferentes disponibilidades luminosas. Ambos experimentos foram realizados com sombreamentos de 30% e 70% e a pleno sol. Foram realizadas análises destrutivas (medidas de crescimento e análise enzimática) e não destrutivas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila). As plantas de *O. arborea* emergem mais e em menor tempo sob níveis de sombreamento (30 e 70%) e as mudas apresentam maior crescimento inicial, trocas gasosas e eficiência fotossintética do PS II quando cultivadas sob 70% de sombreamento. Sob alagamento as plantas alagadas sobreviveram por 80 dias e após o período alagado apresentam características adaptativas, como as lenticelas hipertrofiadas. Entretanto reduzem ao longo das avaliações o seu potencial fotossintético e a qualidade das mudas. Assim como os tratamentos alagados, o tratamento controle Pleno Sol (C0) também demonstra ser inapropriado para produção de mudas dessa espécie.

**Palavras-chave:** Trocas gasosas, disponibilidade hídrica, luminosidade

## QUALITY OF SEEDLINGS OF *Ormosia arborea* (Vell.) Harms PRODUCED UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF LIGHTING AND FLOODPLAIN

Author: Vanessa de Mauro Barbosa Freitas

Adviser: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvana de Paula Quintão Scalon

**ABSTRACT** - *Ormosia arborea* (Vell.) Harms is an arboreal species of wide occurrence, with characteristics typical of late secondary, it becomes indispensable actions that aim its propagation and conservation. The plants are exposed to several natural stressors, among them the water stress caused by the excess of water that limits the development of plants considered not adapted. Brightness is also an important factor influencing plant growth and development. Thus, two experiments were carried out to find answers on the emergence of seedlings under different light availability, as well as responses of the plants when submitted to flooding of the substrate associated with different light sources. Both experiments were performed with 30% and 70% shading in full sun. Destructive analyzes (growth measures and enzymatic analysis) and non destructive analyzes (gas exchange and chlorophyll fluorescence) were performed. *O. arborea* plants emerge more and less under shading levels (30 and 70%) and the seedlings present higher initial growth, gas exchange and photosynthetic efficiency of PS II when grown under 70% shading. Under flooding the flooded plants survived for 80 days and after the flooded period they present adaptive characteristics, such as hypertrophied lenticels. However, they reduce their photosynthetic potential and the quality of the seedlings. As with flooded treatments, the control treatment full sun (C0) also proves to be inappropriate for the production of seedlings of this species.

**Keywords:** Gas exchanges, water availability, luminosity

## INTRODUÇÃO GERAL

As plantas estão constantemente expostas a diversas condições ambientais e, dependendo da situação, tais condições podem ser consideradas desfavoráveis. Taiz et al. (2017) definem estresse como um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. Esses autores ressaltam que o conceito de estresse está relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável.

Nesse sentido, o déficit hídrico, déficit de oxigênio induzida pelo excesso de água, alta temperatura e radiação ou estresses antropogênicos, como a poluição (exposição ao SO<sub>2</sub>, Nox, O<sub>3</sub>), chuva ácida e orvalho, são exemplos de alguns fatores que podem limitar o desenvolvimento vegetal (LICHTENTHALER, 1996).

Levitt (1972) sugeriu que o estresse biológico poderia ser definido como determinadas condições ambientais, que induzem um organismo a entrar num estado de tensão, definindo a tensão como determinadas alterações no metabolismo e na fisiologia de organismo, que podem ou não, causar injúria. A tensão pode ser elástica ou plástica. Na primeira, quando desaparecido o fator de estresse, o metabolismo consegue voltar ao seu funcionamento normal. Porém, pode acontecer que uma vez eliminado o fator, o metabolismo apresente efeitos irreversíveis conhecidos como injúria, o organismo estará sofrendo uma tensão plástica.

O estresse hídrico é um dos fatores que afetam negativamente a planta em vários aspectos, diminuindo a produtividade e o crescimento. Tal estresse se deve tanto a falta quanto ao excesso de água. Assim, os efeitos dependem do tipo de planta, grau e duração da condição estressante, o qual leva a mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas (DUARTE, 2012).

O excesso de água no solo é um fator que pode causar redução do crescimento e rendimento das culturas (FLOSS, 2008). Segundo Medri et al. (1998) a saturação hídrica nas plantas é superada por adaptações que incluem a formação de lenticelas hipertróficas, inibição do alongamento dos entrenós, aceleração de senescência, abscisão foliar e deterioração das raízes (por ação de microrganismos), com substituição por raízes mais espessas e pouco ramificadas.

O conhecimento de como indivíduos detectam e respondem às mudanças advindas de alterações do ambiente a qual estão inseridas é importante para o entendimento das respostas dos ecossistemas ao alagamento (HORCHANI et al., 2011).

Durante o estresse hídrico, pode ocorrer a formação das espécies reativas de oxigênio (ROS), na forma de oxigênio singleto, peróxido de hidrogênio, radical hidroxila e ânion superóxido (MITTLER, 2002). As ROS são subprodutos do metabolismo celular regular, que podem ser gerados com a destruição do sistema de transporte de elétrons durante condições de estresse (SOARES e MACHADO, 2007). Os principais pontos de produção de ROS na célula ocorrem nos cloroplastos estando relacionada com eventos da fotossíntese e nas mitocôndrias, pois, são organelas com alta atividade de oxidação metabólica (BREUSEGEM et al., 2001).

Durante muito tempo acreditou-se que as ROS estavam somente relacionados aos efeitos danosos nas espécies vegetais. Porém, as ROS, são reconhecidas como moléculas de grande importância no metabolismo, funcionando como uma molécula sinalizadora em plantas sob condições de estresses bióticos e abióticos, estando envolvido, por exemplo, no fechamento estomático, gravitropismo radicular, tolerância à deficiência de oxigênio, fotossíntese e abertura estomática (RESENDE et al., 2003).

A produção das ROS ocorre durante a fotossíntese, fotorrespiração e essas moléculas podem se ligar com moléculas vitais, como gorduras, proteínas, ácidos nucleicos, causando a peroxidação lipídica, desnaturação de proteínas e mutação no DNA (BOUTRAA et al., 2010). Estudos têm demonstrado o efeito negativo do estresse hídrico sobre as membranas celulares e organelas como mitocôndrias e cloroplastos (CANDAN e TARHAN, 2003).

Para defesa primária contra os radicais livres, as plantas apresentam sistemas enzimáticos antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) (CARNEIRO et al., 2011). A SOD é considerada a primeira barreira contra o estresse, e elimina a toxicidade causada pela formação do ânion superóxido, que posteriormente é eliminado pela CAT ou através da APX (CARVALHO, 2008). A SOD está presente nas mitocôndrias, cloroplastos, perioxissomos, apoplasto e citosol. A enzima CAT atua na dismutação do peróxido de oxigênio em oxigênio e água. Essa enzima é encontrada nos perioxissomos, glioxissomos, citosol e mitocôndrias. Sua função é remover o peróxido de hidrogênio formados durante a fotorrespiração (CARVALHO, 2008). A APX possui alta

especificidade com o substrato redutor, e assim catalisa a redução de peróxido de hidrogênio e estão presentes no citosol, membranas dos peroxissomos e nos cloroplastos (GILL e TUTEJA, 2010).

Outra enzima presente nas plantas é a peroxidase (POD), sendo que existem muitas isoformas de PODs que estão envolvidas em vários processos celulares. Localizam-se principalmente na parede celular e vacúolo. Algumas são expressas e outras são induzidas por estresses ambientais, além disso, utilizam o peróxido de hidrogênio como oxidante e compostos fenólicos como doadores de elétrons (BARBOSA et al., 2014).

Assim, tanto aspectos fisiológicos quanto os morfológicos das plantas são afetados pelo excesso de água, promovendo mudanças fisiológicas e morfológicas nas plantas. Segundo Grandis et al. (2010), as informações existentes sugerem que sob alagamento, as plantas tendem a mobilizar reservas para suprir a demanda de carbono necessário para a manutenção do metabolismo sob o estresse da falta de oxigênio, sendo que até certo limite, com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, as plantas tendem a fazer mais fotossíntese e a produzir mais biomassa.

Em condição de alagamento, as plantas produzem sinais metabólicos de vários tipos, ocorrendo uma diminuição dos níveis endógenos de oxigênio, em resposta a hipoxia (GRANDIS et al., 2010). Segundo Visser e Voesenek (2005), a sinalização pode ocorrer pela diminuição da concentração de oxigênio e por um aumento de etileno. Em consequência da queda nos níveis de oxigênio, há uma regulação negativa do ciclo dos ácidos tricarboxílicos (o ciclo de Krebs) que são os principais mecanismos geradores de esqueletos de carbono para a síntese de compostos do metabolismo secundário das plantas, de onde vêm os hormônios vegetais (GRANDIS et al., 2010).

O etileno é um hormônio vegetal que promove a formação de raízes adventícias, porém é considerado volátil, tendo assim sua difusão é prejudicada (YIN et al., 2009). Além disso, pode contribuir para aumentar a tolerância da planta ao excesso de água no solo, pois regula várias respostas adaptativas de natureza molecular, fisiológica e morfológica na planta (YIN et al., 2009).

Diversas espécies de plantas podem passar por períodos de alagamento, como as muitas espécies que crescem naturalmente em áreas de mata ciliar, no entanto, essas plantas devem regularmente readaptar seu metabolismo e ciclo de vida modificando a via respiratória de forma a suportar as alterações entre condições aeróbicas e hipóxicas

ou até mesmo anóxicas, impostas por essa condição (GREGÓRIO et al., 2008). Plantas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) (Bignoniaceae) Toledo submetidas ao alagamento apresentaram inibição total e parcial do crescimento da parte aérea e do diâmetro do caule, respectivamente, e também apresentaram valores próximos a zero e até mesmo nulos (com o aumento dos meses de inundação) para a massa da matéria seca da parte aérea, sistema radicular e massa total seca, indicando que essa espécie não tolera períodos de inundação permanente (GREGÓRIO et al., 2008).

Muitas espécies apresentam tolerância ao alagamento, inclusive espécies que enfrentam pouca ou nenhuma inundação em seus habitats, entretanto estas não conseguem se estabelecer em ambientes inundáveis (KISSMANN et al., 2014). Isso porque a diversidade de espécies nas áreas sujeitas à inundação sazonal não está relacionado apenas com a tolerância ao alagamento, mas também com tolerância a condições de pós-alagamento, que envolve períodos com menor disponibilidade de água (LOPEZ e KURSAR, 2003).

Com relação às trocas gasosas, a rápida diminuição de condutância estomática pode ser particularmente importante para a sobrevivência das plantas sob alagamento, pois impede a transpiração excessiva em condições em que a capacidade de absorção de água está prejudicada devido a condição de hipoxia ou anoxia. Na maioria das espécies tolerantes à inundação, a diminuição inicial da condutância estomática frequentemente é seguida pela reabertura estomática, além da recuperação da taxa fotossintética. Entretanto, situações prolongadas de inundação/alagamento provocam a morte dos tecidos vegetais e a mudança da respiração aeróbica para anaeróbica (NASCIMENTO, 2009; LIRA et al., 2013).

Oliveira e Gualtieri (2017) submeteram plantas de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f ex. S. Moore (Bignoniaceae) ao alagamento e observaram que as plantas reduziram fotossíntese, condutância estomática, além de afetar o crescimento da parte aérea, induzindo o aparecimento de sintomas característicos de estresse por inundação, como a hipertrofia das lenticelas.

Plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D.C. (Fabaceae) submetidas ao alagamento apresentaram taxa fotossintética 48,20% menor em relação ao controle, além de redução em altura e na razão massa seca da raiz/parte aérea, modificações morfológicas como raízes adventícias e hipertrofia das lenticelas, sendo características de espécies tolerantes ao alagamento (LIRA et al., 2013).

A capacidade de restabelecimento das plantas após o período de alagamento também é crucial para o sucesso do estabelecimento das plantas em ambientes que possam passar por períodos de inundação (LUO et al., 2011), pois, a rápida exposição a uma condição onde o solo está com boa drenagem, pode expor a planta ao estresse pela troca radical da condição ambiental, e quando retiradas do alagamento plantas intolerantes estão sujeitas a danos oxidativos severos quando em contato com o oxigênio, o que pode acarretar a morte do indivíduo (RAWYLER et al., 2002).

Em ambientes que estão sujeitos ao alagamento sazonal, a abundância e a distribuição das espécies podem ser influenciadas pelas respostas pós-alagamento (LOPEZ e KURSAR, 2003). Por outro lado, apesar dos estudos sobre a tolerância ao alagamento terem progredido, inclusive em nível molecular, pouco se sabe sobre o estresse pós-alagamento (VOESENEK et al., 2016).

Estudos referentes às características morfológicas, fisiológicas e anatômicas são ferramentas importantes no entendimento da ecologia e dinâmica florestal, sendo imprescindíveis para avaliar a influência dos fatores bióticos e abióticos no crescimento e desenvolvimento vegetal. Compreender os diferentes potenciais competitivos entre plantas coexistentes, mediados pela tolerância ao sombreamento, também é um fator importante para prever as respostas dos ecossistemas às mudanças globais bem como a dispersão de espécies invasoras (VALLADARES e NIINEMETS, 2008).

Considerando o crescente aumento de áreas degradadas, torna-se importante o estudo com espécies que possam ser utilizadas em trabalhos de reflorestamento. Além disso, dada a alta diversidade de espécies e diversidade de ambientes, é imprescindível o estudo do comportamento da planta principalmente no que diz respeito a luz e umidade do solo.

Para Costa et al. (2015), a etapa de produção de mudas é fase fundamental para obtenção da uniformidade das plantas. Nessa fase, o tipo de substrato, tipo de ambiente protegido, o volume de recipiente, a irrigação, a adubação e o manejo correto das operações de produção propiciam condições para obtenção de plantas com elevada qualidade, para garantir o sucesso no desenvolvimento a campo. Nesse sentido, o sombreamento artificial pode ter efeito positivo na taxa de crescimento e qualidade da muda, variando as respostas de acordo com a classe ecológica (CARON et al., 2010).

As características genéticas de uma planta em interação com o ambiente desencadeiam alterações anatômicas e fisiológicas que possibilitam essa plantas utilizar

a luminosidade disponível, o que garante adaptação a essa condição, sendo considerada uma valiosa estratégia para escapar também das condições de baixa luminosidade (MORAIS NETO e GONÇALVES, 2000; SIEBENEICHLER et al., 2008).

A dependência da luz nos processos fisiológicos das plantas se reflete na manutenção da sua integridade anatômica e fisiológica (SHOCK et al., 2014). Por consequência, a maior parte das plantas desenvolve mecanismos a fim de aclimatar-se aos ambientes nos quais estão inseridas, principalmente no que diz respeito às variações de temperatura e luminosidade (SEARLE et al., 2011).

Dentre as diversas espécies vegetais, *Ormosia arborea* (Vell.) Harms pertence a Família Leguminosae-Papilionoidae (Fabaceae), é uma espécie arbórea nativa do Brasil semidecídua, heliófita (LORENZI, 2008) e secundária tardia (MARMONTEL et al., 2013). Conhecida popularmente como olho-de-cabra, olho-de-boi, pau-ripa. Há registros de sua ocorrência desde a Bahia, passando por Minas Gerais, Mato Grosso do Sul até Santa Catarina e pode ser encontrada em floresta pluvial atlântica (LORENZI, 2008) e no Cerrado (EMBRAPA, 2012). Sua madeira é principalmente utilizada na fabricação de móveis e painéis, as sementes podem ser utilizadas como ornamentos, além disso essa espécie é considerada ornamental e também proporciona sombra (LORENZI, 2008). O gênero *Ormosia* também possui possíveis propriedades medicinais, como demonstrado em alguns estudos, tais como alcaloides quinolizidínicos altamente complexos, isoflavonas, lecitinas, proantocianidinas e cerebrósidos (FERNANDES et al., 2011; POUNY et al., 2014).

O conhecimento do requerimento de luz e água pelas espécies arbóreas é fundamental para a produção de mudas visando a recuperação de áreas degradadas, uma vez que a falta ou o excesso desses fatores pode reduzir o vigor e a qualidade da planta. Considerando que diversos estudos sobre essa espécie se limita a métodos para a superação da dormência física de suas sementes (SILVA e MORAIS, 2012; SILVA et al., 2014), a hipótese deste trabalho foi que *O. arborea* pode tolerar períodos de alagamento do substrato, porém pode não ter desenvolvimento satisfatório em ambientes com alta radiação solar.

Dessa forma objetivou-se avaliar o comportamento das plantas de *Ormosia arborea* em diferentes níveis de sombreamento e condição hídrica, tendo em vista que ainda são poucos os estudos com espécies nativas relacionando a condição hídrica ao sombreamento das mudas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BOUTRAA, T.; AKHKHA, A.; AL-SHOAIBI, A. A.; ALHEJELI, A. Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. **Journal of Taibah University for Science**, v. 3, p. 39-48, 2010.

BREUSEGEM, F. V.; VRANOVÁ, E.; DAT, J.F.; INZÉ, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v. 161, n. 3, p. 405-414, 2001.

CANDAN, N.; TARHAN, L. The correlation between antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Mentha pulegium* organs grown in  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{Cu}_2^+$ ,  $\text{Zn}_2^+$  and  $\text{Mn}_2^+$  stress conditions. **Plant Science**, v. 163, p. 769-779, 2003.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 752 - 761, 2011.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; CANTARELLI, E. B.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.

CARVALHO M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, v.3, n. 3, p. 156 - 165, 2008.

COSTA, E.; DIAS, J. G.; LOPES, K. G.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. Telas de sombreamento e substratos na produção de mudas de *Dipteryx alata* Vog. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 416-425, 2015.

DUARTE, A. L. M. Efeito da água sobre o crescimento e o valor nutritivo das plantas forrageiras. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 1-6, 2012.

EMPRAPA. Avaliação da sustentabilidade e planejamento ambiental em propriedade do setor silvicultural. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/silvicultura/index.html>. Acesso em 08/07/2018, 2012.

FERNANDES, A. V.; RAMOS, M. V.; GONÇALVES, J. F. C.; MARANHÃO, P. A. C.; CHEVREUIL, L. R.; SOUZA, L. A. G. Seeds of amazonian Fabaceae as a source of new lectins. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 3, p. 237-244, 2011.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo-RS: UPF, ed. 4, 749p., 2008.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

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

GREGÓRIO, T. A.; GOBBO, L. G.; CARDOSO, J. F.; DEMUNER, V. G.; HEBLING, S. A. Efeito do alagamento sobre o crescimento inicial de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo (Ipê-rosa). **Natureza on line**, v. 6, n. 2, p. 91-98, 2008.

HORCHANI, F.; O.R'BIA.; ASCHI-SMITI, S. Oxygen sensing and plant acclimation to soil flooding. **International Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 3, p. 227-237, 2011.

KISSMANN, C.; VEIGA, E. B.; EICHEMBERG, M. T.; HABERMANN, G. Morphological effects of flooding on *Styrax pohl* and the dynamics of physiological responses during flooding and post-flooding conditions. **Aquatic Botany**, v. 119, p. 7-14, 2014.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1972. 697 p.

LICHTENTHALER, H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. **Journal of Plant Physiology**, v.148, p. 4-14, 1996.

LIRA, J. M. S; FERREIRA, R. A.; SILVA JUNIOR, C. D.; SANTOS NETO, E. M.; SANTANA, W. S. Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D.C. sob alagamento para uso na recuperação de matas de ciliares. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 655-665, 2013.

LOPEZ, O. R.; KURSAR, T. A. Does flood tolerance explain tree species distribution in tropical seasonally flooded habitats? **Oecologia**, v. 136, n. 2, p. 193-204, 2003.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil** - Vol. 01- 5. edição. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, p. 384, 2008.

