

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos
Trópicos

DAYSE ALVES MARQUES

**PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DURANTE O
ESTABELECIMENTO DE *Tabebuia aurea* (SILVA MANSO) BENTH. & HOOK. F. EX.
S. MOORE (Bignoniaceae) CULTIVADA EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO**

MACEIÓ - ALAGOAS

DAYSE ALVES MARQUES

**PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DURANTE O ESTABELECIMENTO
DE *Tabebuia aurea* (SILVA MANSO) BENTH. & HOOK. F. EX. S. MOORE
(Bignoniaceae) CULTIVADA EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE TROPICAL.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Costa Justino

MACEIÓ - ALAGOAS

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

M357p Marques, Dayse Alves.

Parâmetros fisiológicos e bioquímicos durante o estabelecimento de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. F. Ex. S. Moore (Bignoniaceae) cultivada em condições de alagamento / Dayse Alves Marques. – 2021.

74 f. : il.

Orientador: Gilberto Costa Justino.

Dissertação (mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos. Maceió, 2020.

Inclui bibliografias.

Apêndices: f. 69-74.

1. Desidratação. 2. Osmorreguladores. 3. Parâmetros fisiológicos e bioquímicos. 4. *Tabebuia aurea*. 5. Bignoniaceae. I. Título.

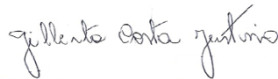
CDU: 581

Folha de aprovação
Dayse Alves Marques

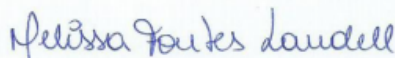
**PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DURANTE O
ESTABELECIMENTO DE *Tabebuia aurea* (SILVA MANSO) BENTH. & HOOK. F. EX. S.
MOORE (Bignoniaceae) CULTIVADA EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS na área da Biodiversidade.

Dissertação aprovada em 04 de agosto de 2020.




Prof. Dr. Gilberto Costa Justino/UFAL
Orientador



Dr. (a) – Melissa Fontes Landell/UFAL
(membro titular)



Dr. (a) – Lauricio Endres/UFAL
(membro titular)



Dr. (a) – Liliane Santos de Camargos/UNESP
(membro titular)

MACEIÓ - AL

Agosto/2020

DEDICATÓRIA

Às minhas irmãs Messiana Alves Marques e Daniela Alves Marques, elas foram meu alicerce durante toda a vida. Assumiram a grande responsabilidade de me educar no caminho da honestidade e da fé.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL), por meio do programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação dos Trópicos (PPG-DIBICT) pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal que me ofertou ao longo desses dois anos de pós-graduação.

À FAPEAL (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas) pela concessão da bolsa de mestrado durante o curso.

Ao professor Dr. Gilberto Costa Justino, por toda a compreensão e profissionalismo. Diferente de muitos orientandos, eu não tive uma história acadêmica com o professor Gilberto, mais um motivo de tanta gratidão pela paciência e comprometimento nessa longa orientação. Vou levar muitos exemplos bons do senhor tanto para minha formação profissional quanto pessoal. Obrigada por todas as vezes que confiou em mim, mesmo quando eu desacreditei do trabalho e achava que a conclusão não era possível.

Ao professor Dr. Laurício Endres, responsável pelo laboratório de Fisiologia Vegetal, por nos permitir a realização de diversas pesquisas e por contribuir juntamente com o professor Dr. Gilberto com o desenvolvimento científico.

De um modo muito especial agradeço à professora Dra. Nívea Maria Rocha de Macedo por ser a primeira professora na academia que me incentivou a ingressar no mestrado e me fez acreditar que eu seria capaz de concluir mais uma etapa com sucesso.

Aos membros da banca examinadora, professor Dr. Laurício Endres, professora Dra. Liliane Santos de Camargos e professora Dra. Melissa Fontes Landell por contribuírem na melhoria do nosso trabalho e aceitarem o convite para compor a banca.

Com muito amor, respeito e admiração agradeço aos meus amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal, que durante esses dois anos, foram mais que amigos, foram irmãos: Arthur Silva, Isabela Cardoso, Natália Souza, Juliana Pinheiro, Jayne Silva, Marcelo Hipólito, Sandra Márcia, Edite Siqueira, Janine Janiele, Joicy Barbosa, André, Rafael, Juliany Moura e Lennon Kledson. Serei eternamente grata a todos vocês. Eu poderia até ter chegado ao fim dessa difícil etapa, mas sem vocês seria bem mais complicado. O companheirismo, o cuidado, as boas risadas na casa de vegetação, as comidas compartilhadas e a humanidade de vocês nunca serão

esquecidos. Sentirei muitas saudades, vocês estarão para sempre no meu coração. Amo vocês!

À minha grande amiga que considero como irmã, Raíssa Matos, por toda a ajuda fornecida, pelas palavras de apoio e de incentivo nos momentos de tristeza. Ray, muito obrigada por tudo!

Aos grandes amigos que conquistei na turma de mestrado: Maurício, meu irmão de longas datas, Aldo, Edgar e Jonathan, por todo o apoio e palavras positivas durante as dificuldades. Vocês são muito especiais.

À toda minha família, em especial aos meus pais Ana Lúcia Alves Marques (Em memória) e Cícero Messias Marques, aos meus irmãos: Messiana, Miliana, Daniela, Diogo e Douglas e ao meu noivo Diego Ramon por sempre me proporcionarem força e coragem nos momentos mais difíceis.

Não poderia deixar de agradecer a Deus, pois seu amor e sua misericórdia me sustentaram nos momentos que mais precisei.

Com o coração cheio de amor agradeço a todos que me ajudaram a vencer e concluir esta etapa que não foi fácil, mas foi repleta de ensinamentos, desafios e muito conhecimento. Sem dúvida, cresci e aprendi muito.

AGRADEÇO!

RESUMO

Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook. F. Ex. S. Moore (Bignoniaceae) é uma espécie arbórea que sobrevive tanto em áreas bem drenadas quanto em áreas que passam por encharcamento ou alagamento sazonal do solo, crescendo em diferentes biomas. Por ser encontrada em ambientes tão diversos, acredita-se que esta espécie tenha grande potencial de adaptação ao alagamento, ainda em seus primeiros estágios de vida, podendo ser incorporada aos programas de reflorestamento. Diante disso, o objetivo desse estudo foi verificar se plantas de *T. aurea* em fase inicial de crescimento desenvolveriam mecanismos fisiológicos e bioquímicos de tolerância ao estresse desencadeado por alagamento visando a aplicação em ações de reflorestamento de áreas degradadas. O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, onde foram utilizadas 100 plantas com três meses de idade, divididas em dois tratamentos: (1) controle e (2) alagado, que permaneceram submetidas aos tratamentos por 30 dias. A cada três dias, foram realizadas as seguintes análises: quantificação de compostos osmorreguladores, potencial hídrico foliar ao meio dia, trocas gasosas, eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Yield) ao meio dia e índice do teor de clorofila (SPAD). Nos dias 3, 12, 21 e 30 foram determinados, na antemanhã, o potencial hídrico foliar e a razão Fv/Fm. A biomassa seca da planta, biometria e área foliar foram mensuradas no início e no final do experimento. As plantas de *T. aurea* em condições de alagamento reduziram o potencial osmótico com o aumento de aminoácidos, como a prolina, muito importante para a redução do potencial hídrico e aumento do turgor celular. Além disso, o alagamento reduziu os teores de nitrato e proteínas, no entanto, os teores de carboidratos não diferiram entre os tratamentos, podendo ser considerados como compostos bioquímicos menos responsivos ao solo alagado durante 30 dias. A redução da condutância estomática foi a primeira resposta ao estresse. Posteriormente, verificou-se a redução da concentração interna de carbono, transpiração e fotossíntese. No entanto, o controle da abertura estomática foi importante para garantir uma maior eficiência no uso da água. Mesmo não apresentando diferenças drásticas para os valores de Fv/Fm, as plantas alagadas apresentaram reduções na eficiência quântica efetiva (Yield), mas mantiveram os teores de clorofila, o que foi importante para o funcionamento do aparato fotossintético. Adicionalmente, a condição de alagamento reduziu as taxas de crescimento e biomassa. Assim, verificou-se que *T. aurea* desenvolveu estratégias de tolerância ao estresse hídrico em estágios iniciais de estabelecimento, o que pode favorecer sua utilização em processos de reflorestamento de áreas degradadas em regiões que passam por alagamento permanente ou sazonal do solo.

Palavras-chave: Estresse hídrico, osmorreguladores, parâmetros fisiológicos e bioquímicos.

ABSTRACT

Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook. F. Ex. S. Moore (Bignoniaceae) is an arboreal species which survives in well drained areas as well as in areas which undergo drenches or seasonal floods on the soil, growing in different biomes. For being found in such a variety of environments, it is believed that this species has great potential for adaptation to floods, even in its early life stages, thus apt to incorporation in reforestation programs. In view of that, this study's goal was to verify if the *T. aurea* plants in early growth phase would develop physiological and biochemical tolerance mechanisms to the stress brought upon by floods, aiming for the application in reforestation actions for damaged areas. The experiment was held in a greenhouse at the Center for Agricultural Sciences at Universidade Federal de Alagoas, utilizing 100 three-month-old plants, divided into two treatments: (1) control and (2) flood, which remained subjected to the treatments for 30 days. The following analyzes were conducted every three days: osmoregulator compound quantification, leaf water potential at noon, gas exchanges, photosystem II (Fv/Fm) potential quantum efficiency and photosystem II (Yield) effective quantum efficiency at noon and chlorophyll content index (SPAD). On days 3, 12, 21 and 30, at dawn, leaf water potential and the Fv/Fm ratio were ensured. The plant's dry biomass, biometry and leaf area were measured at the beginning and end of the experiment. The *T. aurea* plants in flood conditions reduced the osmotic potential with the increase of amino acids, such as proline, very important in the reduction of the hydric potential and increase of cellular turgor. Also, flood reduced nitrate and protein content. However, carbohydrate contents did not differ between the treatments, thus being considered as possible biochemical compound less responsive to flooded soil in a 30 days period. The reduction in stomatal conductance was the first response to stress. Afterwards, it was possible to verify the reduction in internal carbon concentration, transpiration and photosynthesis. However, the control of stomatal opening was important for the assurance of bigger efficiency in water usage. Even when not presenting drastic differences on the Fv/Fm values, the flooded plants presented reductions in effective quantum efficiency (Yield), but maintained the chlorophyll contents, which was important for the photosynthetic apparatus operation. Furthermore, the flood condition reduced biomass and growth rates. Therefore, it was verified that *T. aurea* developed tolerance strategies to hydric stress at early establishment stages, which may favour its utilization in reforestation processes for damaged areas in regions which struggle with constant or seasonal soil floods.