LUO, W.; SONG, F.; XIE, Y. Trade-off between tolerance to drought and tolerance to flooding in three wetland plants. **Wetlands**, v. 28, p. 866-873, 2008.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A.; MARTINS E MARTINS, T. STARZYNSKI, R.; CARVALHO, J. L. Caracterização da vegetação secundária do bioma mata atlântica com base em sua posição na paisagem. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 2042-2052, 2013.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DELGADO, M. F.; CORREA, G. T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub., submetidas ao alagamento e a aplicação de etrel. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, n. 3, p. 262-267, 1998.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MORAIS NETO, S. P.; GONÇALVES, J. L. M. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 35-45, 2000.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico.** 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA.

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

PONY, I.; BATUT, M.; VENDIER, L.; DAVID, B.; YI, S.; SAUTEL, F.; ARIMONDO, P. B.; MASSIOT, G. Cytisine-like alkaloids from *Ormosia hosiei* Hemsl. & E. H. Wilson. **Phytochemistry**, v. 107, p. 97-101, 2014.

RAWYLER, A.; ARPAGAUS, S.; BRAENDLE, R. Impact of oxygen stress and energy availability on membrane stability of plant cells. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 499-507, 2002.

RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies reativas de oxigênio da resposta de defesa das plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 123-130, 2003.

SCHOCK, A. A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E. G.; SILVA, D. M.; BACARIN, M. A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-mansão cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 3-9, 2014.

SEARLE, S.Y., THOMAS, S., GRIFFIN, K.L., HORTON, T., KORNFELD, A., YAKIR, D., HURRY, V., TURNBULL, M.H. Leaf respiration and alternative oxidase in field-grown alpine grasses respond to natural changes in temperature and light. **New phytologist**, v. 189, n. 4, p. 1027-1039, 2011.

SIEBENEICHLER, S. C.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; ADORIAN, G. C.; CAPELLARI, D. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Tol. em condições luminosidade. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 467- 472, 2008.

SILVA, A. L.; MORAIS, G. A. Biometry and dormancy breaking of *Ormosia arborea* seeds. **Communications in Plant Sciences**, v. 2, n. 3, p. 105-107, 2012.

SILVA, A. L.; DIAS, D. C. F. S.; LIMA, L. B.; MORAIS, G. A. Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. **Journal of seed science**, v. 36, n. 3, p. 318-325, 2014.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 1, n. 1, p. 9-19, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [tradução: Alexandra Antunes Mastroberti et al.] ; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. – 6ª. ed. – Porto Alegre : Editora Artmed, 858p., 2017.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, U. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 39, p. 237-257, 2008.

VISSER, E. J. W.; VOESENEK, L. A. C. J. Acclimation to soil flooding - sensing and signal-transduction. **Plant and Soil**, v. 274, p. 197-214, 2005.

VOESENEK, L. A. C. J.; SASIDHARAN, R.; VISSER, E. J. W.; BAILEY-SERRES, J. Flooding stress signaling through perturbations in oxygen, ethylene, nitric oxide and light. **New Phytologist**, v. 209, n. 1, p. 39-43, 2016.

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 87-93, 2009.

## CAPÍTULO I

### MUDAS DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms NÃO DEVEM SER PRODUZIDAS A PLENO SOL

**RESUMO** - A recomposição de ecossistemas alterados e degradados somente terá sucesso se pesquisas gerarem conhecimentos biológicos, ecológicos e fisiológicos sobre as espécies de diversos ecossistemas brasileiros. Para a produção de mudas de qualidade é fundamental o conhecimento ecofisiológico da fase inicial das espécies e o sombreamento artificial pode interferir na taxa de crescimento e qualidade da muda. Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito de diferentes níveis de sombreamento na emergência, crescimento inicial e metabolismo fotossintético de *Ormosia arborea*. O experimento foi realizado sob sombreamento de 30% e 70% e a pleno sol. Aos 60 dias após a semeadura, foram realizadas análises não destrutivas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*) e destrutivas (medidas de crescimento). As plantas de *O. arborea* emergiram mais e em menor tempo sob sombreamento e as mudas apresentaram maior crescimento inicial, trocas gasosas e eficiência fotossintética do PS II quando cultivadas sob 70% de sombreamento.

**Palavras-chave:** produção de mudas, sombreamento, trocas gasosas

**Abstract** - The recomposition of altered and degraded ecosystems will only succeed if research generates biological, ecological and physiological knowledge about the species of several Brazilian ecosystems. For the production of quality seedlings it is fundamental the ecophysiological knowledge of the initial phase of the species and the artificial shading can interfere in the growth rate and quality of the seedlings. The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of shading on emergence, initial growth and photosynthetic metabolism of *Ormosia arborea*. The experiment was carried out under shading of 30% and 70% and in full sun. At 60 days after sowing, non-destructive analyzes (gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence) and destructive measurements (growth measures) were performed. *O. arborea* seedlings emerge more and less time under shade and the seedlings present higher initial growth, gas exchange and photosynthetic efficiency of PS II when grown under 70% shading.

**Keywords:** seedling production, shading, gas exchange

## INTRODUÇÃO

A falta de planejamento no uso dos recursos naturais tem resultado na degradação dos ecossistemas florestais. O sucesso de projetos de recomposição e plantio para exploração sustentável depende de conhecimentos biológico, ecológico e fisiológico de espécies de diversos ecossistemas brasileiros com potencial para utilização em ambientes degradados. Diante disso, surgiram vários programas visando a recuperação desses ambientes (SANTOS et al., 2012), seja através da semeadura direta ou do plantio de mudas.

Para a produção de mudas de qualidade é fundamental o conhecimento ecofisiológico da fase inicial das espécies (SOUZA et al., 2013) e o sombreamento artificial pode ter efeito positivo na taxa de crescimento e qualidade da muda, e as respostas variam de acordo com a classe ecológica (SIEBENEICHLER et al., 2008; SOUZA et al., 2013; REIS et al., 2016).

A capacidade das mudas crescerem rapidamente, quando sombreadas, é um mecanismo importante de adaptação da espécie, sendo uma valiosa estratégia para escapar da baixa intensidade luminosa (SIEBENEICHLER et al., 2008). A maior parte das plantas desenvolve mecanismos a fim ajustar-se aos ambientes nos quais estão inseridas, principalmente no que diz respeito às variações de temperatura e luminosidade (SEARLE et al., 2011). Alguns destes mecanismos são a regulação da condutância estomática (AASAMA e SÖBER, 2011) e o ajuste do aparato fotossintético para que ocorra a absorção adequada de energia luminosa, transferência e utilização da energia eletromagnética disponível (GONÇALVES et al., 2010).

O gênero *Ormosia* é pertence à subfamília Papilionoideae, amplamente distribuídas em regiões tropicais e subtropicais. *Ormosia arborea* (Vell.) Harms (Fabaceae: Papilionoideae), conhecida popularmente como olho-de-cabra, é uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica e do Cerrado classificada como secundária tardia ou clímax (CARVALHO, 2008).

Considerando a classificação sucessional de *O. arborea*, acredita-se que suas sementes não toleram alta disponibilidade luminosa não expressando satisfatoriamente seu vigor e viabilidade e suas mudas apresentam baixa atividade fotossintética quando cultivadas a pleno sol. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes níveis de

sombreamento na emergência, crescimento inicial e metabolismo fotossintético de suas mudas de *O. arborea*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de emergência foi realizado sob cultivo protegido na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) no período de outubro/dezembro de 2016, sendo realizado em vasos de polietileno de 5 litros, utilizando como substrato Latossolo Vermelho distroférico (peneirado), areia grossa e substrato agrícola Bioplant<sup>®</sup> na proporção de 1:1:1. Os vasos foram dispostos em três disponibilidades luminosas: Pleno Sol (0%); 30% e 70% de sombreamento, obtido com auxílio de telas de nylon preta tipo Sombrite<sup>®</sup>, (FERREIRA, 2010).

Devido à dormência tegumentar, em dezembro/2016, as sementes foram escarificadas por 15 minutos com ácido sulfúrico concentrado (98% p.a.) e lavadas em água corrente por 5 minutos (SILVA et al., 2014). Em cada condição luminosa foram utilizados vinte vasos com cinco sementes cada, totalizando 100 sementes. Avaliou-se a porcentagem de emergência (%), índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962) e tempo médio de emergência (dias) (LABOURIAU, 1983).

Ao final do experimento de emergência, aos 60 dias foram realizadas análises de:

Potencial hídrico das folhas ( $\Psi_w$ ): obtido a partir de leituras realizadas em folhas individuais pertencentes ao segundo par de folhas totalmente expandidas do ápice para a base, entre 10 e 11 horas da manhã, usando uma câmara de pressão (Portable Plant Water Status Console - modelo 3115), imediatamente após a coleta das folhas;

Índice de clorofila : utilizando um clorofilômetro portátil marca Konica Minolta, modelo SPAD 502);

Eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II ( $F_v/F_0$ ) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II ( $F_0/F_m$ ) obtidas a partir de dados de fluorescência da clorofila *a* mensurados com o auxílio do fluorímetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA);

Trocas gasosas: taxas fotossintética (*A*) e transpiratória (*E*); condutância estomática (*g<sub>s</sub>*); gás carbônico interno (*C<sub>i</sub>*); e as relações eficiência do uso da água –

EUA ( $A/E$ ) e eficiência da carboxilação da rubisco ( $A/C_i$ ) utilizando-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCi PRO (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas em quatro mudas por tratamento no período da manhã, entre 8 e 11 horas da manhã;

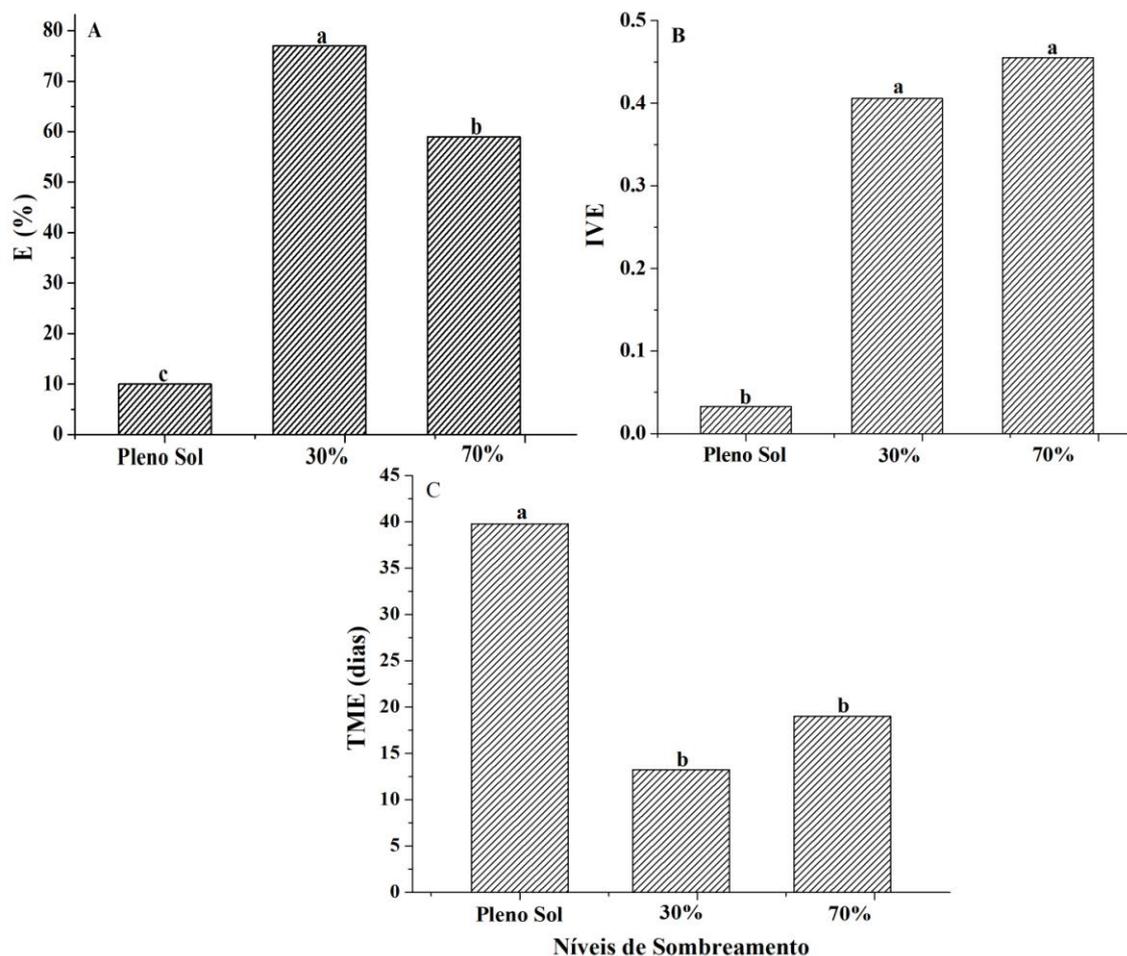
Área foliar ( $AF$ ) com o integrador de área foliar LI-COR<sup>®</sup> modelo LI 3100;

Para obtenção da massa fresca de folha, caule e raiz utilizou-se balança analítica de precisão (0,0001g) e os resultados foram expressos em gramas (g); massa seca de folha, caule e raiz a partir da secagem de cada órgão em estufa de circulação de ar, regulada a 70°C por 72 horas ou até que atingissem massa constante, avaliada em balança analítica de precisão (0,0001g) e os resultados expressos em gramas (g); diâmetro do caule com auxílio de paquímetro digital Digimess (0,001 mm) e os resultados expressos em milímetros (mm). Para avaliar a qualidade das mudas, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson baseado na seguinte equação  $IQD = MST / [(H/D) + (MSPA/MSR)]$ , em que:  $IQD = \text{Massa seca total} / (\text{Altura/Diâmetro} + \text{massa seca da parte aérea/massa seca de raiz})$  (DICKSON et al., 1960).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e havendo efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010).

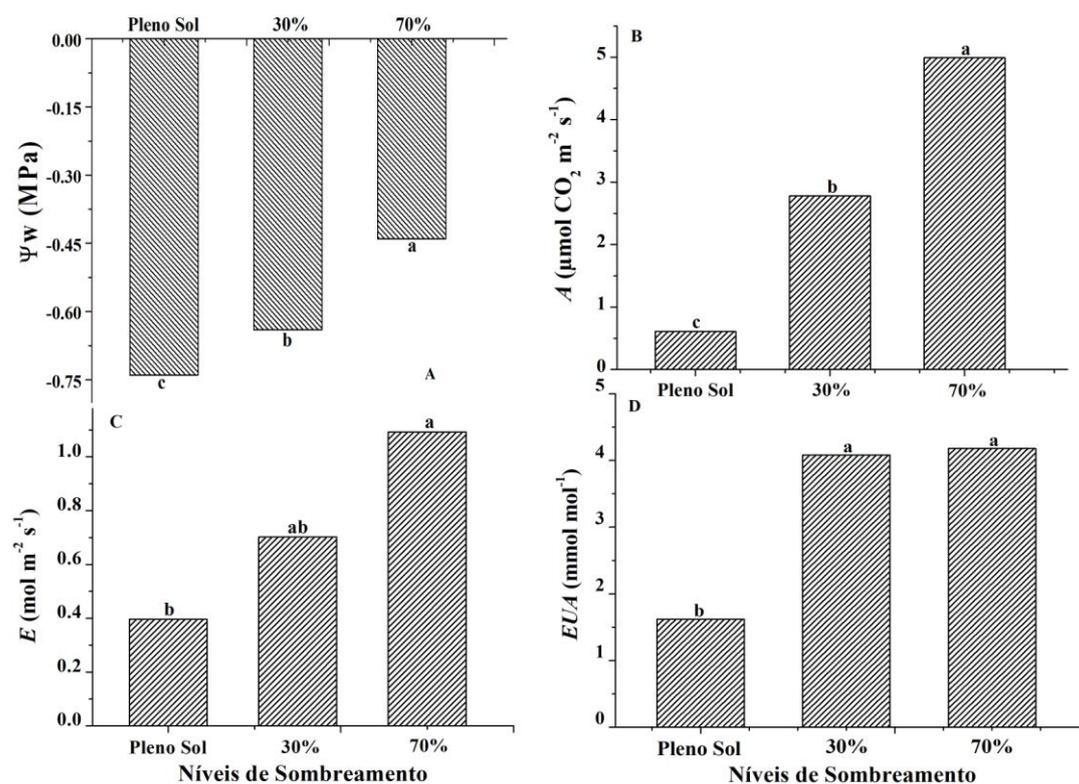
## RESULTADOS

A porcentagem de emergência de *Ormosia arborea* foi maior no 30% de sombreamento (77%), seguida de 70% (59%) e pleno sol (10%) (Figura 1 A). O índice de velocidade de emergência (IVE) foi maior sob 70% de sombreamento (Figura 1B), que não diferiu significativamente de quando a semeadura ocorreu sob 30%. Com relação ao tempo médio de emergência (Figura 1C), o cultivo sob 30% de sombreamento proporcionou menor tempo de emergência (13,25 dias), seguido de 70% (19,01 dias), entretanto o pleno sol retardou a emergência que ocorreu somente aos 39,8 dias.



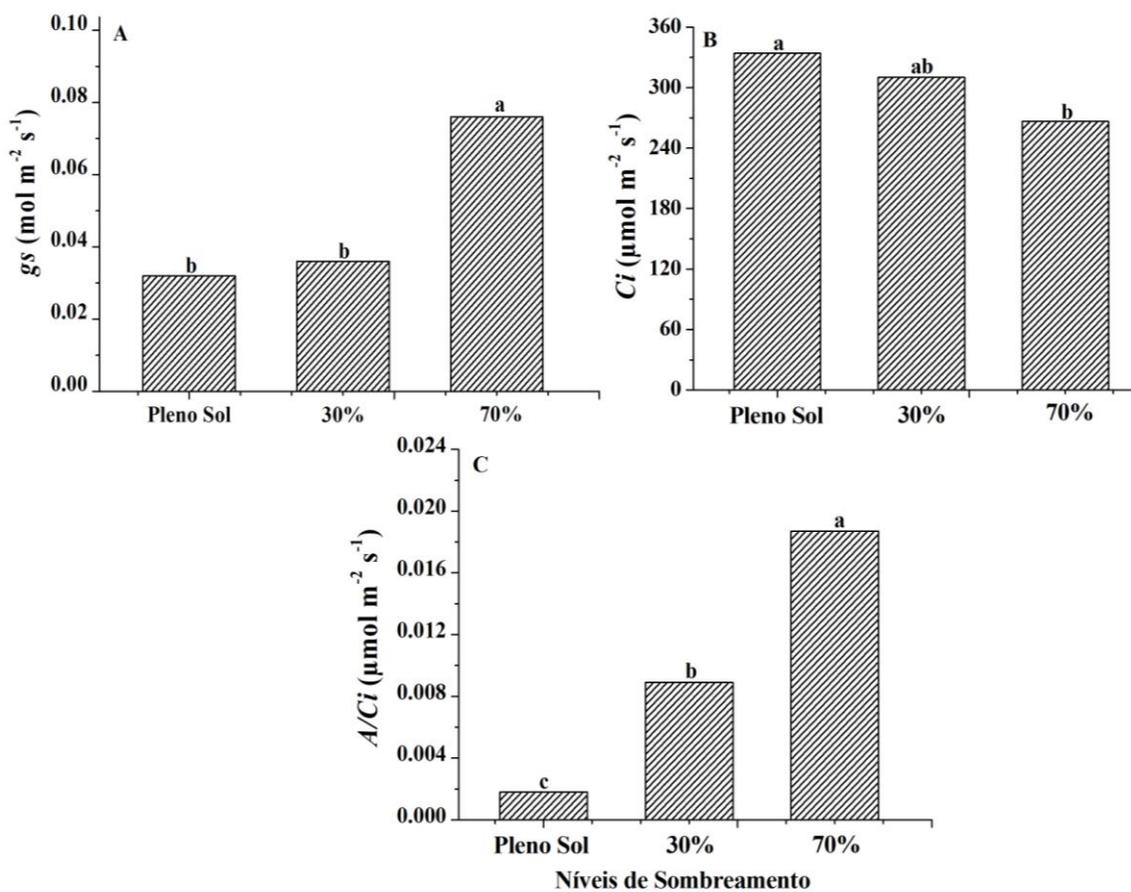
**Figura 1.** Porcentagem de emergência – E (%) (A), Índice de velocidade de emergência - IVE (B) e Tempo médio de emergência – TME (C) de plantas de *Ormosia arborea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Dourados-MS, UFGD, 2018.

O potencial hídrico das folhas ( $\Psi_w$ ) foi mais negativo nas plantas cultivadas sob pleno sol (Figura 2A). As maiores taxas fotossintética (A) e transpiratória (E) foram observadas nas plantas sob 70% de sombreamento (Figura 2B e 2C). Os valores da eficiência no uso da água (EUA) não diferiram significativamente entre as condições 30% e 70% de sombreamento (Figura 2D).



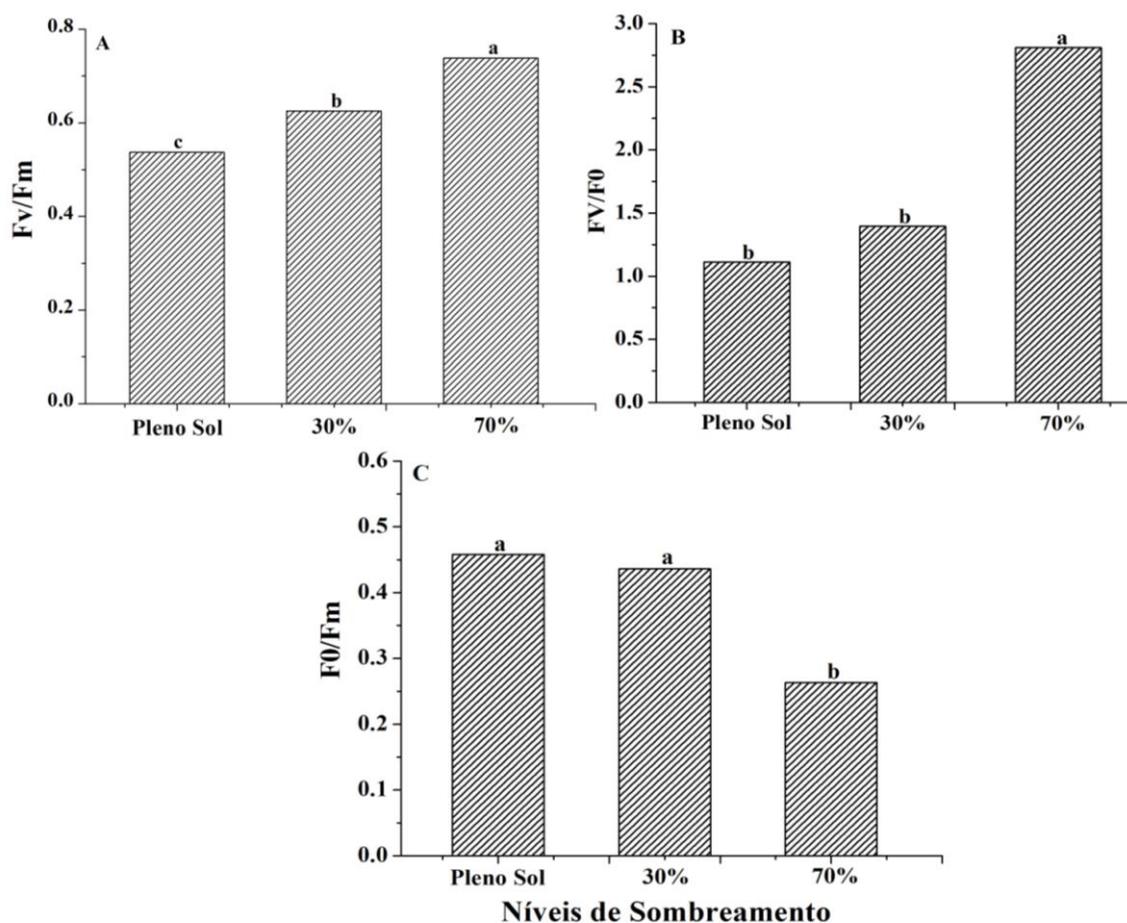
**Figura 2.** Potencial hídrico foliar –  $\Psi_w$  (A), Fotossíntese -  $A$  (B), Transpiração -  $E$  (C) e Eficiência no uso da água -  $EUA$  (D) de plantas de *Ormosia arborea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Dourados-MS, UFGD, 2018.

A condutância estomática ( $g_s$ ) foi menor nas plantas a pleno sol e 30% de sombreamento (Figura 3A). O cultivo a pleno sol proporcionou os maiores valores de concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), porém não difere estatisticamente do 30% de sombreamento (Figura 3B). O aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  intercelular está relacionado com a menor eficiência de carboxilação da enzima rubisco nesta condição e maior eficiência da mesma sob 70% de sombreamento (Figura 3C). Assim, sob 70% de sombreamento, as plantas apresentaram maior  $g_s$  e maior assimilação do substrato para a enzima rubisco, apresentando maior taxa fotossintética.



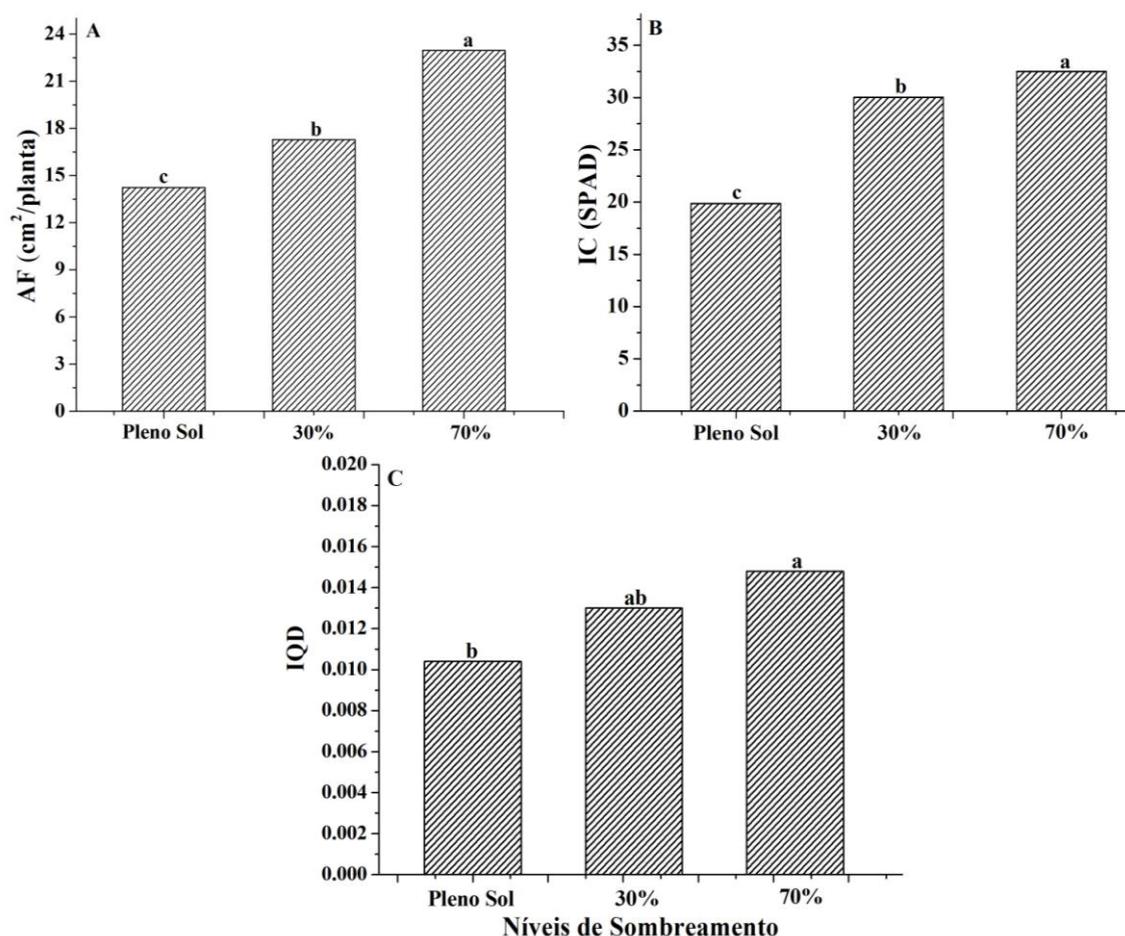
**Figura 3.** Condutância estomática -  $g_s$  (A), Concentração interna de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  (B) e Eficiência de carboxilação -  $A/C_i$  (C) de plantas de *Ormosia arborea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Dourados-MS, UFGD, 2018.

A eficiência quântica da atividade fotoquímica do PSII ( $F_v/F_m$ ) foi maior nas plantas sob 30% sombreamento (Figura 4A). A menor eficiência efetiva da conversão de energia absorvida pelo PSII ( $F_v/F_0$ ), observada nas plantas cultivadas a pleno sol e 30% de sombreamento (Figura 4B). A produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII ( $F_0/F_m$ ) foi maior nas plantas cultivadas com as maiores disponibilidades luminosas (pleno sol e 30% de sombreamento) que não variaram entre si (Figura 4C).



**Figura 4.** Eficiência quântica do fotossistema II –  $F_v/F_m$  (A), Eficiência efetiva da conversão de energia absorvida pelo fotossistema –  $F_v/F_0$  (B) e Produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no fotossistema II –  $F_0/F_m$  (C) de plantas de *Ormosia arborea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Dourados-MS, UFGD, 2018.

A área foliar (AF), o índice de clorofila (IC) e o IQD foram maiores nas plantas cultivadas a 70% de sombreamento, variáveis que reduziram com o aumento da disponibilidade de luz (Figura 5A, 5B e 5C).



**Figura 5.** Área foliar - AF (A), Índice de clorofila – IC (B) e Índice de Qualidade de Dickson - IQD (C) de plantas de *Ormosia arborea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Dourados-MS, UFGD, 2018.

## DISCUSSÃO

As diferentes disponibilidades luminosas afetaram de maneira significativa a emergência e metabolismo fotossintético de *O. arborea*.

Os melhores resultados de emergência, trocas gasosas, eficiência fotossintética do PS II e qualidade das mudas foram observados no cultivo sob sombreamento e corroboram com informações da literatura de que esta espécie é tardia ou clímax (CARVALHO, 2008), não tolerando o cultivo a pleno sol.

As menores porcentagens, velocidade, bem como elevado tempo médio de emergência a pleno sol, podem ser atribuídas ao fato de que a elevada radiação solar poder causar estresse nas sementes, provavelmente devido à maior temperatura no

substrato e menor manutenção da disponibilidade hídrica causada pela maior taxa de evaporação, dificultando assim, o processo de embebição da semente.

Outras espécies também apresentaram maior emergência de plantas sob sombreamento como por exemplo *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Shum.) que sob 50% de sombreamento apresentou 73% de plantas emergidas e os melhores resultados para IVE quando comparado à sementeira e cultivo a pleno sol (MOURA et al., 2015). Embora a porcentagem e o IVE de plântulas de *Dypterix alata* Vog. não tenham variado significativamente entre os níveis de sombreamento de 50 e 70% e a pleno sol, no cultivo sob 50% de sombreamento apresentou valores de 11% e 29% maiores de emergência e IVE, respectivamente do que quando cultivadas a pleno sol (MOTA et al., 2012).

As condições de cultivo afetaram não somente a expressão da viabilidade e vigor das sementes, como também o metabolismo e qualidade das mudas. O ambiente a pleno sol pode ter se tornando estressante às mudas de *O. arborea* devido às altas temperaturas ocorridas na época do experimento (dados não apresentados). De maneira geral, as plantas quando bem hidratadas tendem a apresentar potencial hídrico próximos a zero. Neste contexto, a maior hidratação das mudas foi observada nas plantas sob 70% de sombreamento, uma vez que o local sombreado tende a ser mais úmido, devido à menor evaporação da superfície do substrato, o que mantém os estômatos abertos por mais tempo, favorecendo maior assimilação de CO<sub>2</sub> e taxa fotossintética.

O potencial de água da folha descreve seu estado energético, e determina os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera, sendo que o crescimento celular, fotossíntese e produtividade são influenciados pelo potencial hídrico (TAIZ et al., 2017). Esse comportamento explica as maiores taxas fotossintética (*A*), transpiratória (*E*), condutância estomática(*g<sub>s</sub>*), eficiência no uso da água (*EUA*) e de carboxilação da Rubisco (*A/C<sub>i</sub>*) sob sombreamento.

A *EUA* de determinada espécie expressa a efetividade de fixar carbono enquanto a planta transpira. A maior parte da água absorvida pelas raízes é evaporada das superfícies foliares por transpiração, enquanto pequena parte permanece na planta para atender as demandas de crescimento, de fotossíntese e outros processos metabólicos (MAHOUACHI, 2009; TAIZ et al., 2017), assim as plantas em sombreamento apresentaram maiores valores para essa característica.

A resposta estomática está relacionada à dinâmica hídrica da planta, como estratégia para conservar o recurso hídrico. Outros estudos também corroboram com o estudo realizado e relatam menores valores de condutância estomática em condições de alta temperatura (que normalmente é observado no cultivo a pleno sol), o que representa maior conservação hídrica e fotoproteção, apesar do menor ganho instantâneo de carbono (MARENCO et al., 2006; DIAS e MARENCO, 2007).

Os valores de eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) inferiores a 0,75, nas mudas cultivadas a pleno sol podem indicar estresse, pois os valores de referência variam de 0,75 a 0,80 para outras espécies (BAKER e ROSENQVST, 2004). Valores muito abaixo desta margem indicam que os baixos valores de fotossíntese também estão relacionados na redução da eficiência do aparato fotossintético e não apenas ligados a condutância estomática e, conseqüentemente, a quantidade de carbono interno. Assim, segundo esses autores, uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII.

Como os valores de referência para a eficiência efetiva na conversão de energia absorvida ( $F_v/F_0$ ) em plantas encontra-se entre de 4 e 6 (ZANANDREA et al., 2006) e da produção quântica basal dos processos não fotoquímicos ( $F_0/F_m$ ) entre 0,14 e 0,20 (ROHÁCEK, 2002), valores de  $F_v/F_0$  abaixo de 4 ou de  $F_0/F_m$  aumentados demasiadamente são indicativos de estresse. Observa-se no presente estudo que as mudas de *O. arborea* apresentaram valores médios baixos para  $F_v/F_0$  e elevados para  $F_0/F_m$  que poderiam ser considerados sinais de estresse em todas as condições de cultivo avaliadas. Entretanto, deve-se considerar o estágio de desenvolvimento no qual a espécie está sendo avaliada, uma vez as demais características metabólicas e de crescimento foram satisfatórias sob cultivo sombreado.

A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta que tem sido utilizada para medir a eficiência fotossintética do fotossistema II (PSII). Embora Kaiser et al. (2016) tenha sugerido que a atividade dos fotossistemas em condições de baixa intensidade luminosa possa não ser completa, o que compromete a eficiência fotoquímica e a geração de ATP e NADPH para serem utilizados na fixação de  $CO_2$  nos processos bioquímicos, além de levar a baixas taxas fotossintéticas, esse padrão de resposta somente foi observado nas mudas de *O. arborea* cultivadas a pleno sol.

Outra explicação para as respostas das mudas a pleno sol, seria que as altas temperaturas ocorridas durante o experimento, podem ter inibido a assimilação de  $CO_2$

por reduzir o estado de ativação da Rubisco via inibição da Rubisco ativase, fechamento estomático e redução da atividade fotoquímica da fotossíntese (SILVA et al., 2015).

Os maiores valores de área foliar e índice de clorofila acompanharam os da taxa fotossintética na mesma condição de cultivo. Diante disso, a redução das características de crescimento a pleno sol pode ter ocorrido devido à diminuição na produção de fotoassimilados evidenciado pelos baixos valores de fotossíntese. Mota et al. (2012) relatam em sua revisão que as folhas de plantas que se desenvolvem sob baixa intensidade luminosa, a concentração de clorofila tende ser maior do que folhas a pleno sol com aumento da área foliar e da altura. Essas respostas atuam como mecanismos para maximizar a eficiência de captura de fótons, aumentando assim a eficiência fotossintética, comportamento este observado para *O. arborea* neste trabalho e para *Populus deltoids* (RODRIGUEZ et al., 2015). Mudanças de *Copaifera langdorffii* apresentaram boa plasticidade de crescimento sob pleno sol, 30, 50, 70 e 90% de sombreamento, entretanto, com melhor desenvolvimento e qualidade (IQD) a 50% de sombreamento (REIS et al., 2016).

Ressalta-se que maior área foliar e com maior qualidade de mudas e capacidade de realizar o metabolismo fotossintético sob sombreamento, pode garantir à espécie maior vantagem competitiva na ocupação de clareiras ou de ambientes com níveis médios de perturbação, bem como em fases mais avançadas de plantios de recuperação de florestas degradadas.

## CONCLUSÃO

As plantas de *O. arborea* emergem em maior porcentagem e em menor tempo sob sombreamento de 30 e 70%;

As mudas apresentam maior qualidade, trocas gasosas e eficiência fotossintética do PS II quando cultivadas sob 70% de sombreamento, sendo que o cultivo a pleno sol não é indicado para esta espécie.

Assim, recomenda-se a produção de mudas desta espécie sob 70% de sombreamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASAMA, K.; SÖBER, A. Stomatal sensitivities to changes in leaf water potential, air humidity, CO<sub>2</sub> concentration and light intensity, and the effect of abscisic acid on the sensitivities in six temperature deciduous tree species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 72-78, 2011.

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008. p. 211-215.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e aquariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

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

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas** (Statistical Analysis Software) e planejamento de Experimentos – SISVAR 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E., GUIMARÃES, D. G.; BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila *a* de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 89-98, 2010.

KAISER, E.; MORALES, A.; HARBINSON, J.; HEUVELINK, E.; PRINZENBERG, A. E.; MARCELIS, L. F. Metabolic and diffusional limitations of photosynthesis in fluctuating irradiance in *Arabidopsis thaliana*. **Scientific Reports**, v. 6, n. 31252, p. 1-13, 2016.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAHOUACHI, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual oil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, v. 120, n. 4, p. 466-469, 2009.

MARENCO, R. A.; SIEBKE, K.; FARQUHAR, G. D.; BALL, M. C. Hydraulically based stomatal oscillations and stomatal patchiness in *Gossypium hirsutum*. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 1103-1113, 2006.

MOTA, L. H.; SCALON, S. P. Q.; HEINZ, R. Sombreamento na emergência de plântulas e no crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 423-431, 2012.

MOURA, E. A.; CHAGAS, P. C.; MOURA, M. L. S.; SOUZA, O. M.; CHAGAS, E. A. Emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de cupuaçu cultivadas sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Revista Agroambiente On-line**, v. 9, n. 4, p. 405-413, 2015.

REIS, S. M.; MARIMON-JÚNIOR, B. H.; MORANDI, P. S., SANTOS, C. O.; OLIVEIRA, B., MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016.

RODRIGUEZ, M. E.; ACHINELLI, F. G.; LUQUEZ, V. M. C. Leaf traits related to productivity in *Populus deltoids* during the post-flooding period. **Trees**, v. 29, p. 953–960, 2015.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 01, p. 13-29, 2002.