Keywords: hydric stress, osmoregulators, physiological and biochemical parameters.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- a.Temperatura; b. radiação; e c. DPV referentes ao período experimental, de 30 de abril a 30 de maio de 2019 e d. temperatura; e. radiação e f. DPV nos dias de coleta de dados do experimento na casa de vegetação..... | 40 |
| Figura 2 – Potencial hídrico foliar em plantas jovens de <i>T.aurea</i> cultivadas durante 30 dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. na antemanhã e b. ao meio-dia..... | 47 |
| Figura 3 – Trocas gasosas em plantas de jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Fotossíntese- <i>A</i> ; b. transpiração- <i>E</i> ; c. condutância estomática - <i>gs</i> ; d. concentração interna de Co_2-C_i ; e. eficiência Instantânea do uso da água- <i>EUA</i> | 48 |
| Figura 4 – Eficiência quântica potencial em plantas jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Razão F_v/F_m na antemanhã; b. ao meio-dia | 49 |
| Figura 5 - Yield em plantas jovens de <i>T.aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação | 50 |
| Figura 6 - Índice SPAD em plantas jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação | 50 |
| Figure 7 - Biometria de plantas jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Área foliar; b. altura do caule; c. número de folhas, d. diâmetro do caule | 51 |
| Figura 8 – Biomassa de plantas jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Massa seca da folha; b. massa seca do caule; c. massa seca da raiz, d. massa seca | 52 |
| Figure 9 – Razão raiz/parte aérea de plantas jovens de <i>T.aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação..... | 53 |
| Figura 10 - Taxas de crescimento em plantas jovens de <i>T. aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. taxa de crescimento relativo (TCR); b. taxa de assimilação líquida (TAL); c. taxa de crescimento foliar relativo (TCFR)..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Compostos bioquímicos em plantas jovens jovens de <i>Tabebuia aurea</i> cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação..... | 46 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | |
|----------------------|----|
| 1. APRESENTAÇÃO..... | 13 |
|----------------------|----|

Capítulo 1

| | |
|---|----|
| 2. Revisão da literatura: respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas dos vegetais em condições de alagamento e informações gerais sobre <i>Tabebuia aurea</i> | 14 |
| 2.1 Respostas fisiológicas e morfológicas das plantas ao alagamento do solo..... | 15 |
| 2.2 Alterações bioquímicas nos vegetais em condições de hipóxia..... | 19 |
| 2.3 <i>Tabebuia aurea</i> | 24 |
| REFERÊNCIAS..... | 27 |

Capítulo 2

Artigo 1: O ajuste osmótico e a manutenção do teor de clorofila são mecanismos cruciais no estabelecimento inicial de plantas de *Tabebuia aurea* em condições de alagamento.....

| | |
|--|----|
| Resumo..... | 37 |
| 1. Introdução..... | 38 |
| 2. Material e métodos..... | 40 |
| 2.1. Instalação do experimento..... | 40 |
| 2.1.1 Coleta do material vegetal e obtenção do extrato para quantificação de compostos bioquímicos e compostos nitrogenados..... | 41 |
| 2.1.2 Quantificação de prolina foliar..... | 42 |
| 2.1.3 Quantificação de aminoácidos livres totais..... | 43 |
| 2.1.4 Quantificação do nitrato foliar..... | 43 |
| 2.1.5 Dosagem de proteínas..... | 43 |
| 2.1.6 Quantificação de açúcares solúveis totais..... | 44 |
| 2.1.7 Potencial hídrico foliar..... | 44 |
| 2.1.8 Determinação das trocas gasosas..... | 44 |
| 2.1.9 Eficiência quântica potencial e efetiva..... | 45 |
| 2.2 Índice do teor de clorofila (SPAD)..... | 45 |
| 2.2.1 Biometria e biomassa..... | 45 |
| 2.2.2 Análises estatísticas..... | 46 |
| 3. Resultados..... | 46 |
| 3.1 Compostos bioquímicos..... | 46 |
| 3.1.1 Potencial hídrico foliar..... | 47 |
| 3.1.2 Trocas gasosas..... | 47 |
| 3.1.3 Eficiência quântica potencial e efetiva..... | 49 |
| 3.1.4 Índice SPAD..... | 50 |
| 3.1.5 Biometria e biomassa..... | 51 |
| 4. Discussão..... | 55 |
| 5. Conclusão..... | 58 |
| 6. Agradecimento..... | 58 |

| | |
|---------------------|----|
| 7. Referências..... | 59 |
| APÊNDICES..... | 69 |

1. APRESENTAÇÃO

Tabebuia aurea é uma planta arbórea da família Bignoniaceae com importância econômica e medicinal, pois a madeira desta espécie é usada na fabricação de diversos materiais e a entrecasca, utilizada na produção de xaropes. Além disso, destaca-se pela relevância ambiental, pois tem grande potencial para ser usada em ações de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas por crescer em áreas tropicais e subtropicais (LORENZI, 1998). *T. aurea* tem um comportamento cosmopolita, distribuída em diversos biomas brasileiros como o Pantanal, Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga, como também, em vários outros países (LOHMANN, 2020). É considerada a árvore símbolo do estado de Alagoas (ALAGOAS, 1985).

Nos últimos anos, os ecossistemas terrestres vêm sendo constantemente alterados e perturbados principalmente por ações antrópicas. Dentre as diversas consequências desse cenário, destacam-se as mudanças climáticas, as quais são capazes de promover tanto eventos de seca, quanto de alagamento do solo (IPCC, 2014), comprometendo a sobrevivência e o estabelecimento das espécies no ambiente (SPIELAGEN, 2012). Nesse sentido, diversas populações vegetais podem estar distribuídas em áreas que passam por eventuais situações de alagamento, o que pode comprometer a sobrevivência das mesmas (MARAGHNI; GORAI; NEFFATI, 2010). Dessa forma, o conhecimento ecofisiológico de mudas em condições de alagamento do solo, diante do atual cenário de mudanças climáticas, torna-se um objeto de estudo crucial para a recuperação de áreas degradadas, uma vez que o estabelecimento das mudas no ambiente é um elemento decisivo para o sucesso dos projetos de reflorestamento.

Deste modo, o presente trabalho tem como enfoque principal agregar conhecimentos, ainda não descritos na literatura, acerca das estratégias ecofisiológicas e bioquímicas de *T. aurea* em condições de alagamento do solo, ainda no período inicial de estabelecimento no ambiente, visando dessa forma, indicar essa planta como promissora para os processos de reflorestamento de áreas degradadas.

CAPÍTULO 1: Revisão da literatura: respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas dos vegetais em condições de alagamento e informações gerais sobre *Tabebuia aurea*

2. Revisão da Literatura

2.1. Respostas fisiológicas e morfológicas das plantas ao alagamento do solo

O alagamento do solo é um fenômeno influenciado pelo clima de cada ambiente, além de ser influenciado por fatores antrópicos. Dessa forma, há ecossistemas em que as inundações ocorrem sazonalmente devido aos períodos de seca e alta pluviosidade (WITTMANN *et al.*, 2017), enquanto outros, são permanentemente alagados ao longo do ano (BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA, 2010). Aliado a esse contexto natural, também destacam-se a ocorrência de mudanças climáticas que causam alterações no regime de chuvas, com fortes precipitações pluviométricas, afetando a duração e intensidade dos eventos de alagamento nos ecossistemas, principalmente nos tropicais (IPCC, 2014).

Em detrimento da respiração aeróbica das raízes e dos micro-organismos, a atmosfera do solo é pobre em O_2 e rica em CO_2 (MORALES-OLMEDO; ORTIZ; SELES 2015). Em condições normais com alta porosidade, o trânsito desses gases entre o solo e a atmosfera é muito rápido, permitindo assim, que não falte oxigênio e ao mesmo tempo, não ocorra acúmulo de CO_2 no solo, evitando assim, um ambiente tóxico (GREENWAY; ARMSTRONG; COLMER 2006). No entanto, em condições de alagamento ou encharcamento do solo, em que as raízes do vegetal ficam total ou parcialmente cobertas, os poros são rapidamente preenchidos por água, tomando todo o espaço do ar (SCREMIN-DIAS; LORENZ-LEMKE; OLIVEIRA, 2011). Dessa forma, há redução das trocas gasosas entre as raízes e a atmosfera, ocasionando, por conseguinte, redução drástica na concentração de O_2 no solo, gerando uma condição de hipóxia ou anóxia no sistema radicular (Esquema 1). Assim, a respiração das raízes é drasticamente afetada, o que, por conseguinte, compromete a produção de energia para as atividades básicas do vegetal (SINGH; VIJAI; SRIVASTAVA, 2019).

O estresse abiótico causado pelo alagamento do solo promove uma série de mudanças metabólicas, fisiológicas e bioquímicas que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas. Tais sintomas podem estar diretamente relacionados ao conjunto de mecanismos de tolerância e plasticidade que a planta pode desenvolver na tentativa de garantir a própria sobrevivência frente ao estresse (VOESENEK; BAILEY-SERRES, 2013).

Uma das primeiras estratégias do vegetal em um solo hipóxico ou anóxico é entrar num estado de “seca fisiológica”, pois a falta de energia limita a abertura dos

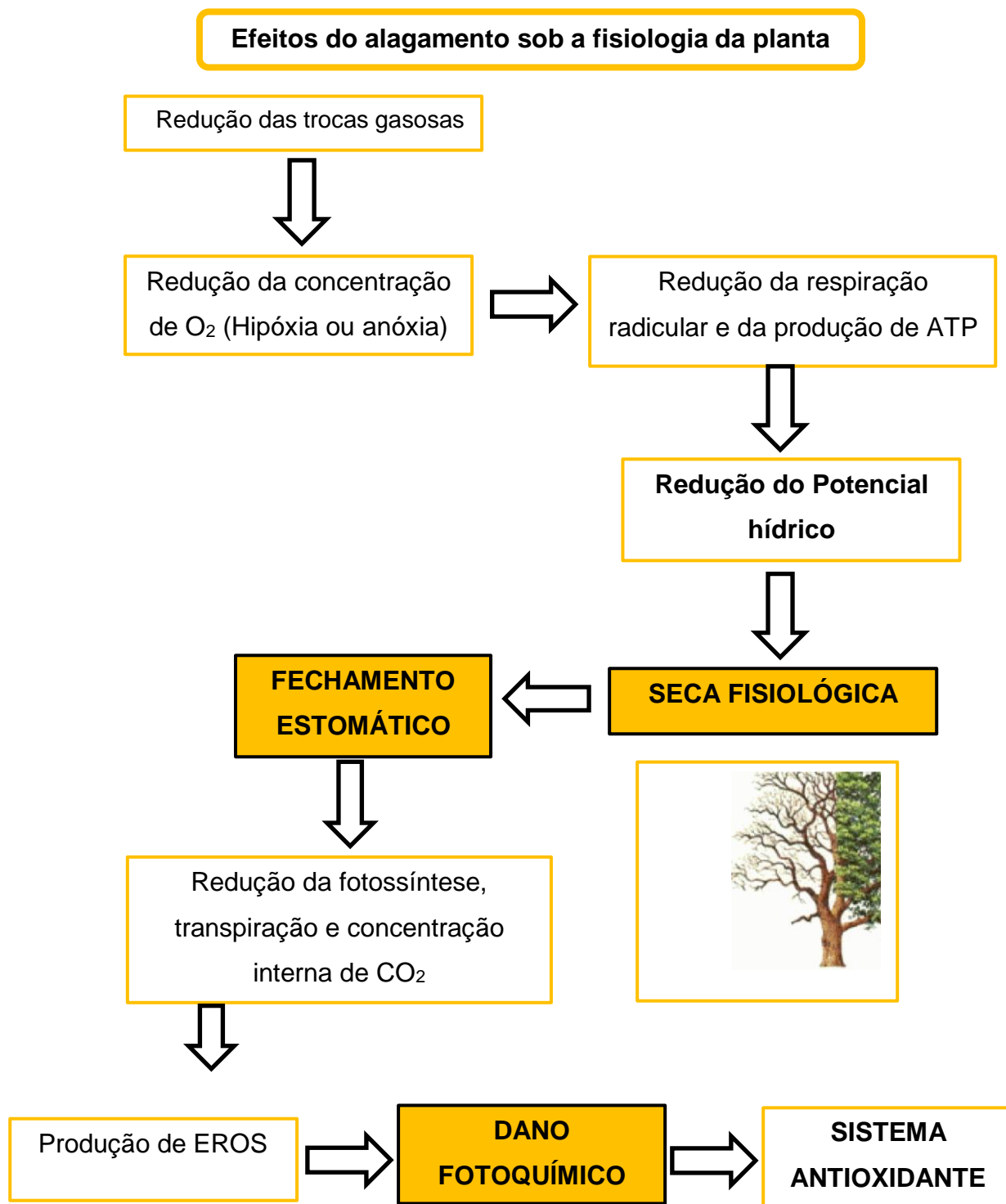
canais de aquaporinas, proteínas responsáveis no transporte de água pela membrana, levando assim, à redução na absorção de água pelas raízes e do potencial hídrico foliar (MARTÍNEZ-BALLESTA *et al.*, 2003). Nessa situação, ocorre o rápido fechamento estomático para reduzir a transpiração e mitigar os efeitos da escassez hídrica ao vegetal (RIBEIRO, 2015). Por outro lado, a limitação estomática reduz a assimilação de CO₂ nas folhas, o que compromete drasticamente a fotossíntese (KREUZWISER; RENNENBERG, 2014), como mostra o esquema 1.

A redução da capacidade fotossintética, além do fechamento estomático, também está fortemente atrelada a outros fatores, tais como, a redução da clorofila e senescência foliar e baixa atividade e abundância da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO) (BINOTTO *et al.*, 2016). No entanto, via ajuste estomático, as plantas ao longo do processo evolutivo, adquiriram maior eficiência no uso da água, estratégia que permite a planta fixar carbono e reduzir a perda de água por transpiração (RIBEIRO *et al.*, 2012). Nesse contexto, é importante enfatizar que, nas plantas sensíveis ao alagamento, a redução dos parâmetros fisiológicos ocorre de forma mais acentuada e drástica, mas em espécies tolerantes esses ajustes ocorrem de maneira mais branda, podendo contribuir na formação de estratégias que favoreçam a sobrevivência do vegetal durante o estresse (ZAIDI *et al.*, 2004).

A redução da eficiência quântica máxima do fotossistema II também é um sintoma típico desencadeado em diversas espécies durante o alagamento, que pode gerar um dano fotoquímico de natureza crônica ou dinâmica (reversível), o que conseqüentemente acarreta em redução na capacidade fotossintética (RENGIFO; TEZARA; HERRERA, 2005). Além disso, a redução na fixação do carbono oriunda da deficiência de O₂, altera o processo de transporte de elétrons, gerando assim, acúmulo de compostos tóxicos, conhecidos como espécies reativas de oxigênio (EROS) (DE CARVALHO, 2012), como mostra o esquema 1.

O acúmulo de espécies reativas de oxigênio como o radical superóxido (O₂⁻), a hidroxila (OH⁻) e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é um evento muito danoso à planta, pois esses elementos danificam a estrutura celular, podendo levar a morte do vegetal (STRIKER, 2012). No entanto, as espécies tolerantes têm um eficiente sistema de defesa com a participação de enzimas antioxidantes que atuam metabolizando as espécies reativas e mantendo a integridade das células (DURO *et al.*, 2016).

ESQUEMA 1: Simplificação das respostas fisiológicas das plantas em condições de alagamento, baseada nos conceitos de Sing, Vijai e Scrivastava (2019), De Carvalho (2012), Duro *et al.* (2016), Kreuzwiser; Rennenberg (2014).



A deficiência de O₂ impossibilita a respiração aeróbica e, nessas condições, a produção de ATP ocorre através da regeneração do NAD⁺ por meio da fermentação do piruvato a lactato e etanol (BAILEY-SERRES; LEE; BRINTON, 2012). Essa mudança do metabolismo aeróbico para o anaeróbico acontece a fim de manter a produção mínima de energia para assegurar processos metabólicos indispensáveis à planta, uma vez que a produção de ATP via respiração aeróbica conta com a produção de 36 moléculas, em contrapartida, por fermentação, ocorre no máximo a produção de 2 moléculas de ATP, e desta forma, origina um saldo bem discrepante entre os dois processos energéticos (VOESENEK; BAILEY-SERRES, 2015).

Durante o alagamento do solo, vários processos que exigem gasto energético, como divisão celular, crescimento dos órgãos, síntese de DNA e proteínas são inibidos como estratégia de economia de ATP a fim de reduzir ao máximo o seu metabolismo (WIEDENROTH, 1993; ARMSTRONG; BRANDLE; JACKSON, 1994). Além disso, alguns efeitos negativos da inundação incluem senescência e clorose de folhas, abscisão de flores e frutos e redução da área foliar, que em conjunto, reduzem a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de biomassa e o crescimento vegetal (MANIK *et al.*, 2019).

Outro efeito observado em plantas sob hipóxia é a redução do crescimento radicular. Essa resposta morfológica ocorre devido à limitação energética, bem como também, pela produção de fitotoxinas, oriundas do metabolismo fermentativo, as quais danificam as raízes (BORELA; BECKER; LIMA, 2019). Ademais, outros sintomas típicos de estresse por alagamento do solo são marcados pela redução da massa seca radicular, da parte aérea e total, bem como, a redução do diâmetro do caule (MEDRI *et al.*, 2007).

A fim de mitigar os efeitos da ausência de oxigênio em eventos da saturação hídrica do solo, ao longo do processo evolutivo, diversas espécies adquiriram mecanismos que lhes atribuem tolerância para sobreviverem ao estresse. Dentre tais estratégias, destacam-se a produção de lenticelas e raízes adventícias que são alternativas utilizadas pelas plantas para retomar a capacidade de obtenção de oxigênio no solo alagado com o objetivo de recuperar a respiração do sistema radicular, assim como, a produção de energia e absorção de nutrientes (STEFFENS; RASMUSSEN, 2016).

A redução da abertura estomática, fixação de carbono, fotossíntese e de crescimento durante o alagamento foram observadas em plantas de *Hymenaea*

courbaril L. (CARDOSO *et al.*, 2017), *Tabebuia serratifolia* (ALVES *et al.*, 2012), *Tabebuia aurea* (OLIVEIRA & GUALTIERI, 2016), *Tabebuia avellanedae* (DAVANSO *et al.*, 2002) e *Copaifera lucens* (VIDAL *et al.*, 2019), no entanto, tais espécies foram tolerantes, pois desenvolveram lenticelas e raízes adventícias, que garantiram sua sobrevivência durante o estresse.

Os mecanismos de plasticidade e tolerância das espécies durante um evento de alagamento reflete muito às peculiaridades e características genéticas de cada indivíduo (VOESENEK; BAILEY-SERRES, 2015). Assim, uma das formas de se avaliar e compreender os efeitos ocasionados pelo estresse hídrico em plantas, dá-se por meio da avaliação do seu transcriptoma, o qual reflete o conjunto total de transcritos de uma célula. Dessa forma, o estudo do transcriptoma de determinada espécie vegetal submetida a uma condição ambiental adversa, como o alagamento do solo, reúne informações importantes dos genes que são expressos nas respostas de aclimação e tolerância da espécie (WANG; GERSTEIN; SNYDER 2009).

Para os estudos de transcriptoma, usa-se a técnica de RNA- seq, um método molecular que permite a quantificação de transcritos e de genes codificantes de proteínas. Assim, através dessa técnica, é possível identificar genes relacionados às respostas ao estresse hídrico (MOROZOVA; HIRST; MARRA, 2009; SIMS *et al.*, 2014). É importante ressaltar, que mesmo que alguns genes estejam presentes em todas as espécies, o padrão de expressão gênica pode variar de planta para planta, provavelmente devido à complexidade da resposta ao estresse hídrico (SOBREIRO, 2017). No entanto, muitos estudos focados na ecofisiologia enfatizam que a compreensão dos ajustes fisiológicos e morfológicos são de grande relevância para o conhecimento da potencialidade do vegetal no ambiente diante de um estresse relacionado à saturação hídrica do solo (VOESENEK; BAILEY-SERRES, 2015).

2.2. Alterações bioquímicas nos vegetais em condições de hipóxia

O alagamento do solo, além de causar diversas alterações na fisiologia e morfologia das plantas, também é responsável por desencadear rotas metabólicas alternativas, como a fermentação (DE SOUZA, 2010) e mudanças na alocação e translocação dos componentes bioquímicos (RAMOS *et al.*, 2011). Dessa maneira, mudanças no metabolismo de proteínas, aminoácidos, carboidratos e nitrato, por exemplo, são alterações oriundas da hipóxia do sistema radicular (RAMOS *et al.*, 2011), como é mostrado no esquema 2.