SANTOS, P. L.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; AMARAL, L. A.; OLIVEIRA, A. S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de sementeira direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvores**, v. 36, n. 2, p. 237-245, 2012.

SEARLE, S. Y.; THOMAS, S.; GRIFFIN, K. L.; HORTON, T.; KORNFELD, A.; YAKIR, D.; HURRY, V.; TURNBULL, M. H. Leaf respiration and alternative oxidase in field-grown alpine grasses respond to natural changes in temperature and light. **New Phytologist**, v. 189, n. 4, p. 1027-1039, 2011.

SIEBENEICHLER, S. C.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; ADORIAN, G. C.; CAPELLARI, D. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. Em condições luminosas. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 467- 472, 2008.

SILVA, A. L.; DIAS, D. C. F. S.; LIMA, L. B.; MORAIS, G. A. Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. **Journal of seed science**, v. 36, n. 3, p. 318-325, 2014.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.946-952, 2015.

SOUZA, S. A.; ABREU, S. C.; SILVA, C. M.; SANTOS, J. X.; REIS, A. R. S. Desenvolvimento inicial de plântulas de tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] em diferentes níveis de intensidade luminosa. **Informativo ABRATES**, v. 23, n. 3, p. 32-36, 2013.

TAIZ, L; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [tradução: Alexandra Antunes Mastroberti et al.] ; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. – 6ª. ed. – Porto Alegre : Editora Artmed, 858 p., 2017.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARI, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n. 2, p.157-161, 2006.

## CAPÍTULO II

### **AJUSTE METABÓLICO E ANATÔMICO DE *Ormosia arborea* (Vell.) Harms COMBATEM O SINERGISMO ENTRE SOMBREAMENTO E ALAGAMENTO**

**RESUMO** - *Ormosia arborea* (Vell.) Harms é uma espécie arbórea, semidecídua, heliófita, secundária tardia e encontra-se em vias de extinção. Dessa forma tornam-se indispensáveis ações que visem sua conservação. Objetivou-se avaliar as respostas metabólicas e de qualidade de mudas de *O. arborea* em diferentes períodos de alagamento e após o alagamento do substrato sob diferentes níveis de sombreamento. Foram realizadas análises destrutivas (medidas de crescimento e análise enzimática) e não destrutivas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*). De modo geral, as plantas alagadas sobreviveram durante e após o período alagado com apresentação de características adaptativas, como as lenticelas hipertrofiadas, porém reduzindo seu potencial fotossintético e a qualidade das mudas. A atividade antioxidante se mostrou eficiente de maneira que em nenhum tratamento permitiu morte dos indivíduos ou abscisão foliar. O tratamento controle Pleno Sol (C0) demonstrou ser inapropriado para produção de mudas dessa espécie.

**Palavras-chave:** Metabolismo energético, produção de mudas, estresse hídrico

**ABSTRACT** - *Ormosia arborea* (Vell.) Harms is a tree species, semideciduous, heliophyte, late secondary and is on the verge of extinction. In this way, actions aimed at their conservation are indispensable. The objective was to evaluate the metabolic and quality responses of *O. arborea* in different periods of flooding and after flooding of the substrate under different levels of shading. Destructive analyzes were carried out (growth measures and enzymatic analysis) and no destructive (gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence). Generally, the floodplain survived during and after the flooded period with presentation of adaptive characteristics, such as hypertrophied lenticels, but reducing its photosynthetic potential and consequently the quality of the seedlings obtained. The antioxidant activity was efficient so that in no treatment was observed death of the individuals or leaf abscission. The control treatment Pleno Sol (C0) proved to be inappropriate for the production of seedlings of this species, also considering its ecological classification.

**Keywords:** Energy metabolism, seedlings production, water stress

## INTRODUÇÃO

*Ormosia arborea* (Vell.) Harms é uma espécie arbórea, semidecídua, heliófita (LORENZI, 2008) e secundária tardia (MARMONTEL et al., 2013). Existem registros de sua ocorrência natural desde a Bahia, passando por Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, até Santa Catarina, podendo se estabelecer em ambientes ripários ou em solos bem drenados (CARVALHO, 2008). Assim, tornam-se indispensáveis ações que visem sua conservação, ressaltando-se que diversos estudos sobre essa espécie, se limita a métodos para a superação da dormência física de suas sementes (SILVA e MORAIS, 2012; SILVA et al., 2014).

Muitas espécies nativas usadas em recuperação de áreas degradadas, reflorestamento e soluções ambientais são produzidas em viveiro (DELARMELINA et al., 2014). Nesse contexto, a produção de mudas dessas espécies é essencial (OLIVEIRA et al., 2016). Segundo Marques et al. (2004), esta espécie pode ser utilizada em plantios mistos destinados à recuperação de áreas degradadas de preservação permanente.

Naturalmente as plantas estão expostas a vários tipos de estressores, dentre eles, o hídrico. O excesso de água no solo provoca uma rápida diminuição nos níveis de O<sub>2</sub> disponíveis devido a baixa difusão do oxigênio na água e a aeração deficiente das raízes causa decréscimo da absorção de água pelas plantas (OLIVEIRA e GUALTIERI, 2017).

Além disso, o alagamento afeta as trocas gasosas com a redução da fotossíntese, que pode estar associada a distúrbios de processos fotoquímicos e/ou bioquímicos, sendo o fotossistema II muito sensível ao estresse hídrico (WRIGHT et al., 2009).

Quando as plantas passam por algum estresse, ocorrem alterações bioquímicas significativas (NASCIMENTO e BARRIGOSI, 2014) e tendem a apresentar aumento da produção das espécies reativas de oxigênio (ERO), que se apresentam tanto como radicais livres, como na forma molecular (BARBOSA et al., 2014). O Peróxido de Hidrogênio estimula a produção de enzimas antioxidativas e aciona moléculas para a indução de genes de defesa e a polimerização de proteínas que compõe a parede celular. Dentre as enzimas que atuam na defesa antioxidante (GILL e TUTEJA, 2010),

destacam-se a superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase (LANGARO et al., 2017).

Neste sentido, as plantas expressam várias respostas a condição de alagamento para sua sobrevivência. Assim, a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável está relacionado ao conceito de tolerância (TAIZ et al., 2017), sendo que a duração do estresse exerce grande pressão de seleção, excluindo os indivíduos que não possam manter os processos metabólicos ao longo do tempo (LIRA et al., 2013).

A capacidade de restabelecimento pós-injúrias provocadas pelo alagamento é crucial para o sucesso do estabelecimento das plantas após o período de submersão (LUO et al., 2008), pois quando retiradas do alagamento plantas intolerantes estão sujeitas a danos oxidativos severos quando em contato com o oxigênio, o que pode acarretar a morte do indivíduo (RAWYLER et al., 2002). Assim, as respostas pós-alagamento podem desempenhar um papel muito importante na distribuição e abundância das espécies em habitats inundáveis (LOPEZ e KURSAR, 2003). Por outro lado, apesar dos estudos sobre a tolerância ao alagamento terem progredido muito, inclusive em nível molecular, pouco se sabe sobre o estresse pós-alagamento (VOESENEK et al., 2016).

Além da água, a luminosidade é um fator importante que influencia o crescimento e o desenvolvimento vegetal, sendo fonte primária de energia relacionada à fotossíntese e a fenômenos morfogênicos (NETO et al., 2013). Para a produção de mudas de qualidade é fundamental o conhecimento ecofisiológico da fase inicial das espécies (SOUZA et al., 2013) e o sombreamento artificial pode ter efeito positivo na taxa de crescimento e qualidade da muda, variando as respostas de acordo com a classe ecológica (CARON et al., 2010).

Considerando a classificação sucessional de *O. arborea*, acredita-se que a espécie apresente metabolismo e crescimento normal sob alagamento porém não toleram alta disponibilidade luminosa. Dessa forma, objetivou-se avaliar as respostas metabólicas e de qualidade de mudas de *O. arborea* em diferentes períodos de alagamento e após o alagamento do substrato sob diferentes níveis de sombreamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de *O. arborea* foram coletadas de frutos abertos com as sementes expostas como recomendado por Silva et al. (2014), a partir de matrizes distribuídas à margem do rio Ivinhema, no município de Nova Andradina/MS (22 03' 04,5" S; 53° 41' 28,2" W). Em seguida foram selecionadas quanto à integridade, uniformidade e coloração.

O trabalho foi realizado no Viveiro de Plantas da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados – MS, durante os meses de março a agosto de 2017. Utilizou-se mudas de *O. arborea* com 90 dias de emergência.

Devido à dormência tegumentar, em dezembro/2016, as sementes foram escarificadas por 15 minutos com ácido sulfúrico concentrado (98% p.a.) e lavadas em água corrente por 5 minutos (SILVA et al., 2014). Posteriormente foram semeadas em tubetes 50 x 190 mm (CARVALHO, 2008), na profundidade de um centímetro, utilizando como substrato Latossolo Vermelho distroférrico (peneirado), areia grossa e substrato agrícola Bioplant<sup>®</sup> na proporção de 1:1:1.

O substrato utilizado para o preenchimento dos vasos com capacidade para 6 litros foi o mesmo utilizado na semeadura em tubetes. O experimento foi conduzido em viveiros sob sombreamento de 30% e 70% e também em condição não sombreada (Pleno Sol) sendo os tratamentos denominados da seguinte forma: Alagado pleno sol (A0), Alagado 30% (A30), Alagado 70% (A70), Controle pleno sol (C0), Controle 30% (C30) e Controle 70% (C70).

Para simular o alagamento, os vasos com as mudas foram acomodados em piscinas plásticas e submersos com lâmina d'água a uma altura de 2,0 cm acima do nível do substrato e, a cada 20 dias (0, 20, 40, 60 e 80 dias) as mudas foram retiradas da condição de alagamento para drenagem da água e avaliadas 90 (noventa) dias após cada retirada (pós-alagamento). Durante o tempo de pós-alagamento, a irrigação foi realizada diariamente, de forma a manter 70% da capacidade de retenção de água no substrato. As mudas não alagadas foram consideradas controle e mantidas durante todo o período sob 70% da capacidade de retenção de água (CRA).

As características avaliadas foram:

Potencial hídrico das folhas ( $\Psi_w$ ): obtido a partir de leituras realizadas em folhas individuais pertencentes ao segundo par de folhas totalmente expandidas do ápice para a base, entre 10 e 11 horas da manhã, usando uma câmara de pressão (Portable Plant Water Status Console - modelo 3115), imediatamente após a coleta das folhas;

Índice de clorofila : utilizando um clorofilômetro portátil marca Konica Minolta, modelo SPAD 502);

Eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II ( $F_v/F_0$ ) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II ( $F_0/F_m$ ) obtidas a partir de dados de fluorescência da clorofila *a* mensurados com o auxílio do fluorímetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA);

Trocas gasosas: taxas fotossintética ( $A$ ) e transpiratória ( $E$ ); condutância estomática ( $g_s$ ); gás carbônico interno ( $C_i$ ); e as relações eficiência do uso da água – EUA ( $A/E$ ); eficiência da carboxilação da rubisco ( $A/C_i$ ) e eficiência intrínseca do uso da água – EIUA ( $A/g_s$ ) utilizando-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCi PRO (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas em quatro mudas por tratamento no período da manhã, entre 8 e 11 horas da manhã, em folhas completamente expandidas e previamente marcadas, de modo que todas as medições fossem sempre realizadas nas mesmas folhas;

Área foliar ( $AF$ ) mensurada com o integrador de área foliar LI-COR<sup>®</sup> modelo LI 3100;

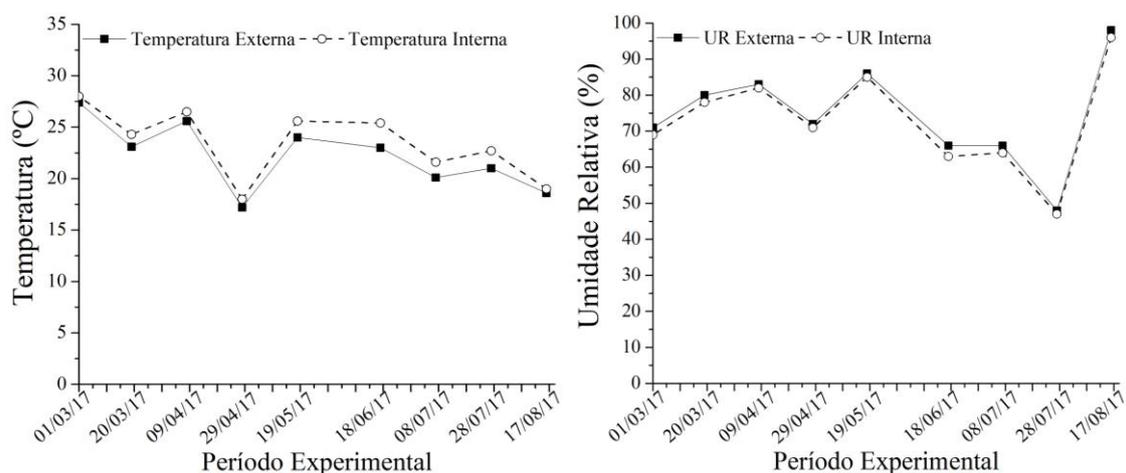
Índice de qualidade de Dickson obtido segundo a equação :  $IQD = \text{Massa seca total} / (\text{Altura/Diâmetro} + \text{massa seca da parte aérea/massa seca de raiz})$  (DICKSON et al., 1960);

Atividade das enzimas antioxidativas superóxido dismutase, catalase e peroxidase nos tecidos vegetais das folhas e raízes, segundo a metodologia descrita por Broetto (2014);

Avaliações anatômicas das folhas: As secções paradérmicas foram preparadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, com impressões em cola Super Bonder<sup>®</sup> de amostras da região mediana do limbo na face adaxial e abaxial. Foram determinados: diâmetro polar ( $\mu\text{m}$ ) e diâmetro equatorial dos estômatos ( $\mu\text{m}$ ), abertura ostiolar ( $\mu\text{m}$ ) e o índice estomático (IE%) que foi calculado por meio da fórmula proposta por Salisbury (1927):  $IE = [NE / (CE + NE)] \times 100$ , sendo (NE) o número de estômatos e (CE) o número

de células da epiderme. Foram avaliadas visualmente a presença/ausência de lenticelas hipertrofiadas ao longo do período experimental.

Os dados de temperatura e umidade relativa médias durante o período experimental foram obtidos externamente da Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados – MS e internamente (média dos viveiros) com auxílio de um termohigrógrafo digital Incoterm (Figura 1).



**Figura 1.** Temperatura e umidade relativa média durante o período de condução experimental. Dourados-MS, UFGD, 2018.

#### Delineamento estatístico e análise dos dados

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para o alagamento das mudas o esquema fatorial foi de 2 regimes hídricos (Controle e Alagado) x 5 períodos de alagamento (0, 20, 40, 60, 80 dias) x 3 níveis de sombreamento (Pleno Sol, 30% e 70%) com 5 repetições de 10 mudas cada.

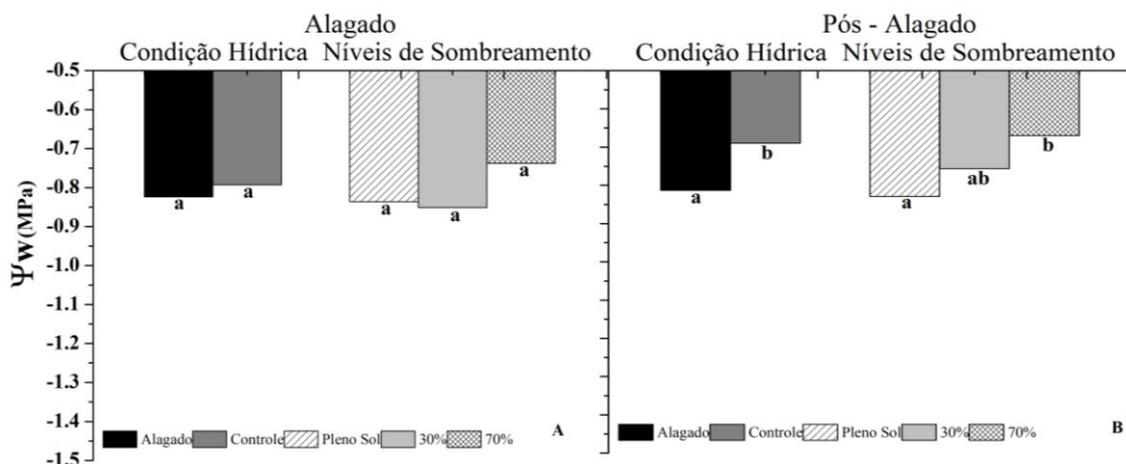
Para o período de restabelecimento pós-alagamento, o esquema fatorial foi de 2 regimes hídricos (Controle e alagamento) x 4 períodos de restabelecimento (20, 40, 60 e 80 dias de alagamento + 90 dias pós-alagamento para cada período) x 3 níveis de sombreamento (Pleno Sol, 30% e 70%), com 4 repetições de 5 mudas cada.

Para análise dos resultados foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010) e submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e havendo efeito estatisticamente significativo as médias referentes aos regimes hídricos foram submetidas ao teste *t*, médias dos níveis de sombreamento submetidas ao teste de Tukey e os períodos de alagamento, pós-alagamento e sua interação com os regimes hídricos e de sombreamentos foram ajustadas por equações de regressão ( $P > 0,05$ ).

## RESULTADOS

Houve interação tripla significativa ( $p < 0,05$ ) entre período de alagamento, tempo de recuperação e diferentes níveis de sombreamento para a maioria das características avaliadas, exceto para potencial hídrico e transpiração durante o alagamento e  $A$ ,  $C_i$ ,  $F_0/F_m$ ,  $F_v/F_m$  e  $AF$  para o período de pós-alagamento.

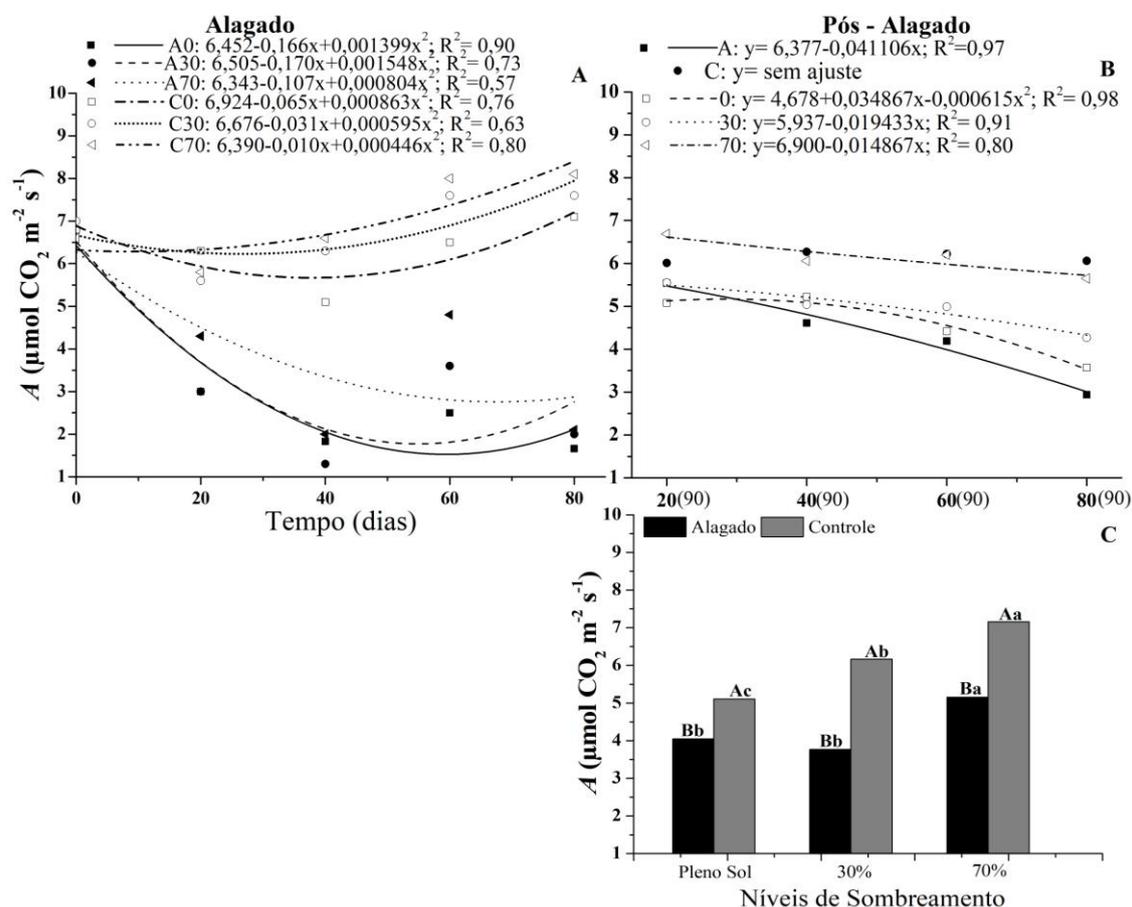
O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) (Figura 2), não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) durante o alagamento independente da condição hídrica e os níveis de sombreamento (Figura 2A), entretanto para o período de pós-alagamento as mudas que foram alagadas e que permaneceram em condição de pleno sol apresentaram valores mais negativos (-0,8 MPa), indicando que estas mudas estavam menos hidratadas que as demais (Figura 2B).