Em virtude da redução do potencial hídrico celular, ocasionado pelo fenômeno da seca fisiológica em condições de alagamento, a planta reduz seu turgor, o que é muito prejudicial do ponto de vista fisiológico e morfológico para a sua sobrevivência (TAN *et al.*, 2018). Diante desse problema, o metabolismo vegetal aumenta a síntese de compostos orgânicos solúveis, os osmorreguladores, reduzindo o potencial osmótico e aumentando o potencial de turgescência celular, maximizando a absorção de água e nutrientes (KÖSKEROSGLU; TUNA, 2010).

O aumento desses solutos orgânicos, além de promover a homeostase celular, também atua na proteção da estrutura celular e minimizam os danos oxidativos gerados por espécies reativas de oxigênio, sendo por isso, também denominados de osmoprotetores (MELO, 2012). Dentre os osmoprotetores mais estudados destacam-se os aminoácidos livres totais como a prolina, proteínas e carboidratos (KÖSKEROSGLU; TUNA, 2010). A importância desses osmorreguladores está no fato de serem compatíveis com o metabolismo celular. Por esta razão, podem se acumular em diversas partes do vegetal desempenhando um papel fundamental no equilíbrio fisiológico ao inibir o acúmulo de solutos inorgânicos (CARDOSO *et al.*, 2017).

O ajuste osmótico aliado à manutenção do turgor celular são funções bem claras dos solutos orgânicos, uma vez que devido a sua alta solubilidade, acabam ocupando um vasto espaço nos compartimentos celulares, agindo assim, como elementos substitutos da água liberada pela evaporação. Vale também ressaltar que, em condições de estresse hídrico, a regulação osmótica é bem responsiva em tecidos meristemáticos das raízes e das folhas (ALBOUCHI *et al.*, 2016).

Durante o alagamento, a mudança do metabolismo aeróbico para o anaeróbico afeta diretamente à translocação dos carboidratos das folhas para raízes (FANTE *et al.*, 2010). Assim, nessas condições, os açúcares ficam armazenados nas folhas, não sendo transportados para os locais de maior atividade – o sistema radicular- o que afeta diretamente o crescimento vegetal em condições de hipóxia (FUKAO *et al.*, 2019). Por outro lado, as plantas podem usar a estratégia de quiescência, caracterizada pela estabilidade de crescimento, o que demanda menos gasto energético e conseqüentemente conservação dos carboidratos, uma vez que o alongamento caulinar é muito custoso sob baixas condições de oxigênio, o que poderia levar a uma depleção do metabolismo dos açúcares e do vegetal como um todo (CHEN *et al.*, 2018).

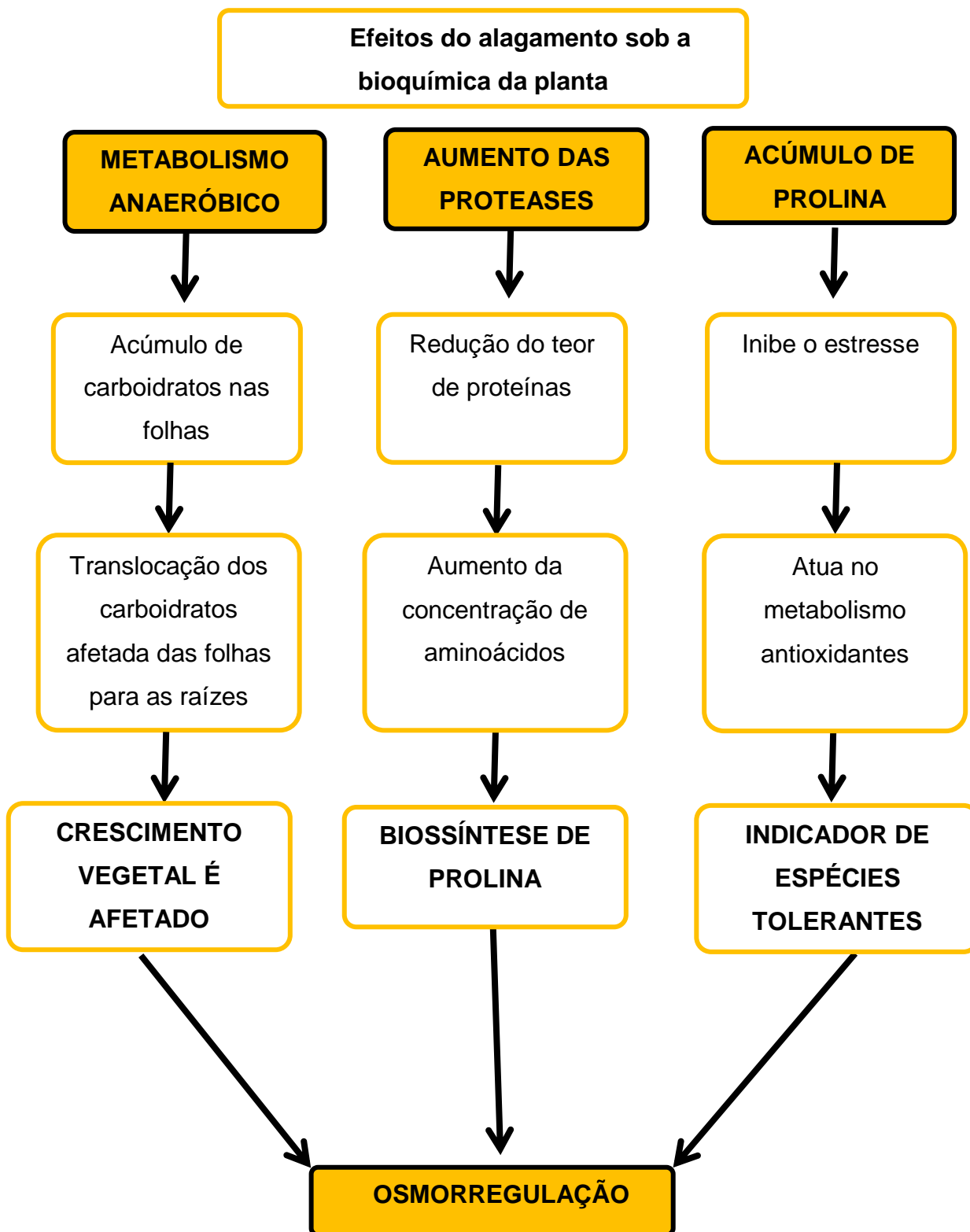
O metabolismo dos carboidratos durante o estresse por hipóxia pode ser diretamente influenciado pelo tempo de inundação e pelas estratégias que o vegetal poderá desenvolver para maximizar as trocas gasosas entre o solo e atmosfera. Assim, se não houver mecanismos capazes de reestabelecer a aeração do solo para disponibilização de oxigênio, o consumo de carboidratos para manter as atividades basais do vegetal sofrerá um déficit, causando danos teciduais e mortalidade (PIERIK; VAN AKEN; VOESENEK 2009; CHEN *et al.*, 2011).

Em um evento de excesso de água no solo, o teor de proteínas é reduzido devido ao aumento da atividade enzimática, especialmente as proteases, que agem hidrolisando as proteínas de reserva a medida que o estresse se intensifica (THOMAS; SODEK, 2006), aumentando a concentração de aminoácidos a fim de atingir a homeostase celular pelo ajuste osmótico (LECHINOSKI *et al.*, 2007). Como consequência, há a indução da biossíntese de prolina, promovida pelo incremento de outros aminoácidos como arginina, glutamina e glutamato (CARDOSO *et al.*, 2017).

O acúmulo de prolina é compreendido como um indicador de adaptação aos ambientes adversos (TUO *et al.*, 2015). Com relação a saturação hídrica do solo, esse aminoácido atua como um inibidor do estresse, pois age conservando o metabolismo enzimático, evitando sua desnaturação (LIANG *et al.*, 2013). Além disso, atua em conjunto com as enzimas antioxidantes na metabolização de espécies tóxicas à maquinaria celular e estabilizador de proteínas, o que garante maiores chances de sobrevivência à planta (TUO *et al.*, 2015).

Ademais, também atribui-se ao acúmulo de prolina, durante a hipóxia do sistema radicular, a função de fornecimento energético à planta, garantindo assim, seu desenvolvimento (KUMAR; KARAJOL; NAIK, 2011). Dessa forma, é um aminoácido essencial que participa da biossíntese de células primárias durante o crescimento e desenvolvimento da planta durante o estresse. Por estas razões, configura-se como um indicador de espécies promissoras durante o alagamento do solo (BARICKMAN; SIMPSON; SAMS, 2019).

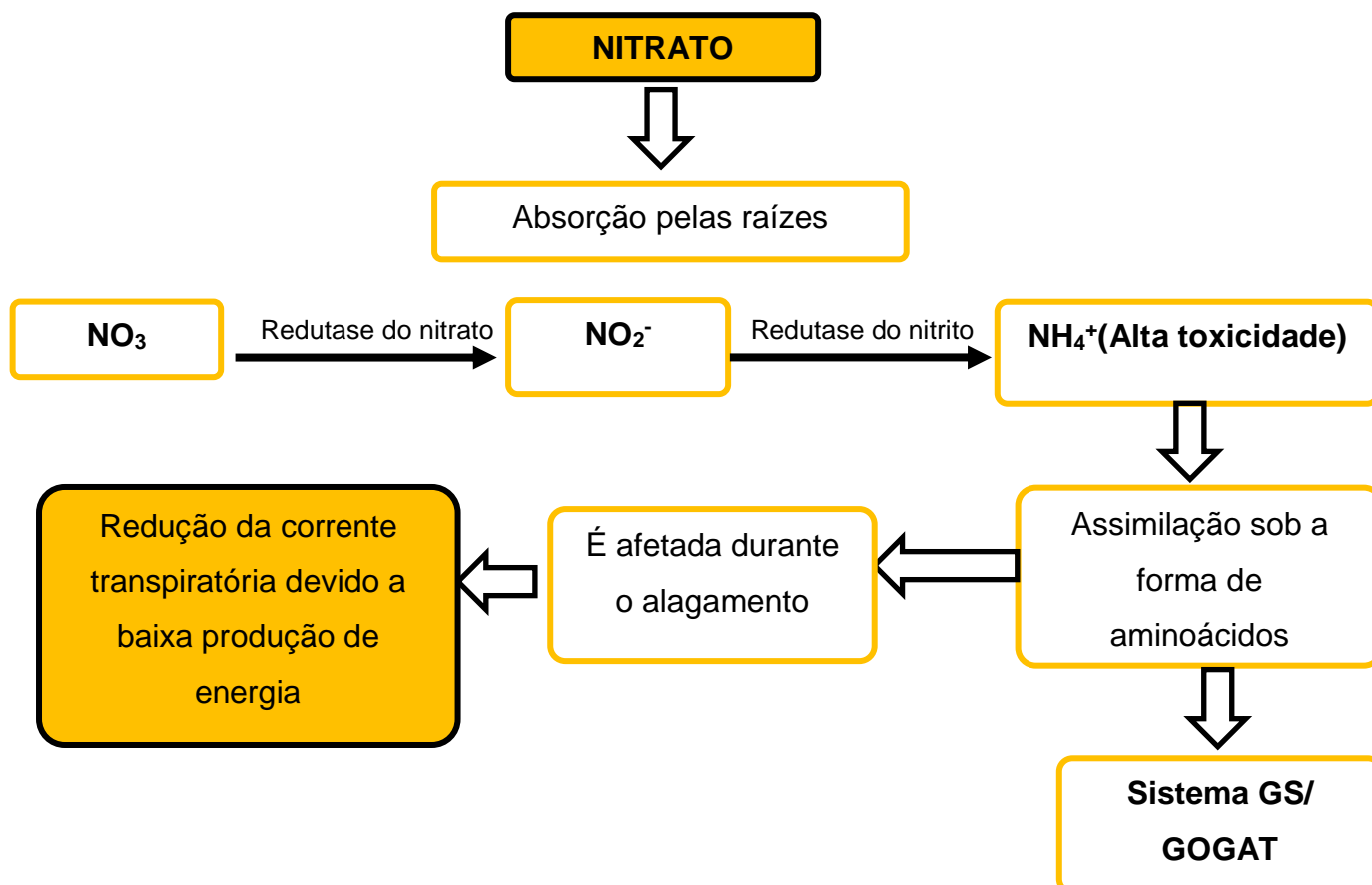
ESQUEMA 2: Simplificação das respostas bioquímicas das plantas em condições de alagamento, baseada nos conceitos de Ramos *et al.* (2011), Köskerosglu e Tuna (2010), Melo (2012), Fante *et al.* (2010), Tomas e Sodek (2006), Tuo *et al.* (2015).



A redução do nitrato está entre os processos que mais são afetados pela deficiência de oxigênio do solo (KUMAR; KARAJOL; NAIK, 2011). Em condições de normalidade, ao ser absorvido pelas raízes, o nitrato (NO_3) é reduzido a nitrito (NO_2^-) por intermédio da enzima redutase do nitrato, que posteriormente é reduzido à amônio (NH_4^+) por ação da redutase do nitrito (NGUYEN *et al.*, 2018). Assim, o NH_4^+ por ser muito tóxico é assimilado sob a forma de aminoácidos por meio do complexo sistema glutamina sintetase/glutamina-2-oxoglutarato aminotransferase (GS/GOGAT) (HORCHANI; ASCHI-SMITI; BROUQUISSE, 2010). Assim, todo esse mecanismo de assimilação de nitrogênio, que nos vegetais ocorre preferencialmente na forma de nitrato, é comprometido durante o alagamento, devido a redução da corrente transpiratória pelo xilema, bem como a baixa concentração de energia (CARDOSO *et al.*, 2017), como é mostrado no esquema 3.

Além disso, sugere-se que o acúmulo de nitrato durante o estresse por hipóxia tem um importante papel como osmorregulador e antioxidante, contribuindo para a integridade celular e na redução da síntese de espécies reativas de oxigênio (BORELLA *et al.*, 2019).

ESQUEMA 3: Assimilação de nitrato nas plantas em condições de alagamento. Esquema baseado nos conceitos de Nguyen *et al.* (2018); Horchani, Aschi-Smiti e Brouquisse (2010), Cardoso *et al.* (2017).



2.3. *Tabebuia aurea*

Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. e Hook.f.ex S.Moore pertence à família Bignoneaceae, sendo conhecida popularmente como craibeira, cinco folhas do campo, para-tudo, pão d'arco e caraíba. É uma espécie arbórea, de comportamento cosmopolita, distribuída geograficamente em diversas regiões brasileiras, como no Norte, Nordeste, Sudeste, Centro-oeste e Sul, assim como também em outros países, como Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru e Suriname. Além disso, encontra-se compondo a flora de diversos biomas, tais como Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (LOHMANN, 2020).

T. aurea é caracterizada por seu porte arbóreo médio ou grande. Dependendo da região onde cresce pode atingir até 20 metros de altura, com tronco tortuoso e revestido por uma casca grossa e o caule com cerca de 30 a 40 cm de diâmetro. Suas flores são de cor amarela, por isso também é chamada de ipê amarelo. O fruto é seco, com cápsula linear e cilíndrica e com sementes aladas. A floração ocorre nos meses

de agosto a setembro, período em que a árvore perde todas as folhas. A frutificação ocorre entre o final de setembro e outubro (LORENZI, 1998; MATOS, 2009).

Na região Nordeste, a espécie é encontrada em ambientes que passam por alagamento sazonal, solos profundos, úmidos e facilmente drenáveis. Nas áreas secas, tem um grande potencial de estabelecimento e sobrevivência, geralmente cresce isolada nas margens dos riachos, fato comumente observado no Sertão e onde a Mata ciliar é bem densa. É importante ressaltar que *T. aurea* é considerada uma espécie pioneira e heliófila (LOHMANN, 2020).

T. aurea caracteriza-se por sua madeira ser flexível e de fácil manuseio o que faz com que a espécie tenha considerável interesse econômico. Assim, é utilizada como matéria-prima para a fabricação de móveis, caixotes, tábuas para embarcações e cabos de ferramentas. Adicionalmente, a espécie é uma boa opção para paisagismo e arborização, pela floração vistosa e boa sombra que proporciona (ZUNITI; LOHMANN, 2016). Também tem grande potencial em ações de recuperação de áreas degradadas, pois apresenta ocorrência em áreas tropicais e subtropicais (LORENZI, 1998).

Além da importância econômica e ambiental, tem destaque no uso medicinal. O nome popular “para-tudo”, remete ao fato de que sua casca é usada na fabricação de expectorantes, xaropes, antissépticos e nos tratamentos de febre, diabetes e inflamações gerais (ZUNITI; LOHMANN, 2016).

De acordo com o Decreto nº 6239 de 1985, *T. aurea* foi reconhecida como a árvore símbolo do estado de Alagoas pela Secretaria de Comunicação Social de Maceió (Alagoas, 1985), onde tem seu corte proibido em áreas de ocorrência natural. Vale mencionar também que *T. aurea* não se apresenta na lista das espécies ameaçadas de extinção (ZUNITI; LOHMANN, 2016).

Os estudos realizados com *T. aurea* permeiam entre os melhores métodos de produção de suas mudas e a análise de suas respostas fisiológicas e morfológicas ao ser submetida a eventos estressores de restrição ou saturação hídrica do solo, salinidade e luminosidade. Todos esses elementos de estudo buscam explicar o potencial da espécie em ações de reflorestamento em diversas condições ambientais. Pinto *et al.* (2016) estudando o crescimento de plantas jovens de *T. aurea* submetidas a diferentes níveis de sombreamento (0%, 30%, 50% e 70%), no semiárido nordestino, constatou que os indivíduos dessa espécie possuem plasticidade fisiológica para suportar esses diversos níveis de sombreamento, pois mantiveram taxas de

crescimento e biomassa relativamente semelhantes às plantas mantidas em condições normais de radiação.

T. aurea configura-se como uma espécie muito estudada em diversos aspectos, como em estresse salino (SÁ *et al.*, 2013), deficiência hídrica (DOMBROSKI *et al.*, 2011), qualidade do crescimento de mudas em substratos contendo diversos tipos de materiais orgânicos (FREIRE *et al.*, 2015) e em estudos de recuperação de áreas degradadas (DIÓGENES *et al.*, 2018). No campo do alagamento são encontrados trabalhos com *T. aurea* como o de Oliveira e Gualtieri (2016), que submeteram plantas de quatro meses de idade por 48 dias de alagamento do solo. No entanto, para esse trabalho, foram realizadas apenas análises dos parâmetros de trocas gasosas. Oliveira e Gualtieri (2017), em outro estudo, também com plantas de *T. aurea* com oito meses de idade submetidas a 115 dias de alagamento, analisaram o potencial hídrico foliar, trocas gasosas e biometria, evidenciando que a espécie desenvolve estratégias que garantem a sua sobrevivência, como o ajuste estomático e a formação de raízes adventícias e lenticelas, bem como, uma rápida recuperação após o período de estresse, o que foi verificado a partir do reestabelecimento de suas funções fisiológicas aos níveis iniciais.

Outro estudo com alagamento envolvendo *T. aurea* é o de Ferreira (2011), que submeteu plantas com quatro meses de idade a 48 dias de alagamento, verificando alguns parâmetros fisiológicos, bioquímicos e de crescimento. No entanto, não realizaram análises de trocas gasosas, assimilação de nitrato e análises mais detalhadas de biomassa, como a taxa de crescimento foliar relativo (TCFR), taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento foliar (TCF).

Assim, apesar de *T. aurea* ser uma espécie rústica encontrada em vários biomas e em inúmeras condições adversas, ainda não foram encontrados na literatura trabalhos que enfatizem as condições fisiológicas e bioquímicas no processo de estabelecimento inicial da espécie em condições de alagamento. Dessa forma, a partir desses levantamentos na literatura, podemos inferir que os estudos realizados com *T. aurea* não levam em consideração plantas em idades mais jovens, não analisam o metabolismo da planta com relação à assimilação de nitrato e não realizaram análises mais detalhadas de biomassa como TCFR, TCF e TAL. Assim, o presente trabalho contempla os diversos mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos de *T. aurea* em condições de alagamento durante seu processo inicial de estabelecimento.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Decreto n. 6239, de 29 de abril de 1985. Dispõe sobre Craibeira- árvore símbolo de Alagoas. Maceió: Diário Oficial do Estado de Alagoas, 1985.

ALBOUCHI, A.; BEJAOU, Z.; LAMHANMEDI, M-S.; ABASSI, M.; EL AOUNI, M-H. Water relations in three Euramerican poplar clones subjected to a gradient of waterlogging. **Geo – Eco- Trop**, v. 40, n. 4, p. 385-400, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316188402>. Acesso em: 19 maio 2020.