**Figura 2.** Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) das folhas de *O. arborea* em função da condição hídrica e dos níveis de sombreamento durante o período de alagamento (A) e de pós-alagamento (B). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ).

A fotossíntese das mudas alagadas foi menor quando comparadas aos valores das mudas controle, independente do nível de sombreamento. Entretanto, observa-se que a partir dos 60 dias de alagamento começa a haver um leve aumento nos valores dessa característica, sugerindo um ajuste do aparato fotossintético (Figura 3A). Os tratamentos que apresentaram menores e maiores valores de fotossíntese durante o período alagado foram A0 e C70 com média de  $3,15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $7,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. A condição A70, foi a que apresentou melhores valores dentro os tratamento alagados. Durante o pós-alagamento pode ser observado que, embora tenham

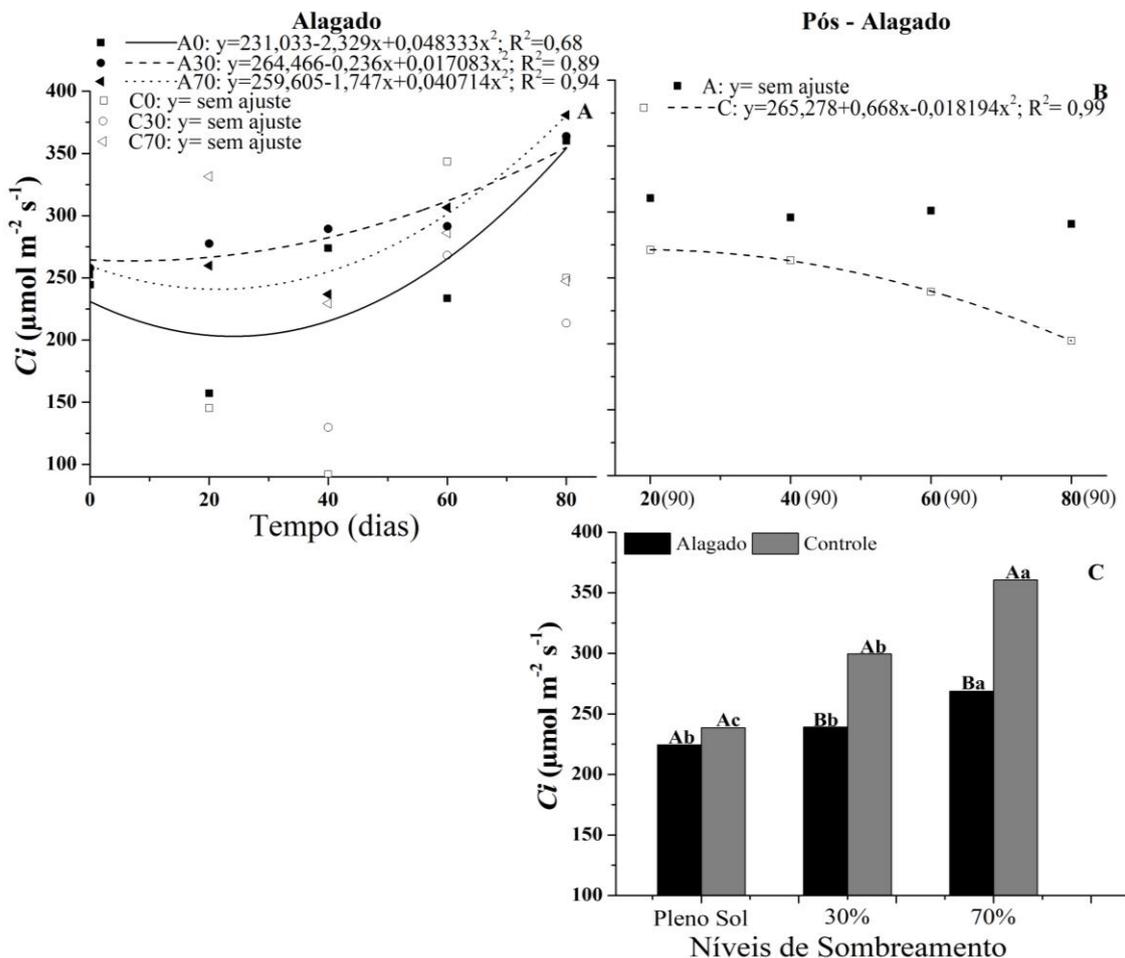
se recuperado em relação ao último período de avaliação, os valores das taxas fotossintéticas das plantas alagadas não recuperaram quando comparados aos valores das plantas controle (Figuras 3B e C).



**Figura 3.** Fotossíntese (A) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e do período de pós-alagamento (B e C). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p>0,05$ ). Letras maiúsculas comparam as médias de condição hídrica dentro de cada nível de sombreamento e letras minúsculas comparam as médias de condição hídrica entre os níveis de sombreamento.

A concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) não apresentou ajuste entre os tratamentos Controle, mas pode-se observar maiores valores nas mudas alagadas, principalmente sob 70% de sombreamento (Figura 4A). Corroborando com os resultados da fotossíntese, a partir dos 60 dias de alagamento também observa-se um aumento dos valores, porém tais valores não podem ser observados no período de pós-alagamento, mesmo que esse tratamento tenha apresentado melhores valores nesse período (Figura 4B e C). Possivelmente, longos períodos (80 dias) sob alagamento não permitem que as

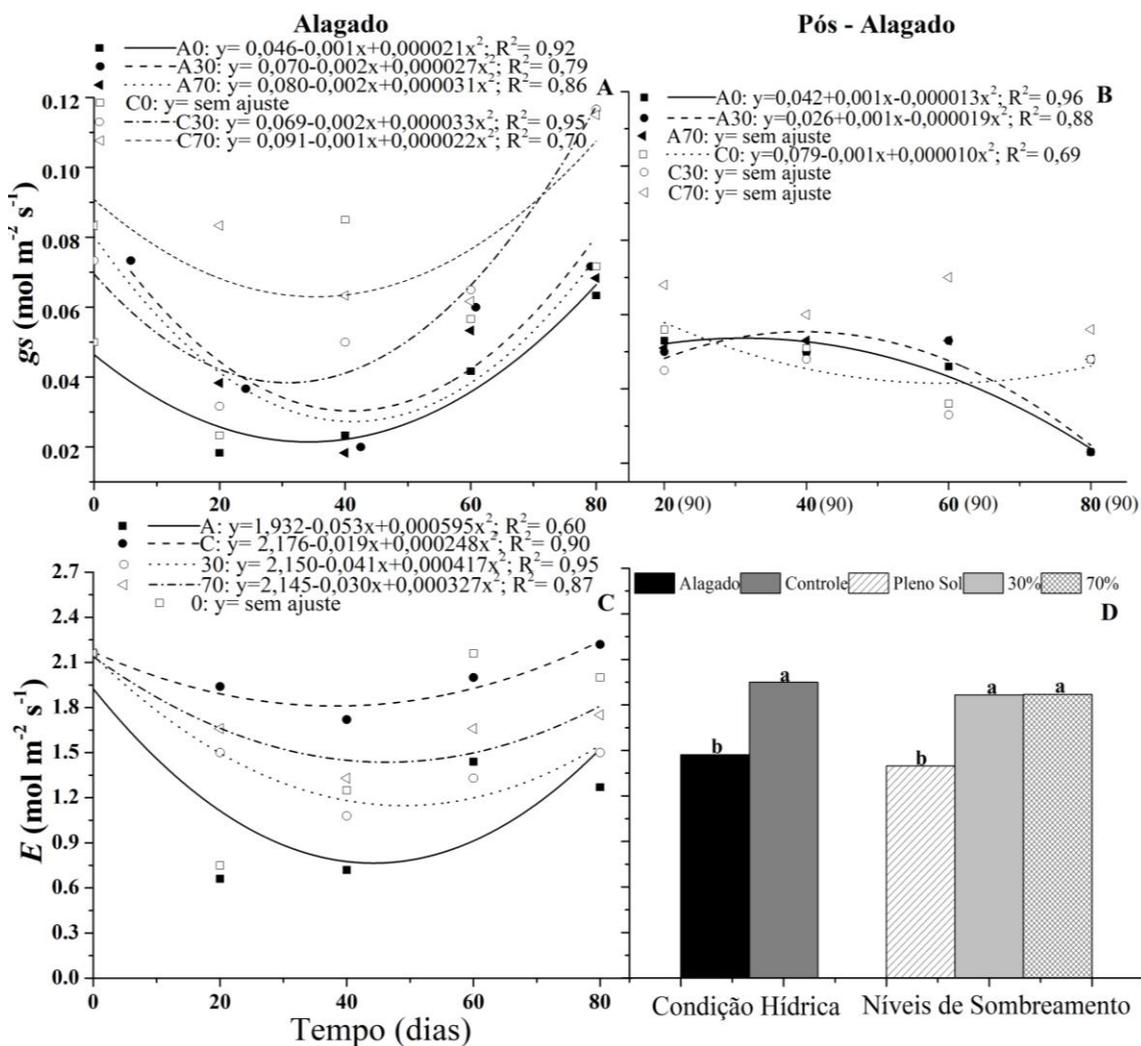
mudas recuperem integralmente sua capacidade fisiológica, quando comparadas as mudas controle.



**Figura 4.** Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e pós-alagamento (B e C). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p>0,05$ ). Letras maiúsculas comparam as médias de condição hídrica dentro de cada nível de sombreamento e letras minúsculas comparam as médias de condição hídrica entre os níveis de sombreamento.

Valores crescentes para  $g_s$  foram observados em todos os tratamentos a partir dos 40 dias de alagamento, sendo menores nas mudas alagadas, especialmente quando cultivadas a pleno sol (A0) (Figura 5A). No pós-alagamento os valores das mudas controle a pleno sol (C0) são próximos aos tratamentos alagados até os 60 dias (Figura 5B), sugerindo que o excesso de luz na condição de pleno sol foi prejudicial para o desenvolvimento inicial das mudas de *O. arborea* mesmo em condições normais de irrigação.

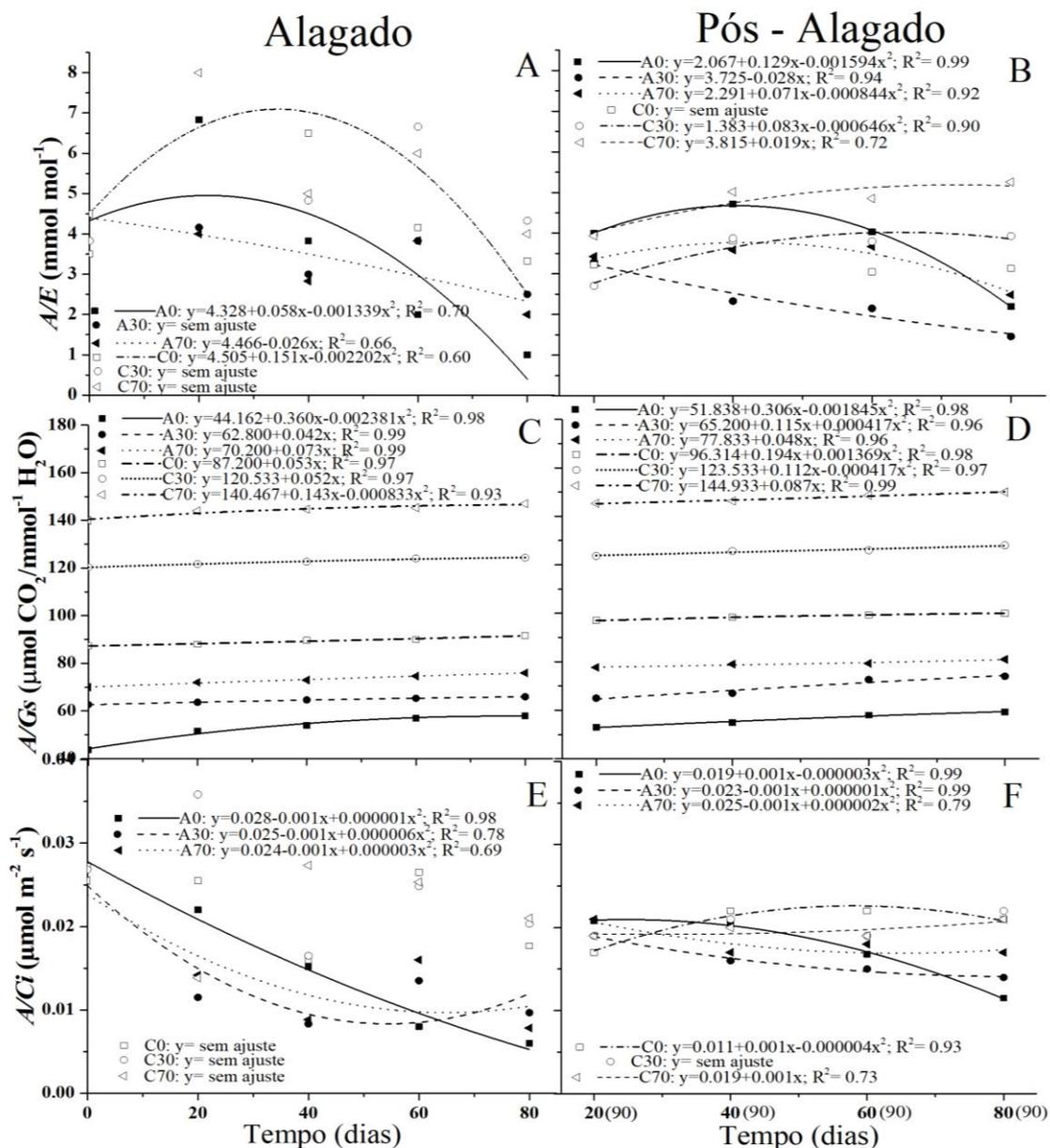
Para transpiração foliar ( $E$ ), houve um aumento desta característica a partir dos 40 dias de alagamento (Figura 5C) e os tratamentos alagados e a condição pleno sol apresentaram os menores resultados no período de pós-alagamento (Figura 5D).



**Figura 5.** Condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração foliar ( $E$ ) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e do pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ).

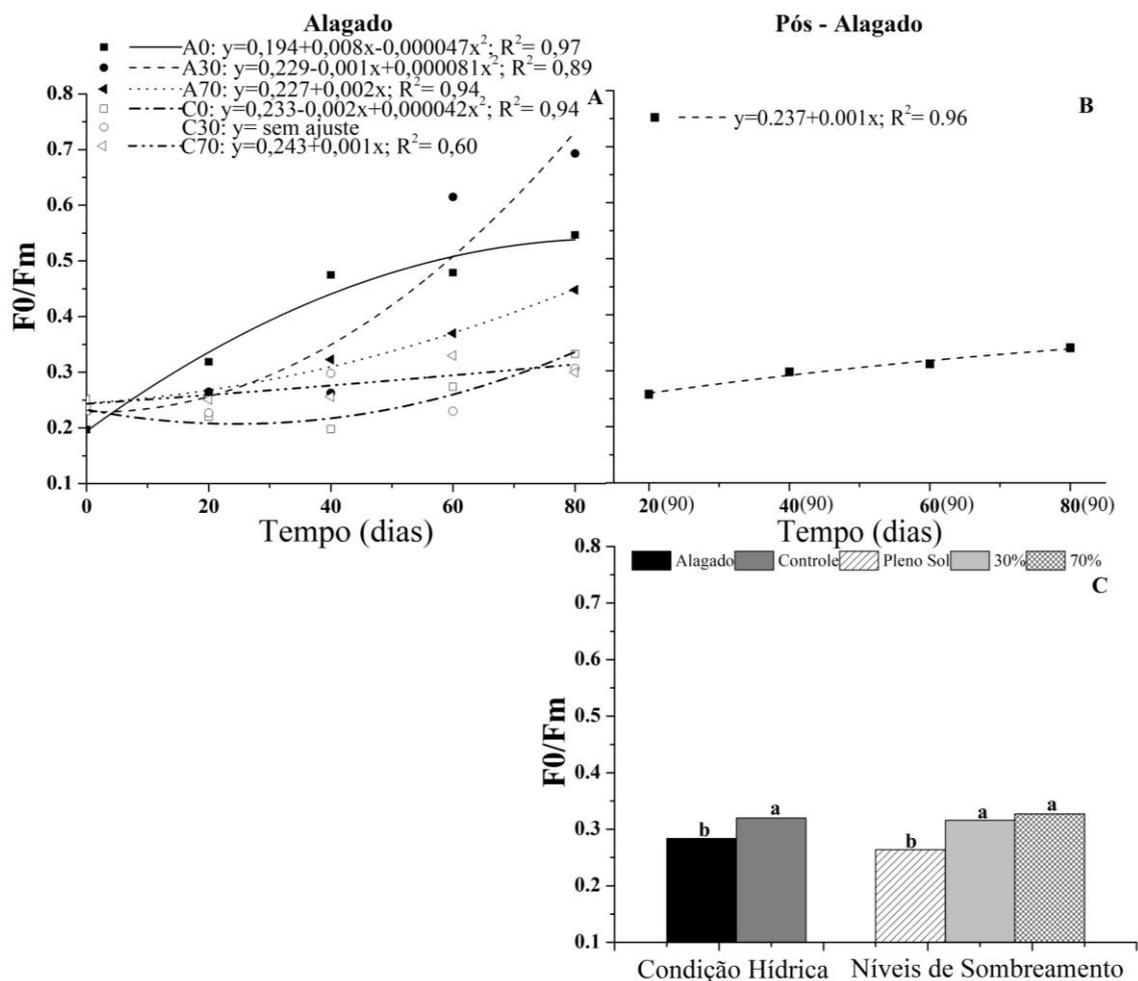
De modo geral, os valores de  $A/E$  corroboram as características já apresentadas e percebe-se que a partir dos 40 dias há uma tendência de queda nos valores nas mudas dos tratamentos alagados, assim como no tratamento C0, tanto na condição alagada quanto no pós-alagamento (Figuras 6A e B).

A eficiência intrínseca no uso da água ( $A/g_s$ ) apresentou baixos valores nas mudas alagadas independente do sombreamento com baixas variações ao longo do tempo no mesmo tratamento, assim como também nas mudas controle a pleno sol (C0) que apresentaram valores próximos aos alagados, sendo que tais valores apresentaram-se com pequenas variações no período de recuperação (Figura 6C e D). O alagamento interfere na carboxilação da enzima Rubisco ( $A/C_i$ ) (Figura 6E e F), especialmente nas mudas cultivadas a pleno sol (A0), que diferente dos demais tratamentos, não inicia uma fase de recuperação após 60 dias, permanecendo em queda na fase pós-alagamento.