ALVES, G. A. R.; FILHO, B. G. S.; LOBATO, A. K. S.; TAN, D. K. Y.; NETO, C. F. O.; COSTA, R. C. L.; ÁVILA, F.W.; MARQUES, D. J.; GALATE, R. S. Water relations, nitrogen compounds and enzyme activities in leaf and enzyme activities in leaf and root young Yellow Lapacho (*Tabebuia serratifolia*) plants subjected to flooding. **Plant Omics Journal**, v. 5, n. 3, p. 216-222, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287468649>. Acesso em: 14 jan. 2020.

ARMSTRONG, W.; BRANDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264272421>. Acesso em: 25 dez. 2019.

BAILEY-SERRES, J.; LEE, S. C.; BRINTON, E. Waterproofing crops: Effective flooding survival strategies. **Plant Physiology**, v. 160, p.1698-1709, 2012. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/160/4/1698.full.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

BARICKMAN, T. C.; SIMPSON, C. R.; SAMS, C. E. Waterlogging causes early modification in the physiological performance, carotenoids, chlorophylls, proline, and soluble sugars of cucumber plants. **Plants**, v. 8, n. 6, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6630288/pdf/plants-08-00160.pdf>. Acesso em: 14 março 2020.

BINOTTO, B.; ANTONIAZZI, A. P.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C.; Tolerância de plântulas de *Cedrella fissilis Vell.* à diferentes amplitudes e intensidades de inundação. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1339-1348, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/25153/pdf>. Acesso em: 04 jan. 2020.

BORELLA, J.; BECKER, R.; LIMA, M. C.; OLIVEIRA, D. S. C.; BRAGA, E. J. B.; OLIVEIRA, A. C. B. & AMARANTE, L. Nitrogen source influences the antioxidative system of soybean plants under hypoxia and re-oxygenation. **Scientia Agricola**, v. 76, n.1, p. 51-62, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sa/v76n1/1678-992X-sa-76-01-0051.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA, F. T. A. Florestas ribeirinhas e inundações: de contínuos espaciais e gradientes temporais. In: SANTOS, J. E.; ZANIN, E. M.; MOSCHINI, L. E (Eds.). Faces da polissemia da paisagem: Ecologia, planejamento e Gestão. **Rima Editora**, São Carlos, p. 108-201, 2010. Disponível em: <http://www.lapa.ufscar.br/livros/faces-da-polissemia-da-paisagem-ecologia-planejamento-e-percepcao-volume-4>. Acesso em: 15 abr. 2020.

CARDOSO, K. P. S.; PALHETA, J. G.; SOUSA, J. C. M.; NASCIMENTO, V. R., NOGUEIRA, G. A. S.; MACHADO, L. C.; MARTINS, J. T. S.; COSTA, T. C.; JÚNIOR, W. V. A.; NETO, C. F. O.; FILHO, B. G. S. Physiological and biochemical metabolism in Jatoba plants (*Hymenaea courbaril* L.) affected by water stress and flooding. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 7, p. 844-852, 2017. Disponível em: http://www.cropj.com/cardoso_11_7_2017_844_852.pdf. Acesso em: 17 março 2020.

CHEN, X.; VISSER, E. J. W.; DE KROON, H.; PIERIK, R.; VOESENEK, L. A. C. J.; HUBER, H. Fitness consequences of natural variation in flooding – induced shoot elongation in *Rumex palustris*. **New Phytologist**, v. 190, n. 2, p. 409-420, 2011. Disponível em: <https://apirs.plants.ifas.ufl.edu/entries/354498/>. Acesso em: 28 maio 2020.

CHEN, X. S.; LI, Y. F.; CAI, Y. H.; XIE, Y. H.; DENG, Z. M.; LI, F.; HOU, Z. Y. Differential strategies to tolerate flooding in *Polygonum hydropiper* plants originating from low- and high-elevation habitats. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6333866/pdf/fpls-09-01970.pdf>. Acesso em: 06 março 2020.

DAVANSO, V. M.; DE SOUZA L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 375-384, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132002000300016. Acesso em: 09 dez. 2019.

DE CARVALHO, Pollyana Aparecida. **Metabolismo do nitrogênio e antioxidante em plantas jovens de seringueira (*Hevea* spp.) submetidas à baixa disponibilidade de oxigênio na presença de nitrato e/ou amônio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13413>. Acesso em: 10 maio 2020.

DE SOUZA, Kamila Rezende Dázio. **Desenvolvimento de aerênquima e atividade enzimática em raízes de milho sob encharcamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2010. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2369/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Desenvolvimento%20de%20aer%C3%AAnquimas%20e%20atividade%20enzim%C3%A1tica%20em%20ra%C3%ADzes%20de%20milho%20sob%20encharcamento.pdf. Acesso em: 21 fev. 2020.

DIÓGENES, F. E. G.; DE SOUSA, T. M.; BOTREL, R. T.; DE CASTRO, V. G. Analysis of the afforestation of the Federal Rural University of semi-arid, Mossoró, RN. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 13, n. 3, p.13-27, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331219286>. Acesso em: 20 maio 2020.

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; DE FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **Sout African Journal of Botany**, v. 11, n. 2, p. 430-434, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251539015_Water_relations_of_Caatinga_trees_in_the_dry_season/link/5e7a5a54a6fdcc57b7bba019/download. Acesso em: 11 abr. 2020.

DURO, N.; COSTA, M.; BATISTA- SANTOS, P.; SCOTTI- CAMPOS, P.; PAIS, I. P.; COLWELL, F.; RODRIGUES, A. P.; SEMEDO, J. N.; LIDON, F. C.; RAMALHO, J.C.; PAWLOWSKI, K.; RIBEIRO- BARROS, A. L. Salt stress tolerance in *Casuarina glauca* and its relation with nitrogen- fixing *Frankia* bacteria. In: González- Andrés F., James E. (eds) Biological Nitrogen Fixation and Beneficial Plant- Microbe Interaction. **Springer**, 2016. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9783319325262>. Acesso em: 15 fev. 2020.

FANTE, C. A.; ALVES, J. D.; GOULART, P. DE F. P.; DEUNER, S.; SILVEIRA, N. M. Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 253-267, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90815731001>. Acesso em: 30 janeiro 2020.

FERREIRA, Débora Teresa da Rocha Gomes. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em quarto espécies florestais do Bioma Caatinga submetidas a alagamento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/266>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FREIRE, A. L. O.; RAMOS, F. R.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, A. S.; ARRIEL, E. F. Crescimento de mudas de craibeira *Tabebuia aurea* (Manso Benth. & Hook) em diferentes substratos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 3, p. 38-45, 2015. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/639/pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.

FUKÃO, T.; BARRERA-FIGUEROA, B. E.; JUNTAWONG, P.; PEÑA-CASTRO, J. M. Submergence and wa-terlogging stress in plants: a review. Highlighting research opportunities and understudied as-pects. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 340, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00340/full>. Acesso em: 14 fev. 2020.

GREENWAY, H.; ARMSTRONG, W.; COLMER, T. D. Conditions leading to high CO₂ in Waterlogged- flooded soils and possible effects on root growth ans metabolismo. **Annals of Botany**, v. 98, n.1, p. 9-32, 2006. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3291891/pdf/mcl076.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2020.

HORCHANI, F.; ASCHI-SMITI, S.; BROUQUISSE, R. Involvement of nitrate reduction in the tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants to prolonged root hypoxia. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 6, p. 1113-1123, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225147750>. Acesso em: 15 fev. 2020.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland, p. 151, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf. Acesso em: 13 março 2020.

KÖSKEROSGLU, S.; TUNA, A. L. The investigation on accumulation levels of proline and stress parameters of the maize (*Zea mays* L.) plants under salt and water stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, p. 541-549, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-009-0431-z>. Acesso em: 21 março 2020.

KREUZWIESER, J.; RENNENBERG, H. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n.10, p. 2245-2259, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/260680990>. Acesso em: 21 março 2020.

KUMAR, R. R.; KARAJOL, K.; NAIK, G. R. Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill sp.). **Recent Research in Science and Technology**, v. 3, n.1, p.148-152, 2011. Disponível em: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/565>. Acesso em: 22 março 2020.

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 52, p. 927-929, 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/755>. Acesso em: 22 março 2020.

LIANG, X.; ZHANG, L.; NATARAJAN, S. K.; BECKER, D. F. Proline Mechanisms of Stress Survival. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 19, n. 9, p. 998-1011, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3763223/pdf/ars.2012.5074.pdf>. Acesso em: 23 março 2020.

LOHMANN, L. G. *Tabebuia* in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/refloradobrasil/FB114257>. Acesso em: 26 fev. 2020.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. Nova Odessa: Editora **Plantarum**, 1998. 352p.

MANIK, S. M. N.; PENGILLEY, G.; DEAN, G.; FIELD, B.; SHABALA, S.; ZHOU, M. Soil and Crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity. **Plant Science Solutions**, v. 10, n.140, p.1-23, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00140/full>. Acesso em: 17 março 2020.

MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at diferente temperatures and water stress levels, and seedlin emergence from diferente depths of *Ziziphus lotus*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 453-459, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629910001134> Acesso em: 15 março 2020.

MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; APARICIO, F.; PALLÁS, V.; MARTÍNEZ, V.; CARVAJAL, M.; Influence of saline stress on root hydraulic conductance and PIP expression in *Arabidopsis*. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 6, p. 689-697, 2003. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Influence-of-saline-stress-on-root-hydraulic-conductance-and-PIP-expression-in-Arabidopsis.pdf Acesso em: 14 fev. 2020.

MATOS, E. **Árvores para a cidade**. Ministério Público do Estado da Bahia: Solisluna. p. 340, 2009.

MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSO- FABRO, 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. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/69490/2-s2.0-35348845259.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 abr. 2020.

MELO, Yuri Lima. **Caracterização e desempenho agrônômico de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em diferentes microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte**. 2012. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/tede/74/1/YuriLM_DISSERT.pdf. Acesso em: 08 abr. 2020.

MORALES-OLMEDO, M.; ORTIZ, M.; SELLÉS, G. Effects of transiente soil waterlogging and itas importance for rootstock selection. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 75, n. 1, p. 45- 55, 2015. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v75s1/at06.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MOROZOVA, O.; HIRST, M.; MARRA, M. A. Applications of new sequencing technologies for transcriptome analysis. **Annual review of genomics and human genetics**, v. 10, p. 135-151, 2009. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-genom-082908-145957>. Acesso em: 10 jun. 2020.

NGUYEN, L. T. T.; OSANAI, Y.; ANDERSON, I. C.; BANGE, M. P.; BRAUNACK, M.; TISSUE, D. T. & SINGH, B. K. Impacts of waterlogging on soil nitrification and ammonia-oxidizing communities in farming system. **Plant and Soil**, v. 2, n. 426, p. 299-311, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324008110> Acesso em: 20 março 2020.