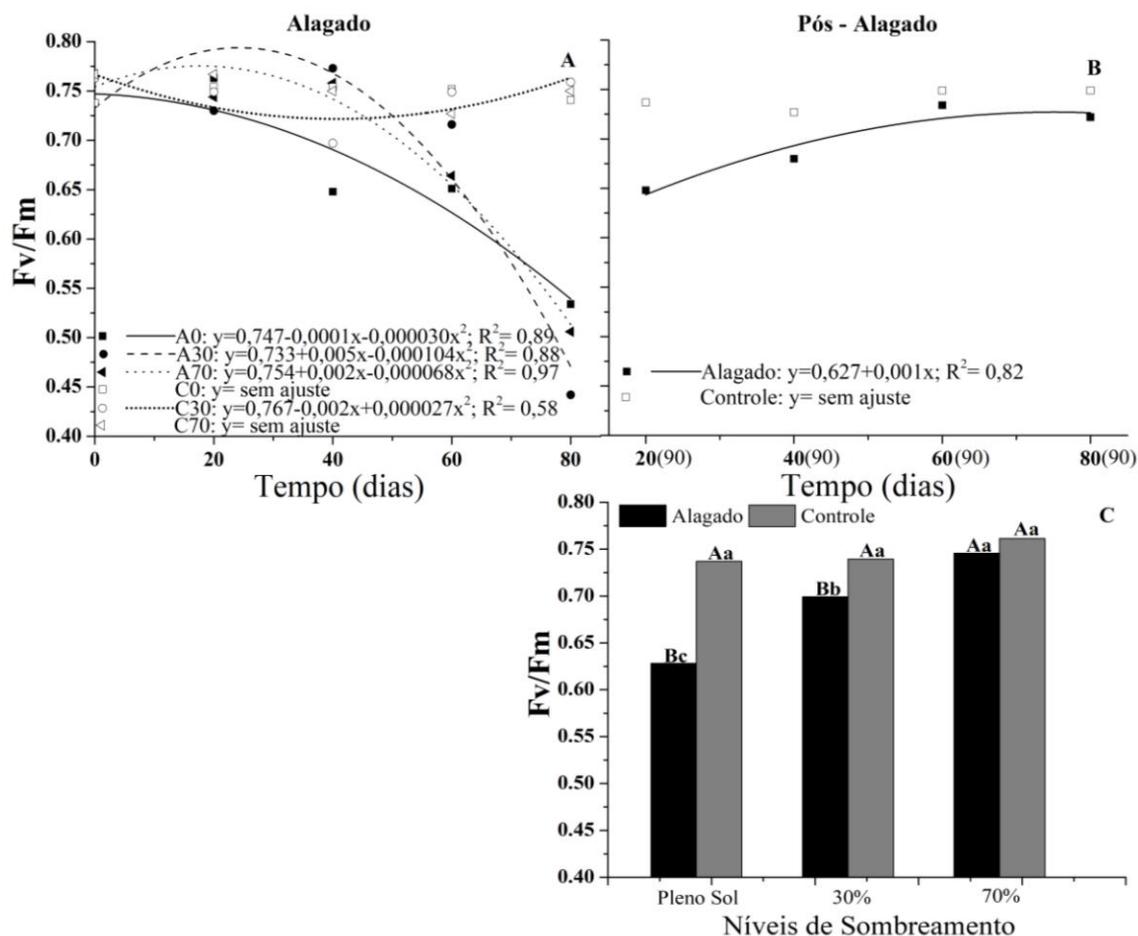
**Figura 6.** Eficiência no uso da água ( $A/E$ ), eficiência intrínseca no uso da água ( $A/g_s$ ) e eficiência de carboxilação da Rubisco ( $A/C_i$ ) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A, C e E) e período de pós-alagamento (B, D e F). Dourados-MS, UFGD, 2018.

Com relação à fluorescência da clorofila *a*, a produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II ( $F_0/F_m$ ), de modo geral, ocorre um aumento nos valores dos tratamentos alagados (Figura 7A), seguida por uma redução considerável dos valores após o alagamento (Figura 7B e C).



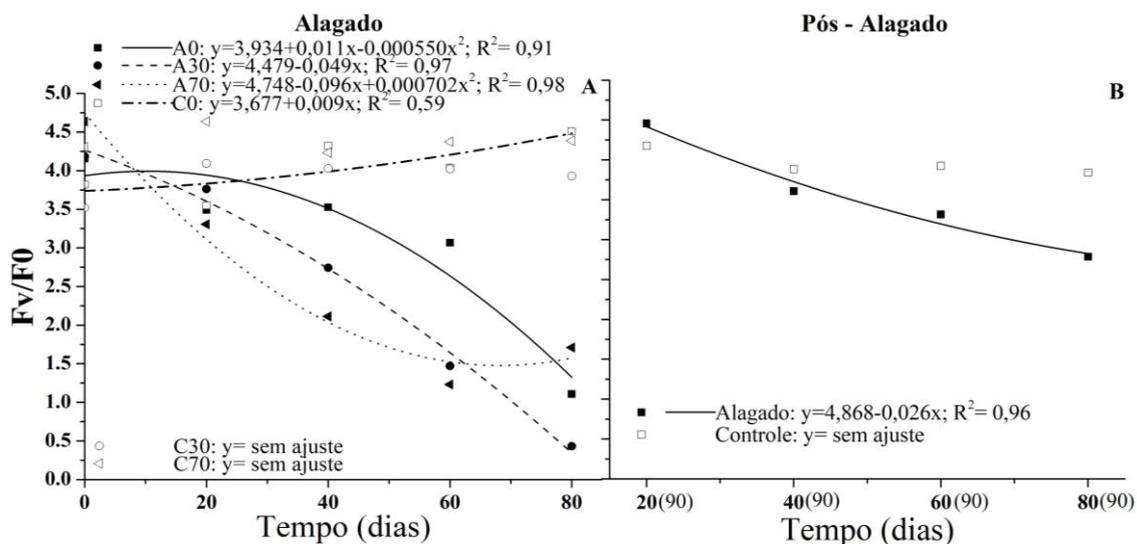
**Figura 7.** Produção quântica basal dos processos não fotoquímicos do fotossistema II ( $F_0/F_m$ ) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e período de pós-alagamento (B e C). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p>0,05$ ).

A característica eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) apresentou os menores valores nos tratamentos alagados (Figura 8A). Ao se observar o comportamento no período pós-alagamento (Figura 8B e C) é possível perceber que, embora o tratamento A70 tenha obtido valores muito abaixo do ideal, as plantas que foram alagadas apresentaram valores iguais aos das plantas controle nesse sombreamento.



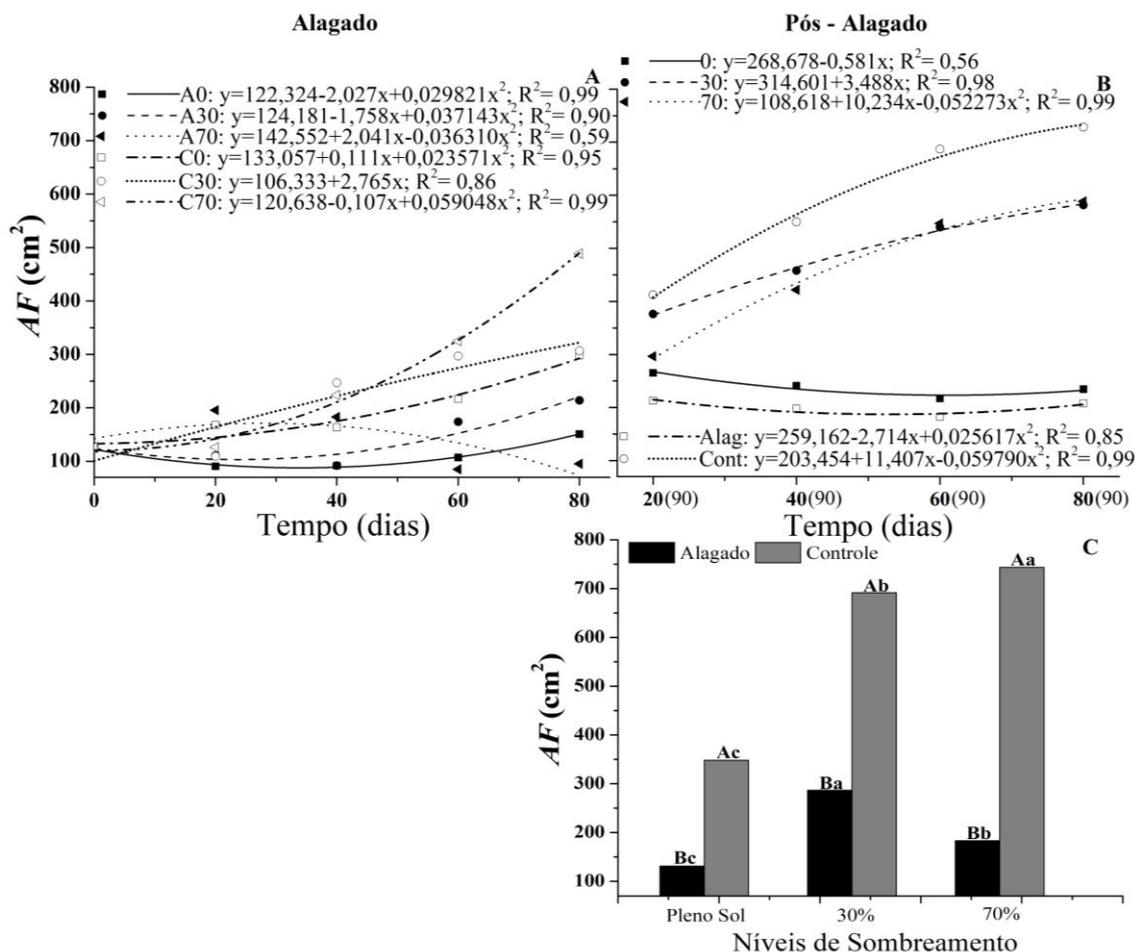
**Figura 8.** Eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e período de pós-alagamento (B e C). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p>0,05$ ). Letras maiúsculas comparam as médias de condição hídrica dentro de cada nível de sombreamento e letras minúsculas comparam as médias de condição hídrica entre os níveis de sombreamento.

Seguindo a mesma tendência, a eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II ( $F_v/F_0$ ) também apresentou os menores resultados para os tratamentos alagados (Figura 9A) e da mesma forma, foi observado uma considerável recuperação dos valores após o alagamento (Figura 9B).



**Figura 9.** Eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II ( $F_v/F_0$ ), em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e período de pós-alagamento (B). Dourados-MS, UFGD, 2018.

A área foliar das mudas diminuiu em todos os tratamentos alagados além disso sob o tratamento C0 também apresentou valores próximos aos alagados, sendo este mais um indício que esse condição não é ideal para o desenvolvimento dessa espécie (Figura 10A). Nesse sentido, os valores observados no período de pós-alagamento, mostram que sob a condição pleno sol, os valores foram baixos semelhante aos tratamentos alagados (Figura 10B e C).

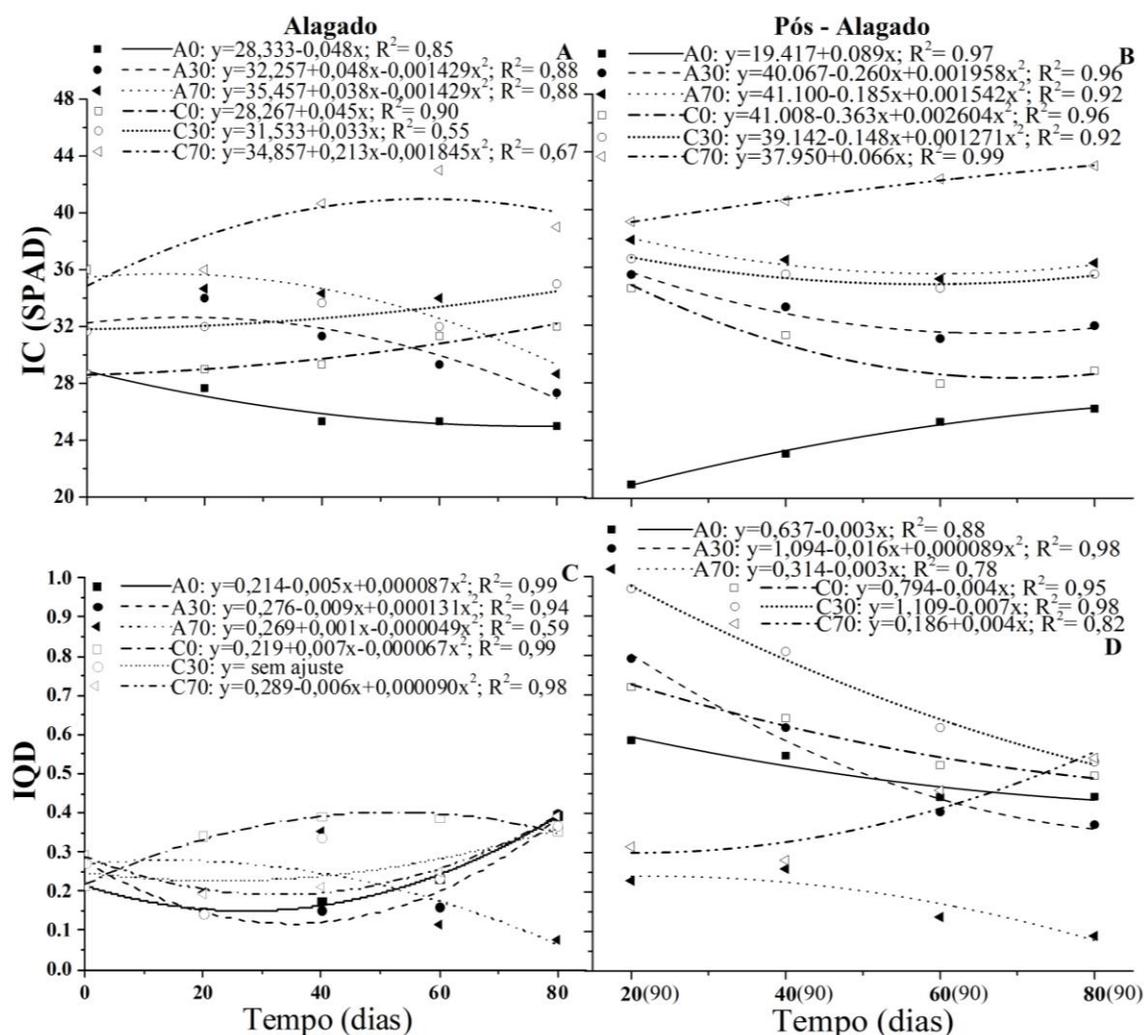


**Figura 10.** Área foliar (AF) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A) e pós-alagamento (B e C). Dourados-MS, UFGD, 2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ( $p>0,05$ ). Letras maiúsculas comparam as médias de condição hídrica dentro de cada nível de sombreamento e letras minúsculas comparam as médias de condição hídrica entre os níveis de sombreamento.

O Índice de Clorofila (IC) reduziu a partir dos 40 dias para as mudas alagadas, sendo que novamente as mudas do tratamento C0 apresentaram valores próximos aos alagados (Figura 11A). No pós-alagamento A0 e C0 apresentaram os menores valores para IC (Figura 11B).

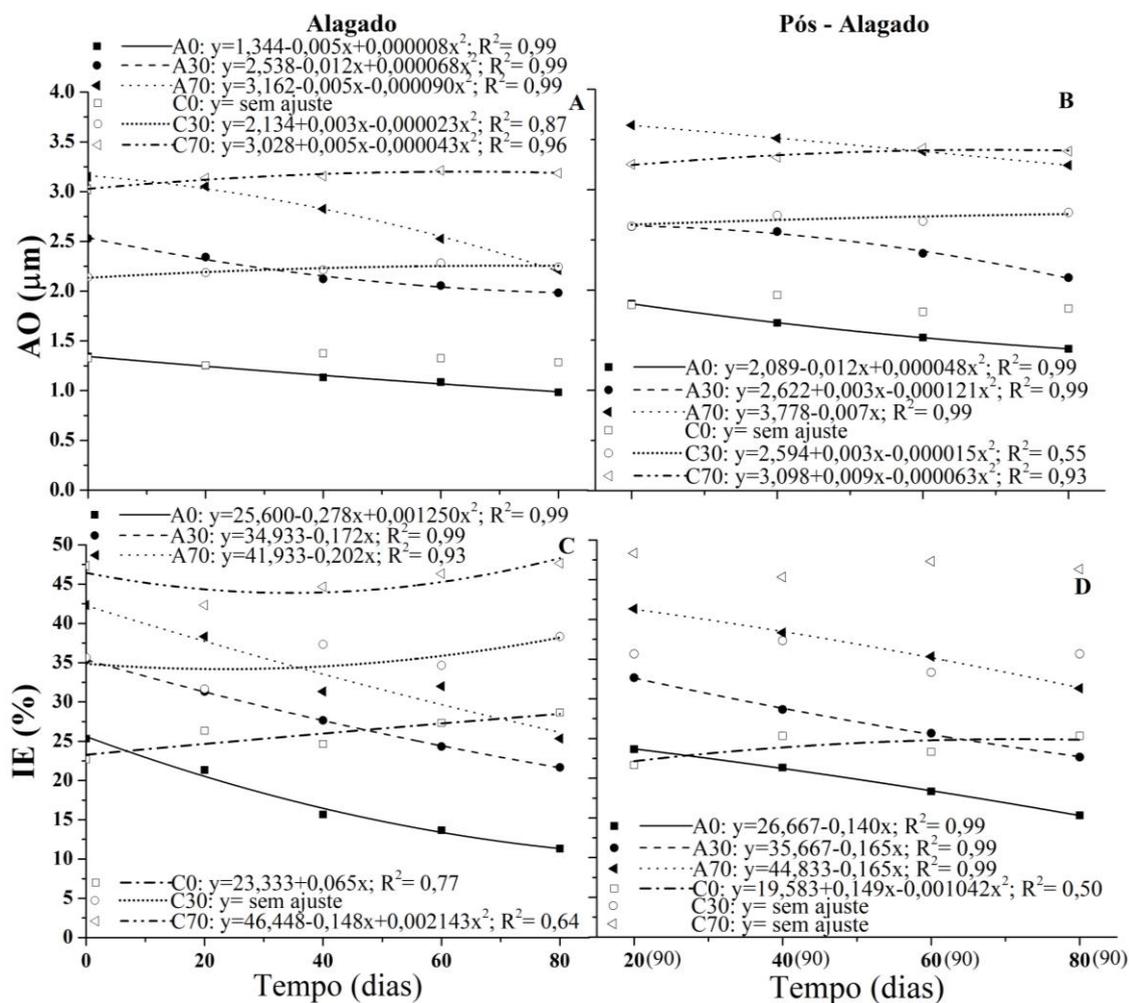
Ressalta-se que para a maioria das características avaliadas as mudas do tratamento A70 são as que melhor se recuperam entre os tratamentos alagados assim como as do tratamento C70 dentro dos controles. Porém ao analisarmos os dados do IQD (Figura 11C), pode-se perceber que as mudas cultivadas sob alagamento a 70% de sombreamento (A70) apresentaram o mais baixo IQD após 60 dias de alagamento, não sendo observada recuperação dessas mudas (Figura 11D). Para os demais tratamentos,

tanto os alagados quanto os controles apresentaram resultados similares de qualidade ao final do período de alagamento e ao final do período de pós-alagamento.



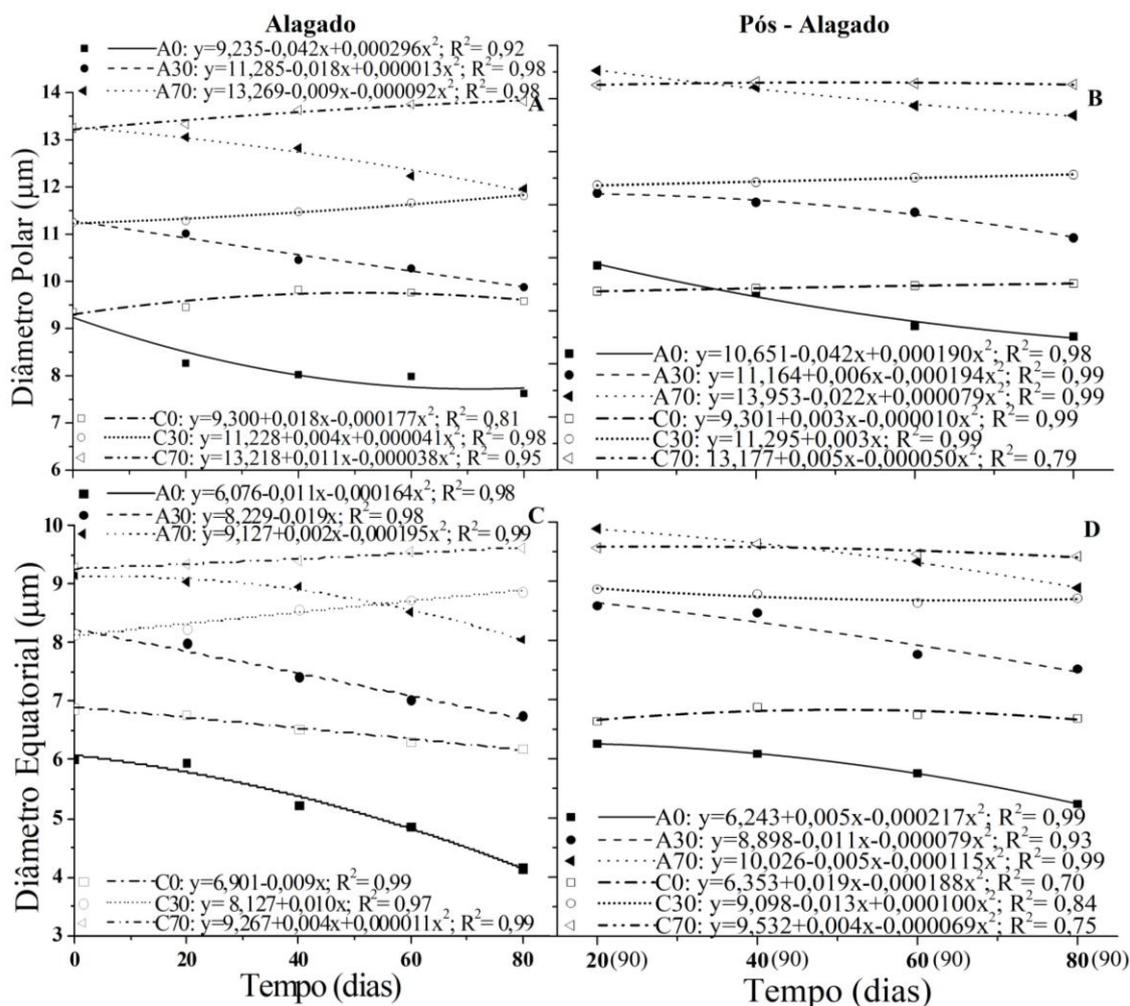
**Figura 11.** Índice de clorofila (SPAD) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

Com relação às características estomáticas, pode-se perceber que tanto a abertura do ostíolo (AO) (Figura 12A) quanto o Índice estomático (IE) (Figura 12C) apresentaram os maiores valores na condição C70 e os menores na condição A0 seja na condição de alagamento quanto no pós-alagamento (Figura 12B e D).



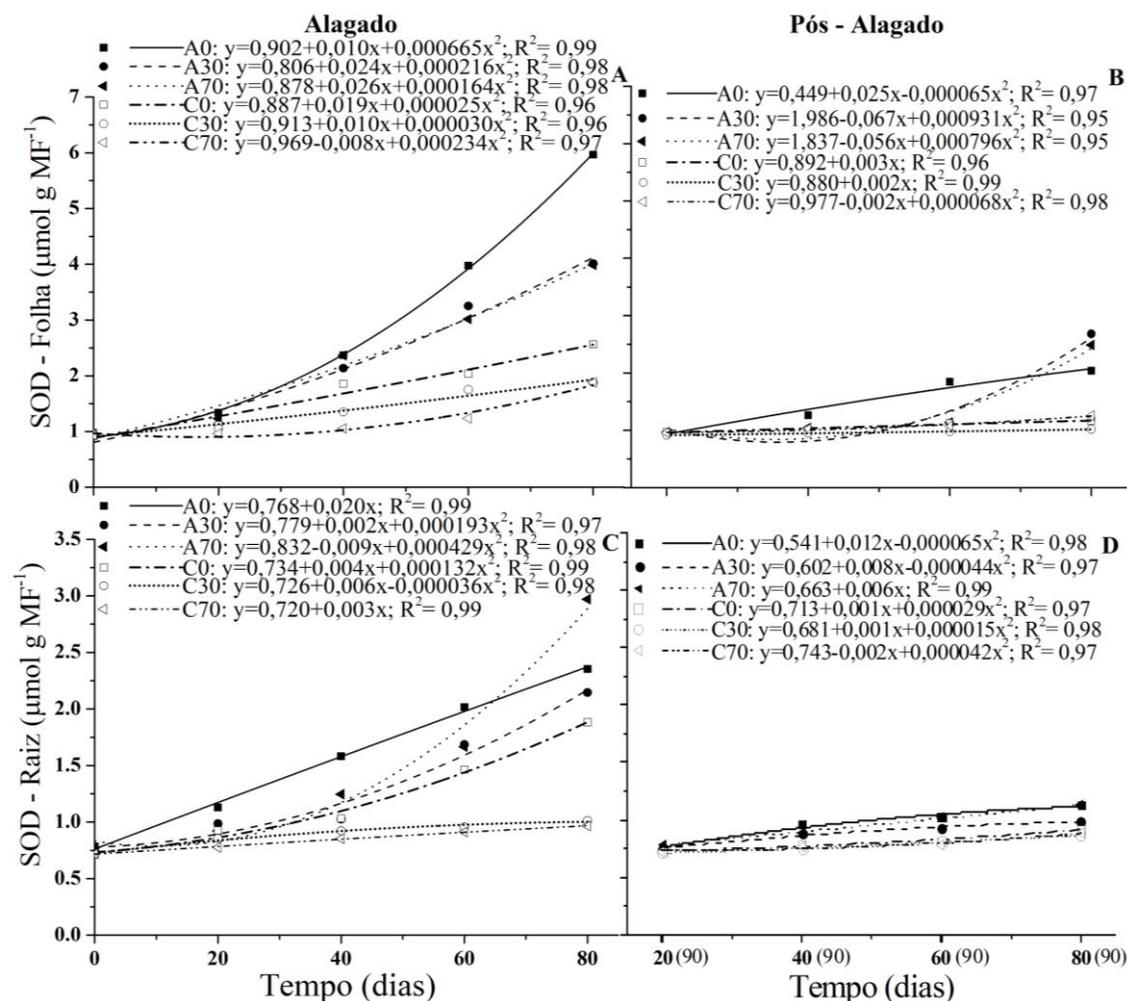
**Figura 12.** Abertura do ostíolo (AO) e Índice Estomático (IE) em folhas de *O. arborea* em função do período de alongamento (A e C) e de pós-alongamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

Seguindo as tendências de AO e IE, observou-se que os diâmetros polar e equatorial também apresentaram maiores valores para C70 e menores para A0 durante o período alongado (Figura 13A e C) e durante o pós-alongamento (Figura 13B e D).



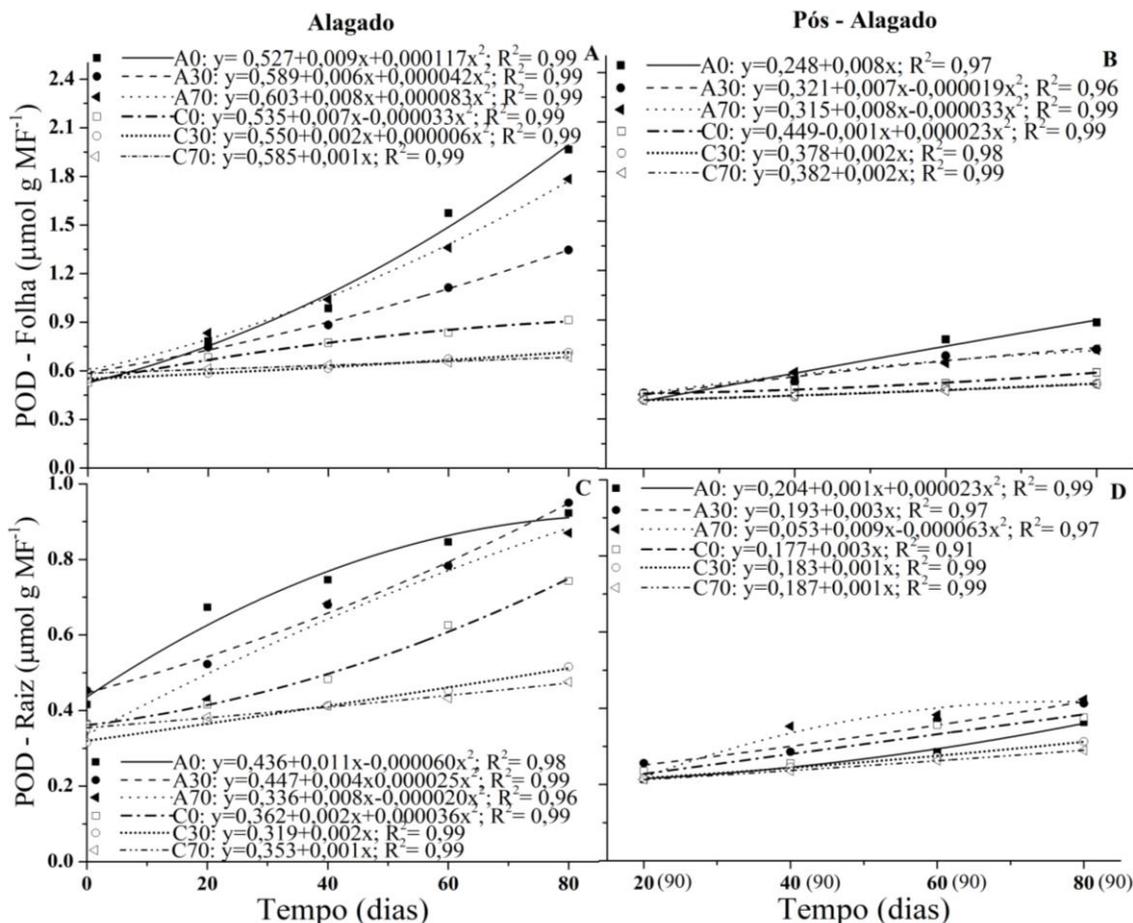
**Figura 13.** Diâmetro polar e diâmetro equatorial de estômatos em folhas de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

Na atividade antioxidante de *O. arborea*, pode-se observar que os tratamentos alagados possibilitaram maior atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) nas folhas dos tratamentos alagados (Figura 14A), em relação às raízes (Figura 14C). Durante o alagamento, o tratamento A0 possibilitou maior atividade nas folhas e o tratamento A70 nas raízes. É notável perceber que ao ser retirado a condição de alagamento, a atividade dessa enzima praticamente se igualou ao controle nas raízes (Figura 14D) e nas folhas diminuiu consideravelmente (Figura 14B), mostrando que a atividade dessa enzima nesta espécie é aumentada quando há uma condição estressante, como é o caso do alagamento e também de altos níveis de radiação.



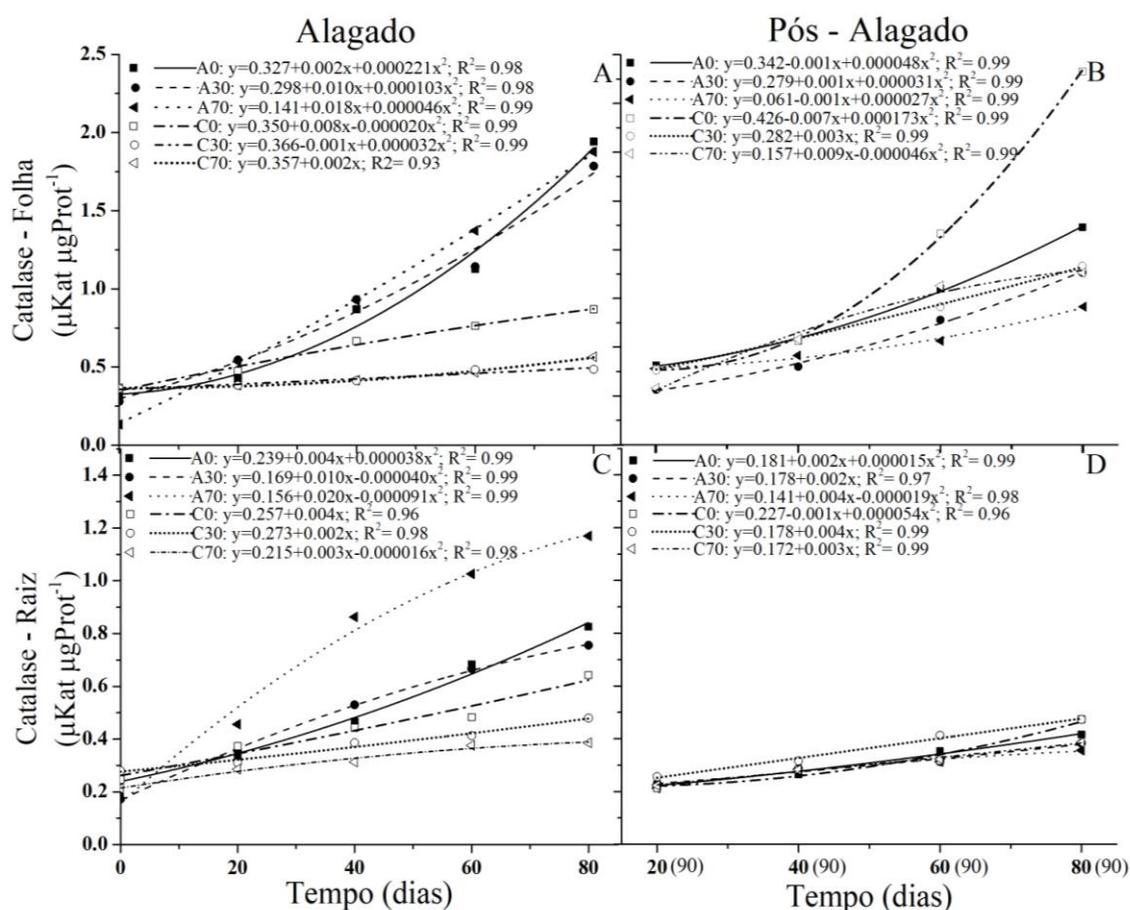
**Figura 14.** Atividade enzimática de Superóxido dismutase (SOD) em folhas e raízes de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

A atividade da enzima peroxidase apresentou comportamento semelhante ao da SOD, evidenciando alta atividade nas folhas (Figura 15A) em relação às raízes (Figura 15C), sendo que durante o período após o alagamento a atividade praticamente se igualou ao controle tanto nas folhas (Figura 15B) quanto nas raízes (Figura 15D). Tendo destaque na elevada atividade dessa enzima no tratamento A0 dentro das alagadas e C0 dentro dos controles.



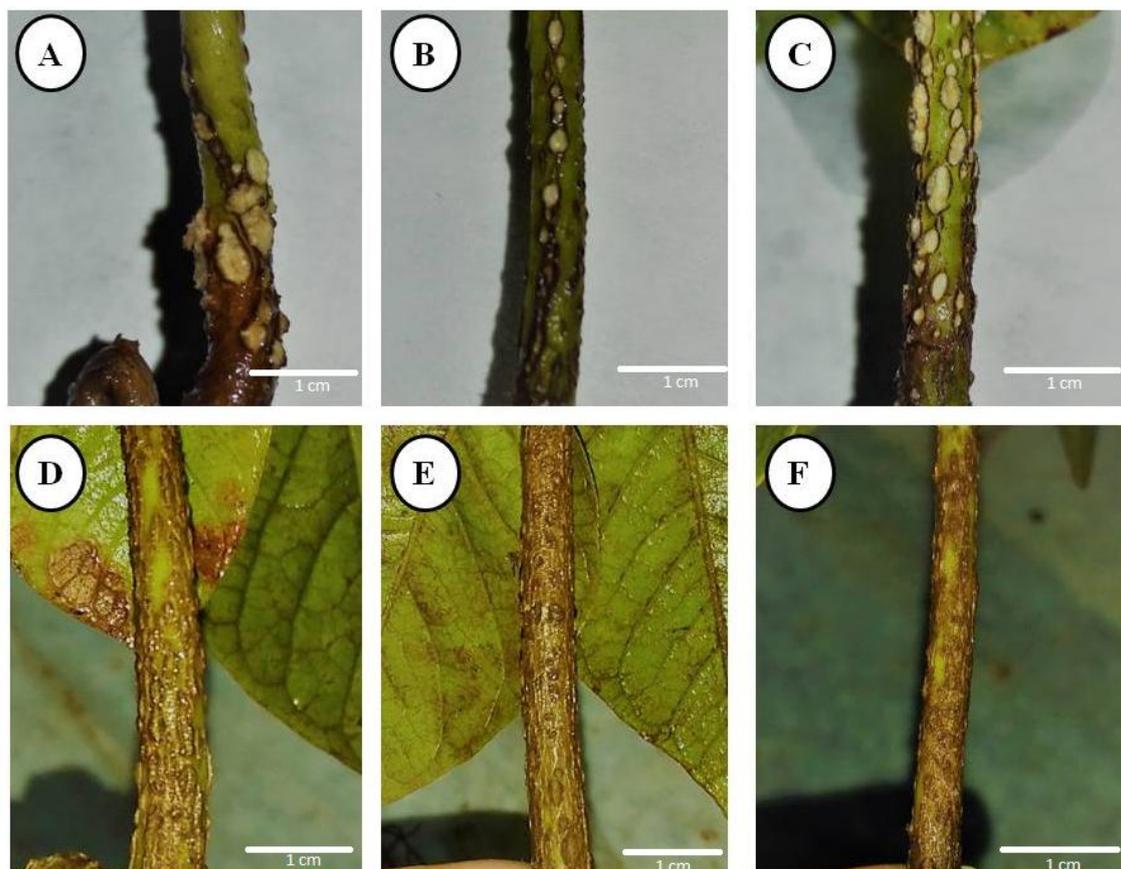
**Figura 15.** Atividade enzimática de Peroxidase (POD) em folhas e raízes de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

Com relação à enzima catalase, a atividade nas folhas e raízes são semelhantes. A produção foi maior nos tratamentos alagados, especialmente no A70, e no C0 (Figura 16A e C). Ressalta-se que a produção dessa enzima foi baixa mas contínua nas folhas de todos os tratamentos durante a recuperação (Figura 16B), entretanto houve destaque para o tratamento C0, o qual obteve valores muito acima inclusive das plantas durante o período de alagamento. Já nas raízes a produção da enzima foi baixa para todos tratamentos (Figura 16D).



**Figura 16.** Atividade enzimática de Catalase (CAT) em folhas e raízes de *O. arborea* em função do período de alagamento (A e C) e pós-alagamento (B e D). Dourados-MS, UFGD, 2018.