OLIVEIRA DE, A. K. M. & GUALTIERI, S. C. J. Gás Exchange in Young plants of *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) subjected to flooding stress. **Revista árvore**, v. 40, n. 1, p. 39-49, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v40n1/0100-6762-rarv-40-01-0039.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2018.

OLIVEIRA DE, 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.181-192, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/26457/0>. Acesso em: 14 abr. 2018.

PIERIK, R.; VAN AKEN, J. M.; VOESENEK, L. A. C. J. Is elongation- induced leaf emergence beneficial for submerged Rumex species? **Annals of Botany**, v. 103, n. 2, p. 353-357, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/103/2/353/187673>. Acesso em: 12 fev. 2020.

PINTO, J. R. S.; DOMBROSK, J. L. D.; DE FREITAS, R. M. O.; DE SOUZA, G. O.; JÚNIOR, J. H. S. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v.46, n.4, p.465- 472, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/42665>. Acesso em: 25 maio 2020.

RAMOS, T. J. N.; SOUZA, C. M. A.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, J. M. S. Physiological and metabolic responses in grasses under flooding. **Revista Ciências Agrárias**, v. 54, n. 4, p. 78-84, 2011. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113351191>. Acesso em: 28 março 2020.

RENGIFO, E.; TEZARA, W.; HERRERA, A. Water relations, chlorophyll a fluorescence, and contents of saccharides in tree species of a tropical forest in response to flood. **Photosynthetica**, v. 43, n. 2, p. 203-210, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-005-0034-x>. Acesso em: 29 março 2020.

RIBEIRO, M. N. O; CARVALHO, S. P; PEREIRA, F. J; CASTRO, E. M. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902012000200019&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 30 março 2020.

RIBEIRO, Aliny Clawdy Mota. **Efeito do alagamento e da luminosidade em plantas de *Vitex cymosa*: respostas fisiológicas, bioquímicas e morfoanatômicas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18122/3/2014_AlinyClawdyMotaRibeiro.pdf. Acesso em: 01 abr. 2020.

SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; DE NOVAES M. C.; DE OLIVEIRA, S. R. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, v.18, n. 4, p. 647-660, 2013. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/570>. Acesso em: 15 fev. 2020.

SCREMIN-DIAS, E.; LORENZ-LEMKE, A. P.; OLIVEIRA, A. K. M. The floristic heterogeneity of the Pantanal and the occurrence of species with different adaptive strategies to water stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 275-282, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/bjb/v71n1s1/06.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SIMS, D.; SUDBERY, I.; ILOTT, N. E.; HEGER, A & PONTING, C. P. Sequencing depth and coverage: key considerations in genomic analyses. **Nature Reviews Genetics**, v. 15, n. 2, p.121-132, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24434847>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SINGH, A. K.; VIJAI, P.; SRIVASTAVA, J. P. Plants under waterlogged conditions: an overview. *In*: GUPTA, S. K., GOYAL, M. R.; SINGH, A (Orgs.). **Engineering practices for management of soil salinity: Agricultural, physiological and adaptative approaches**. Apple Academic Press Inc, Oakville, Canadá, 2019.

SOBREIRO, Mariane Brom. **Expressão gênica diferencial de quatro espécies da Aliança Tabebuia em resposta ao déficit hídrico**. 2017. Dissertação (Mestrado Genética e Biologia Molecular). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7212>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SPIELAGEN, R. F. Hotspots in the Arctic: natural archives as an early warning system for global warming. **Geology**, v. 40, n.11, p. 1055-1.056, 2012. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article/40/11/1055/130766/Hotspots-in-the-Arctic-Natural-archives-as-an>. Acesso em: 25 fev. 2020.

STEFFENS, B.; RASMUSSEN, A. The physiology of adventitious roots. **Plant Physiology**, v. 170, p. 603-617, 2016. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/170/2/603.full.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2020.

STRIKER, G. G. Flooding stress on plants: anatomical, morphological and physiological responses. **Botany**, p.1-28, 2012. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/botany/flooding-stress-on-plants-anatomical-morphological-and-physiological-response>. Acesso em: 26 fev. 2020.

TAN, X., XU, H., KHAN, S., EQUIZA, M. A., LEE, S. H., VAZIRIYEGANEH, M. & ZWIAZEK, J. J. Plant water transport and aquaporins in oxygen-deprived environments. **Journal of Plant Physiology**, v. 227, p. 20-30, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161718301767#:~:text=Oxygen%20deprivation%20commonly%20affects%20plants,relations%20and%20upsets%20water%20balance.&text=In%20addition%20to%20water%20transport,O2%2C%20and%20lactic%20acid>. Acesso em: 04 março 2020.

THOMAS, A. L.; SODEK, L. Amino acid and ureide transport in the xylem of symbiotic soybean plants during short-term flooding of the root system in the presence of different sources of nitrogen. **Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 2, p.333-339, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202006000200010. Acesso em: 19 março 2020.

TUO, X- Q.; LI, S.; WU, Q- S.; ZOU, Y- N.; Alleviation of waterlogged stress in peach seedlings inoculated with *Funneliformis mossae*: changes in chlorophyll and proline metabolism. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 130-134, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815301862>. Acesso em: 04 março 2020.

VIDAL, D. B.; ANDRADE, I. L. M. M., DALMOLIN, A.; MIELKE, M. Photosynthesis and growth of Copaiba seedlings subjected to soil flooding. **Floresta Ambiente**, v.26, n.1, p.1-8, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/floram/v26n1/2179-8087-floram-26-1-e20160596.pdf>. Acesso em: 14 maio 2020.

VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flooding tolerance: O₂ sensing and survival strategies. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 16, n. 5, p. 647-653, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369526613000915>. Acesso em: 12 março 2020.

VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flood adaptive traits and processes: an overview. **New Phytologist**, v. 206, n. 1, p. 57-73, 2015. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/nph.13209>. Acesso em: 11 março 2020.

WANG, Z.; GERSTEIN, M.; SNYDER, M. Rna-seq: a revolutionary tool for transcriptomics. **Nature reviews genetics**, v. 10, n. 1, p. 57-63, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19015660>. Acesso em: 10 jun. 2020.

WIEDENROTH, E-M. Responses of roots to hypoxia: their structural and energy relations with the whole plant. **Environmental and Experimental Botany**, v. 33, n.1, p. 45-55, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/009884729390054J>. Acesso em: 16 março 2020.

WITTMANN, F.; MARQUES, M. C.; JÚNIOR, G. D.; BUDKE, J. C.; PIEDADE, M. T.; WITTMANN, A. O.; MONTERO, J.C.; ASSIS, R. L.; TARGHETTA, N.; PAROLIN, P.; JUNK, W. J. & HOUSEHOLDER J. E. The Brazilian freshwater wetlands: changes in tree community diversity and composition on climatic and geographic gradients. **Plos one**, v. 12, n. 4, p. 1-18, 2017. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/14676/1/artigo-inpa.pdf>. Acesso em: 16 março 2020.

ZAIDE, P. H.; RAFIQUE, S.; RAI, P. K.; SINGH, N. N.; SRINIVASAN, G. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays L*): susceptible crop growth stage and identification of tolerant genotypes. **Field Crops Research**, v.90, p.189-202, 2004. Disponível em: <http://46.20.115.203/download/cis/80802.pdf>. Acesso em: 17 março 2020.

ZUNTINI, A. R.; LOHMANN, L. G. *Tabebuia aurea*. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região centro-oeste**. Brasília, DF: MMA, 2016.

CAPÍTULO 2: O ajuste osmótico e a manutenção do teor de clorofila são mecanismos cruciais no estabelecimento inicial de plantas de *Tabebuia aurea* (SILVA MANSO) BENTH. & HOOK. F. EX. S. MOORE (Bignoniaceae) em condições de alagamento

**O AJUSTE OSMÓTICO E A MANUTENÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA SÃO
MECANISMOS CRUCIAIS NO ESTABELECIMENTO DE PLANTAS DE *Tabebuia
aurea* (SILVA MANSO) BENTH. & HOOK. F. EX. S. MOORE (Bignoniaceae) EM
CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO**

(Artigo nas normas da Revista *Árvore*)

Dayse Alves Marques¹ Gilberto Costa Justino^{1,2}

¹ Universidade Federal de Alagoas, Laboratório de Fisiologia vegetal, Tabuleiro dos Martins, 57073-460, Maceió, AL, Brasil

¹ Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL, Brasil; Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL, Brasil; Centro de Ciências Agrárias, BR 104 – Norte, s/n, Cidade Universitária, Maceió, AL, Brasil.

² Autor para correspondência: gilcostjust@gmail.com

RESUMO - *Tabebuia aurea* é uma espécie rústica encontrada em vários biomas brasileiros, dentre os quais, alguns passam por alagamento sazonal ou permanente. No entanto, não se tem nenhuma informação de como ocorre o processo de estabelecimento inicial dessa espécie em condições de alagamento. Assim, o objetivo desse estudo foi verificar se plantas de *T. aurea* em fase inicial de crescimento desenvolveriam mecanismos fisiológicos e bioquímicos de tolerância ao estresse desencadeado por alagamento, visando a aplicação em ações de reflorestamento de áreas degradadas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com 100 plantas com três meses de idade divididas em dois tratamentos: controle e alagado, durante 30 dias. Em resposta ao estresse, *T. aurea* aumentou os teores de aminoácidos como a prolina, reduziu os teores de nitrato e proteínas, no entanto, os carboidratos não diferiram entre os tratamentos. Quanto as respostas fisiológicas, as plantas alagadas reduziram a condutância estomática, transpiração, concentração interna de carbono e fotossíntese, mas apresentaram uma maior eficiência no uso da água. Adicionalmente, as plantas alagadas reduziram a eficiência quântica efetiva (Yield), os parâmetros de crescimento e a produção de biomassa. No entanto, as plantas de *T. aurea* mantiveram o metabolismo ativo, o que foi evidenciado pelo acúmulo de prolina (ajuste osmótico), contribuindo para a manutenção do aparato fotossintético (Fv/Fm) e conseqüentemente o teor de clorofila, mostrando assim, uma retomada das taxas fotossintéticas. Dessa forma, esses mecanismos de tolerância são válidos para *T. aurea* desde o início da vida, indicando que essa é uma espécie promissora em processos de reflorestamento de áreas degradadas em regiões que passam por alagamento permanente ou sazonal do solo.