As lenticelas hipertrofiadas foram observadas a partir dos 5 dias de experimento permanecendo até o fim, em todas as condições luminosas testadas (Figura 17). No período pós-alagamento foi possível observar o desaparecimento dessas importantes estruturas que surgem como respostas anatômicas ao alagamento.



**Figura 17.** Lenticela hipertrofiada em *O. arborea*, sendo aos 5 dias de alagamento (Figuras A, B e C) e ao final do período pós-alagamento (Figuras D, E e F) ambos nos tratamentos Pleno Sol, 30% e 70%, respectivamente. Dourados-MS, UFGD, 2018.

## DISCUSSÃO

O alagamento do substrato pode desencadear respostas morfofisiológicas com importante papel no ajuste e restabelecimento metabólico em plantas tolerantes, ou desencadear a morte celular e, conseqüentemente, morte em indivíduos não tolerantes. São diversos os fatores envolvidos na sobrevivência de plantas consideradas tolerantes ao alagamento, além disso, a condição luminosa pode fazer com que uma espécie apresente diferentes respostas de sobrevivência dependendo do meio em que se encontra.

Em ambiente com excesso de água, as plantas desenvolvem características anatômicas, como, por exemplo, modificações na permeabilidade das membranas das células das raízes, assim ocorre menor absorção de água, levando a uma menor condutividade hidráulica nas raízes (BATISTA et al., 2008) devido ao desenvolvimento de acidose que causa inibição das aquaporinas (GRANDIS et al., 2010) e conseqüentemente há redução da turgescência foliar levando ao fechamento estomático

(ELSE et al., 2001). Neste trabalho, foi observado que as plantas dos sob alagamento somente apresentaram resultados diferentes das plantas controle somente no período pós-alagamento, sendo que esse resultado foi semelhante aos observados no tratamento controle a pleno sol (C0), indicando que tanto o alagamento quanto o pleno sol levam as plantas à menor hidratação, comparando-se a uma condição de déficit hídrico.

Outro fator que deve ser levado em consideração está relacionado ao fato das folhas de *O. arborea* serem hipoestomáticas (estômatos localizados na face abaxial), evitando a incidência direta do sol, representando um importante mecanismo contra a perda de água (ESPOSITO-POLESI et al., 2011) e manutenção do potencial hídrico.

Para as trocas gasosas, foi observado que nos tratamentos alagados os valores da taxa fotossintética ( $A$ ) (Figura 3) caíram, porém após 60 dias de alagamento, observa-se tendência de ajuste ao fator estressante considerando que houve elevação da  $A$ , sendo a queda de  $A$  explicada pelos baixos valores de condutância estomática ( $g_s$ ) (Figura 5A e B) e, como consequência elevação da concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) (Figura 4) a partir de 40 dias de alagamento. Com relação à  $g_s$  e taxa de transpiração ( $E$ ) esse ajuste começou a ser evidenciado aos 40 dias. Porém ao ser analisada os dados de recuperação, percebe-se que longos períodos alagados não permitem que as mudas recuperem integralmente sua capacidade fisiológica, independente dos níveis de sombreamentos testados. Por outro lado ao ser analisada a eficiência no uso da água ( $A/E$ ) (Figura 6A e B) percebe-se uma redução dos valores a partir dos 40 dias.

Plantas de *Tabebuia aurea* ((Silva Manso) Benth. & Hook. f ex S. Moore), espécie típica do Pantanal onde ocorre alagamento sazonal, em condição de alagamento também apresentaram redução da fotossíntese, da condutância estomática e transpiração, além do crescimento da parte aérea, induzindo o aparecimento de sintomas característicos de estresse por inundação, como a hipertrofia das lenticelas. Além disso, essa espécie apresentou rápida recuperação, voltando suas taxas fisiológicas aos níveis iniciais após a suspensão da inundação (OLIVEIRA e GUALTIERI 2017).

A eficiência intrínseca no uso da água ( $A/g_s$ ), também foi menor em plantas alagadas e nas plantas controle a pleno sol, sendo que os valores apresentaram pequenas variações durante o período alagado e no pós-alagamento. Aumentos neste parâmetro se traduzem na maior capacidade que as plantas possuem de se estabelecerem/sobreviverem em ambientes de estresse (FERREIRA et al., 2012), discordando do presente estudo.

A eficiência de carboxilação da Rubisco ( $A/C_i$ ) diminuiu nos períodos alagados, seguido por um leve ajuste às condições estressantes a partir de 60 dias, conforme observado pela tendência de elevação dos valores, exceto para as plantas alagadas a pleno sol (A0). Nos período pós-alagamento, as plantas dos tratamentos alagados diferenciaram-se dos controles mais evidentemente a partir dos 60 dias. Menores valores de  $A/C_i$  podem ser decorrentes dos danos que condições prolongadas de falta de oxigênio no substrato ocasionam ao aparato fotossintético das mudas expostas ao alagamento por maior período de tempo, o que pode comprometer e reduzir a atividade da Rubisco (FLEXAS et al., 2006). Tais danos poderiam se representados, por exemplo, com a diminuição dos valores de  $F_v/F_m$  (dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII).

Observa-se nos resultados de trocas gasosas que o tratamento C0 apresentou valores semelhantes aos das plantas alagadas, indicando que para essa espécie, ambientes sujeitos a altas disponibilidades luminosas não são indicados para o desenvolvimento inicial de *O. arborea*. Isso se deve ao fato de que esta espécie é classificada como secundária tardia (MARMONTEL et. al., 2013), o que sugere que as plantas que estão nessa classificação não suportam as condições de plena exposição às altas intensidades luminosas e de temperatura, necessitando para germinar e se desenvolver, estar à sombra de outras árvores (VACCARO et al., 1999).

Os valores de eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) ficaram muito abaixo do ideal nas plantas alagadas e, além disso, no pós-alagamento somente as plantas em 70% de sombreamento apresentaram seus valores próximos aos valores de referência variam de 0,75 a 0,80 para outras espécies (BAKER e ROSENQVST, 2004). Valores muito abaixo desta margem indicam que os baixos valores de fotossíntese também estão relacionados à redução causados no aparato fotossintético e não apenas ligados à  $g_s$  e, conseqüentemente, a quantidade de carbono interno. Assim, segundo esses autores, a redução nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII.

Como os valores de referência para a eficiência efetiva na conversão de energia absorvida ( $F_v/F_0$ ) em plantas encontra-se entre de 4 e 6 (ZANANDREA et al., 2006) e da produção quântica basal dos processos não fotoquímicos entre 0,14 e 0,20 (ROHÁCEK, 2002), valores de  $F_v/F_0$  abaixo de 4 ou de  $F_0/F_m$  aumentados

demasiadamente são indicativos de estresse. Neste caso, as duas características apresentaram valores que confirmam redução da eficiência no aparato fotossintético.

Com relação à área foliar, foi observada valores inferiores em relação ao controle em todos os tratamentos alagados e nas plantas controle cultivadas a pleno sol (C0), sendo que as controle a 70% de sombreamento (C70) apresentaram os maiores valores. O Índice de Clorofila (IC) reduziu a partir dos 40 dias de alagamento, sendo que no pós-alagamento os tratamentos que possuem em comum o a luminosidade plena (A0 e C0) apresentaram os menores valores. Geralmente as folhas de plantas que se desenvolvem sob condições sombreadas tendem a elevar a concentração de clorofila do que em folhas de plantas cultivadas a pleno sol, sendo este um mecanismo de compensação à condição de menor disponibilidade luminosa (DUTRA et al., 2012). O aumento da área foliar também é esperado como forma de aumento da área de absorção de energia luminosa. Além disso, a determinação dos teores de clorofila da folha é importante para inferir sobre a capacidade fotossintética da planta, pois esta depende, em parte, da capacidade da folha em absorver luz (CARVALHO et al., 2015), sendo possível inferir também que baixas taxas fotossintéticas também estão relacionadas à essa diminuição verificada nos valores do IC.

Bonamigo et al. (2016) estudando diferentes níveis de luminosidade para o desenvolvimento inicial de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schlechtd.) K. Schum., verificaram maiores valores do IC para as plantas cultivadas sob 70% de sombreamento, sugerindo que o maior IC em maior sombreamento pode ser uma característica adaptativa da espécie para maximizar a captura de luz.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi menor nas plantas A70, ao passo que a C30 e C70 apresentaram os maiores valores ao final do experimento. Assim, fica claro que esta espécie tem como preferência o desenvolvimento inicial em ambientes mais sombreados, porém quando esse ambiente interage com uma condição considerada estressante, a qualidade das mudas reduz significativamente. Embora ela seja encontrada em ambientes ripários (CARVALHO, 2008), longos períodos de alagamento faz com que a qualidade dessas mudas seja comprometida. O IQD é uma avaliação muito importante e tem sido muito utilizada, pois prediz a qualidade das mudas no viveiro, uma vez que engloba vários parâmetros morfológicos importantes para caracterizar a sobrevivência e a qualidade de mudas, dentre eles o cálculo de robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda (BONAMIGO et al., 2016).

Reis et al. (2016) observaram que mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. quando submetidas aos sombreamentos de 0% (pleno sol), 30%, 50%, 70% e 90%, o IQD a pleno sol e 90% ficaram abaixo (0,1 e 0,2 respectivamente) do valor de referência (0,20) proposto por Hunt (1990), indicando falta de qualidade suficiente para o plantio em campo. Dessa forma, os autores concluíram que apesar de sua plasticidade em relação aos níveis de sombreamento, o baixo valor de IQD para as plantas submetidas a níveis extremos de sombreamento (pleno sol e 90%) indicam que as mudas de *C. langsdorffii* devem ser utilizadas com cautela quando produzidas nestas condições.

No que diz respeito às características estomáticas, os parâmetros de abertura ostiolar, índice estomático e diâmetros polar e equatorial apresentaram maiores valores para as plantas controle a 70% (C70) e menores para alagadas a pleno sol (A0) tanto durante o período de alagamento quanto no pós-alagamento. No geral, os tratamentos alagados e no C0 proporcionaram aos menores valores para essas variáveis. Alterações na forma dos estômatos podem interferir diretamente na sua funcionalidade de otimizar a captura de CO<sub>2</sub> e reduzir a *E* (SOUZA et al., 2010), como essas características se mantiveram da mesma forma durante o período alagado e durante o pós-alagamento, indica que este parâmetro não interferiu no metabolismo.

Foi possível observar que em todos os tratamentos alagados e no tratamento C0, houve um aumento expressivo na atividade das enzimas antioxidante. Para *O. arborea*, a enzima superóxido dismutase (SOD) e peroxidase (POX), apresentaram maior atividade nas folhas, ao passo que a enzima catalase possui atividade semelhantes nas folhas e raízes. Com exceção da catalase que continuou a atividade nas folhas durante o pós-alagamento, as demais enzimas aumentaram suas concentrações durante o período considerado estressante, e reduziram quando retiradas dessa condição. O acúmulo das espécies reativas de oxigênio pode causar a morte celular, assim é necessário que sejam eliminadas, principalmente em uma condição de estresse (LANGARO et al., 2017).

Plantas de *Prunus* spp. também apresentaram aumento da atividade do sistema de enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX) submetidas a condição de alagamento (MESSCHMID et al., 2015), dessa forma, conseqüentemente promove aumento da defesa antioxidante, sendo uma regulação positiva desse sistema.

Por fim, corroborando com resultados desse trabalho, outras espécies como por exemplo *Cedrela fissilis* (Vell.) a partir de cinco dias de inundação do substrato (BINOTTO et al. 2016), *Schinus terebinthifolius* (Raddi) partir da segunda semana de

alagamento (GRISI et al., 2011) e *Lithraea molleoides* (Vell.) (MEDRI et al., 2007) desenvolveu ao longo do período experimental, também observaram a presença de lenticelas hipertrofiadas, indicando que essas estruturas representam uma importante resposta de tolerância à hipoxia, normalmente associada a solos alagados, pois permite a entrada de oxigênio atmosférico que se difunde da parte aérea para as raízes.

### CONCLUSÃO

As plantas alagadas de *Ormosia arborea* sobreviveram durante e após o período alagado com apresentação de características adaptativas, como as lenticelas hipertrofiadas, porém reduzindo seu potencial fotossintético e em consequência a qualidade das mudas obtidas.

Assim como os tratamentos alagados, o tratamento controle Pleno Sol (C0) também demonstrou ser inapropriado para produção de mudas dessa espécie, tendo em vista também sua classificação ecológica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, 2014.

BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trécul (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.

BINOTTO, N.; ANTONIAZZI, A. P.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Tolerância de plântulas de *Cedrela fissilis* Vell. a diferentes amplitudes e intensidades de inundação. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1339-1348, 2016.

BONAMIGO, T.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Substratos e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae). **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 501-511, 2016.

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

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; CANTARELLI, E. B.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 3, p. 211-215, 2008.

CARVALHO, R. P.; DAVIDE, L. M. C.; BORGES, F. L. G.; DAVIDE, A. C.; DANIEL, O. Respostas morfofisiológicas entre procedências de canafístula submetidas a diferentes condições hídricas e nutricionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 179-188, 2015.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes Substratos para a Produção de Mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.

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

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SANTANA, R. C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1212-1218, 2012.

ELSE, M. A.; COUPLAND, D.; DUTTON, L.; JACKSON, M. B. Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of castor oil (*Ricinus communis*) despite diminished delivery of ABA from the roots to shoots in xylem sap. **Physiologia Plantarum**, v. 111, n. 1, p. 46-54, 2001.

ESPOSITO-POLESI, N. P.; RODRIGUES, R. R.; ALMEIDA, M. Anatomia ecológica da folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 255-263, 2011.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas** (Statistical Analysis Software) e planejamento de Experimentos – SISVAR 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

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

GRISI, F. A.; ANGELO, A. C.; BOEGER, M. R. T.; LEITÃO, C. A. E.; GALVÃO, S. F.; WENDLING, I. Morfoanatomia foliar em mudas de *Schinus terebinthifolius* sob diferentes níveis de saturação hídrica. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 881-894, 2011.

HUNT, G. A. **Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings**. In: Proceedings of Target Seedling Symposium, Meeting of the Western Forest Nursery Associations; Roseburg. Fort Collins: USDA Forest Service; p. 218-222, 1990.

LANGARO, A. C.; AGOSTINETTO, D.; RUCHEL, Q.; GARCIA, J. R.; PERBONI, L. T.; Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crops. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 358-364, 2017.

LIRA, J. M. S.; FERREIRA, R. A.; JUNIOR, C. D. S.; NETO, E. M. S.; SANTANA, W. S. Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D.C. sob alagamento para uso na recuperação de matas de ciliares. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 655-665, 2013.

LOPEZ, O. R.; KURSAR, T. A. Does flood tolerance explain tree species distribution in tropical seasonally flooded habitats? **Oecologia**, v. 136, n. 2, p. 193-204, 2003.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil** - Vol. 01- 5. edição. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, p. 384, 2008.

LUO, W.; SONG, F.; XIE, Y. Trade-off between tolerance to drought and tolerance to flooding in three wetland plants. **Wetlands**, v. 28, p. 866-873, 2008.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A.; MARTINS E MARTINS, T. STARZYNSKI, R.; CARVALHO, J. L. Caracterização da vegetação secundária do bioma mata atlântica com base em sua posição na paisagem. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 2042-2052, 2013.

MARQUES, M. A.; RODRIGUES, T. de J. D.; PAULA, R. C. de. Germination of *Ormosia arborea* (Vell.) Harms seeds submitted to different pre-germination treatments. **Científica**, v. 32, n. 2, p. 141-146, 2004.

MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSOFABRO, V. M.; MEDRI, C. Alterações morfoanatômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 29, n. 1, p. 15-22, 2007.

MESSCHMID, A. A.; BIANCHI, V. J.; ZANANDREA, I.; MARTINAZZO, E. G.; RADMANN, E. B.; BACARIN, M. A. Trocas gasosas e atividade antioxidante de portaenxertos de *Prunus* spp. submetidos ao estresse seca e alagamento. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 114, n. 1, p. 71-81, 2015.

NASCIMENTO, J. B.; BARIGOSSO, J. A. F. O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 234, 2014.

NETO, A. G.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; OLSEN, D.; VILLELA, F. A. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 88-92, 2013.

OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; SANTOS, D. S.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, T. G.; JÚNIOR, M. C. S.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Embrapa Cerrados, Brasília – DF, 2016.

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

RAWYLER, A.; ARPAGAUS, S.; BRAENDLE, R. Impact of oxygen stress and energy availability on membrane stability of plant cells. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 499-507, 2002.

REIS, S. M.; MARIMON-JÚNIOR, B. H.; MORANDI, P. S.; OLIVEIRA-SANTOS, C.; OLIVEIRA, B.; MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 01, p. 13-29, 2002.

SALISBURY, E. J. On the Causes and Ecological Significance of Stomatal Frequency, with Special Reference to the Woodland. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 216, n. 431, p. 1-65, 1927.

SILVA, A. L.; MORAIS, G. A. Biometry and dormancy breaking of *Ormosia arborea* seeds. **Communications in Plant Sciences**, v. 2, n. 3, p. 105-107, 2012.

SILVA, A. L.; DIAS, D. C. F. S.; LIMA, L. B.; MORAIS, G. A. Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. **Journal of seed science**, v. 36, n. 3, p. 318-325, 2014.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SILVA JUNIOR, J. M.; PARENTONI, S. N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracur' maize in response to periodoc soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 16-24, 2010.

SOUZA, S. A.; ABREU, S. C.; SILVA, C. M.; SANTOS, J. X.; REIS, A. R. S. Desenvolvimento inicial de plântulas de tamboril [*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong] em diferentes níveis de intensidade luminosa. **Informativo ABRATES**, v. 23, n. 3, p. 32-36, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [tradução: Alexandra Antunes Mastroberti et al.] ; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. – 6ª. ed. – Porto Alegre : Editora Artmed, 858 p., 2017.

VACCARO, S.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Aspectos da composição florística e categorias sucessionais do estrato arbóreo de três subseres de uma floresta estacional decidual, no município de Santa Tereza – RS. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 1-18, 1999.

VOESENEK, L. A. C. J.; SASIDHARAN, R.; VISSER, E. J. W.; BAILEY-SERRES, J. Flooding stress signaling through perturbations in oxygen, ethylene, nitric oxide and light. **New Phytologist**, v. 209, n. 1, p. 39-43, 2016.

WRIGHT, A. H.; LONG, J.; LADA, R.; PRANGE, R. The relationship between water status and chlorophyll a fluorescence in grapes (*Vitis* spp.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, n. 2, p. 193-199, 2009.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARI, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, n. 2, p. 157-161, 2006.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que *Ormosia arborea* (Vell.) Harms é uma espécie de sucessão secundária tardia e pode ser encontrada em diversos ambientes, suas plantas emergiram e obtiveram melhor desenvolvimento em ambientes mais sombreados, sendo que a condição pleno sol não é indicada para a produção de mudas desta espécie.

Embora as plantas tenham sobrevivido em ambiente alagado por 80 dias, pode-se perceber que a qualidade das mudas foi prejudicada, sendo a condição pleno sol menos favorável para seu desenvolvimento.

De modo geral, as plantas alagadas sobreviveram durante e após o período alagado com apresentação de características adaptativas, como as lenticelas hipertrofiadas, porém reduzindo seu potencial fotossintético e em consequência a qualidade das mudas obtidas.

## ANEXO



**Figura 1.** Visão geral do experimento de alagamento e sombreamento em mudas de *Ormosia arborea* (Vell.) Harms. Pleno Sol alagado (A), Pleno Sol controle (B), mudas do Pleno Sol no início do experimento (C), 30% alagado (D), 30% controle (E), mudas do 30% no início do experimento (F), 70% alagado (G), 70% controle (H) e mudas do 70% no início do experimento (I). Dourados – MS, UFGD, 2018.