Palavras-chave: Estresse hídrico, osmorreguladores, parâmetros fisiológicos e bioquímicos.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões climáticos do planeta são consideradas, em escala geológica, eventos naturais que irão permear os ambientes terrestres (Wright, 2017). No entanto, nos últimos anos, as atividades antrópicas de exploração aos serviços ecossistêmicos vêm acelerando essas alterações nos padrões climáticos globais, afetando os componentes físicos dos ecossistemas e o estabelecimento das espécies (Shukla et al., 2019). Assim, diante desse cenário, além da redução da pluviosidade e elevação da temperatura global, é possível que ocorram mudanças nos fluxos dos rios e eventos de altas precipitações, causando alagamento em diversas áreas (Artusi, 2020). Dessa forma, diversas espécies de plantas podem encontrar-se distribuídas em locais que ocorram eventuais condições de inundação do solo, caracterizando um estresse abiótico que limita o seu crescimento e sobrevivência (Paul et al., 2016; Elkelish et al., 2019).

O sucesso no estabelecimento de espécies que encontram-se distribuídas em condições de alagamento está diretamente atrelado a um conjunto de estratégias morfofisiológicas e metabólicas que visam mitigar os efeitos adversos do estresse por saturação hídrica do solo (Chen et al., 2017; Li et al., 2018). Essas informações são muito importantes para subsidiarem processos de reflorestamento em áreas degradadas onde é comum a ocorrência de variações no estado hídrico do solo (Santiago e Paoli, 2007). Entre esses mecanismos de tolerância, destacam-se a hipertrofia de lenticelas, a formação de raízes adventícias (Song et al., 2017), redução da área foliar (Binnotto et al., 2016), reduções no crescimento da parte aérea, como forma de economia energética (Garssen et al., 2015) ativação de um sistema antioxidante (Ferreira et al., 2009, Garssen et al., 2015) e acúmulo de solutos compatíveis (Qin et al., 2013).

As espécies vegetais sob estresse hídrico ocasionado por inundação do solo precisam desenvolver um conjunto de adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas para sobreviverem aos danos causados pela deficiência de oxigênio no sistema radicular (Ravanbakhsh et al., 2017; Anee et al., 2019). Assim, a ausência de O_2 impede a respiração aeróbica, o que gera uma baixa disponibilidade de ATP para as funções vitais da planta (Da Silva e Do Amarante, 2020). Adicionalmente, o estresse se intensifica pela redução do potencial hídrico foliar, oriundo do fechamento dos canais de aquaporinas, que conduzem água para o interior da célula (Tan et al., 2018). Dessa forma, pelo baixo potencial de turgor celular, o metabolismo vegetal aciona uma condição de seca fisiológica, o que promove o fechamento estomático como prevenção à desidratação (Ribeiro et al., 2015). No entanto, mesmo sendo uma resposta fisiológica benéfica à planta por reduzir a transpiração, a limitação estomática

reduz o fluxo de CO₂ intercelular, o que afeta a fotossíntese e a biomassa do vegetal (Kreuzwiser e Rennenberg, 2014).

Além disso, outros sintomas típicos das plantas em condições de alagamento incluem mudança do metabolismo aeróbico para o anaeróbico, perda de folhas, desequilíbrio hormonal, deficiência na absorção de nutrientes, bem como, redução da produção líquida (Liu et al., 2020). Também ocorrem danos à enzima redutase do nitrato que é sensível em condições de hipóxia, devido a baixa disponibilidade hídrica, o que conseqüentemente reduz os teores de nitrato e proteínas (Silva e Amarante, 2020). Adicionalmente, o metabolismo anaeróbico promove o acúmulo de produtos tóxicos, as espécies reativas de oxigênio, que danificam a integridade das membranas celulares (Jia et al., 2019).

Diversos estudos vêm mostrando que *T. aurea* é tolerante às condições de estresse por alagamento do solo, com potencial para ser empregada em ações de recuperação de áreas degradadas em ambientes que passam por inundação (Ferreira, 2011; Oliveira e Gualtieri, 2016; Oliveira e Gualtieri, 2017). Com tudo, esses estudos não levam em consideração plantas em fase inicial de estabelecimento, fazendo com que, as investigações sobre os mecanismos fisiológicos e bioquímicos durante seus primeiros estágios de vida se tornem extremamente importantes para subsidiar o sucesso em ações de reflorestamento de áreas degradadas. Assim, existe uma lacuna na literatura sobre os mecanismos de tolerância desenvolvidos por essa espécie durante seu processo de estabelecimento inicial em condições de alagamento. Para isso, o objetivo desse estudo foi verificar se plantas de *T. aurea* em fase inicial de crescimento desenvolveriam mecanismos fisiológicos e bioquímicos de tolerância ao estresse desencadeado por alagamento, visando a aplicação em ações de reflorestamento de áreas degradadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação do experimento

O presente experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo-AL (09°28'S; 35°49'W e 127 m de altitude). O experimento foi realizado no período de abril de 2019 a maio de 2019, totalizando 30 dias.

As condições meteorológicas durante o período do experimento foram registradas por uma estação meteorológica automática modelo WS - GP1 (DELTA-T Devices, Cambridge - England), instalada na casa de vegetação, registrando dados referentes à temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) a cada 5 min e a média armazenada a cada 15 minutos em datalog. Com base nos dados de umidade e temperatura foi calculado o déficit de pressão de vapor do Ar (DPV- KPa) de acordo com Allen et al., 1998 (Fig. 1).

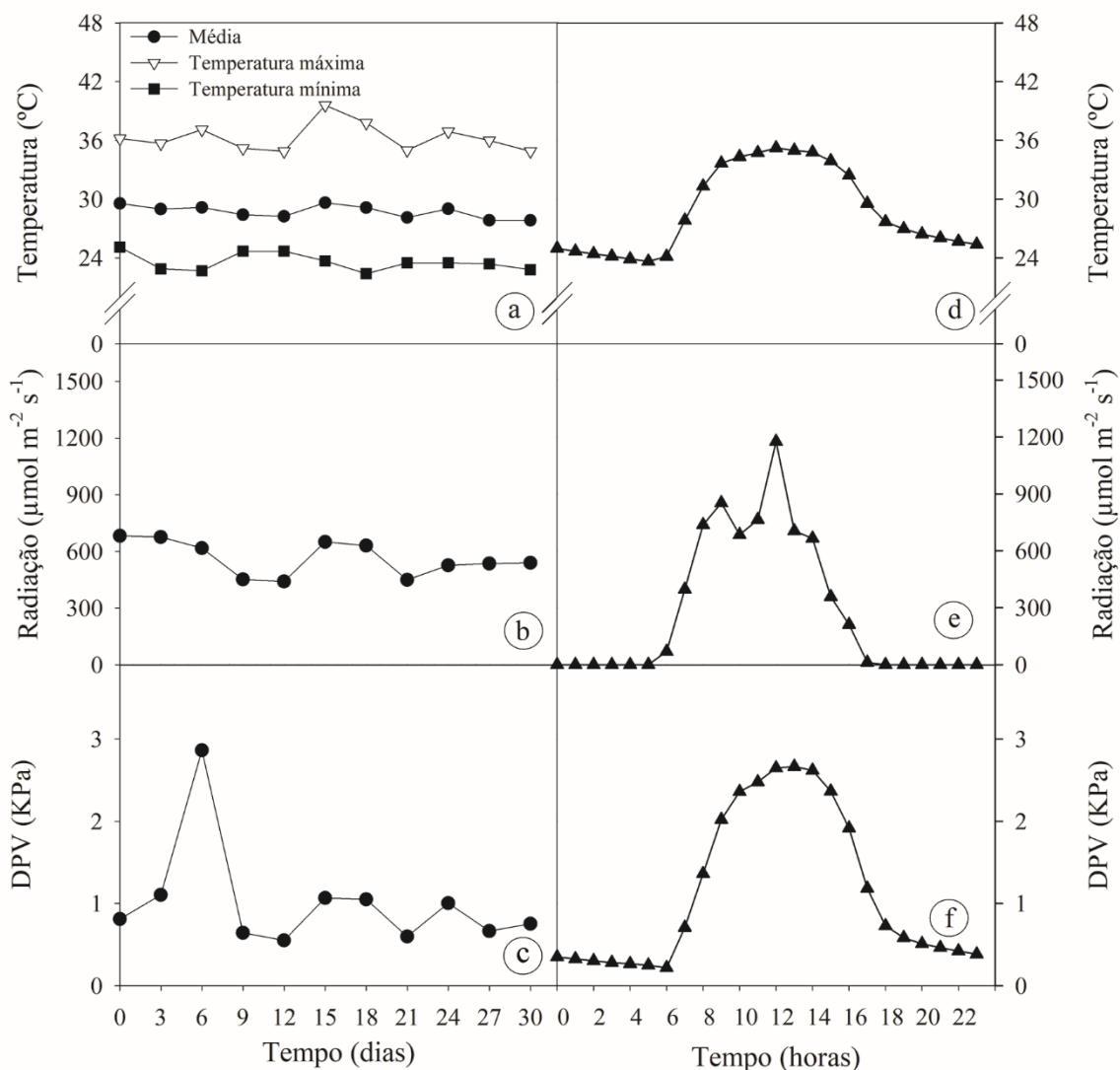


Figura 1- Condições metereológicas durante o experimento em casa de vegetação. a. Temperatura; b. radiação; c. DPV referentes ao período experimental, de 30 de abril a 30 de maio de 2019 e d. temperatura; e. radiação e f. DPV nos dias de coleta de dados.

As sementes de *T. aurea* foram coletadas no dia 20 de dezembro de 2018 em matrizes do campus da Universidade Federal de Alagoas (9°33'04,8'S - 35°46'14,8'W) e germinadas em copos descartáveis contendo solo sob condições naturais, temperatura e luz ambiente no Galpão do Laboratório de Fisiologia Vegetal no Centro de Ciências Agrárias (CECA-UFAL). Após 30 dias, 120 mudas foram selecionadas pela uniformidade de tamanho e bom estágio fitossanitário e transplantadas para baldes de 4 L (uma planta por vaso) com furos no fundo. Após 30 dias do transplântio, as mudas foram levadas para casa de vegetação para aclimatação. Depois de 30 dias, das 120 mudas, foram destruídas 20 para a biomassa inicial, restando 100 mudas para a condução do experimento.

Plantas com três meses de idade foram organizadas em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e submetidas a dois tratamentos, com 50 repetições cada um: (1) controle: plantas diariamente hidratadas até atingir capacidade de campo; (2) alagado: plantas sujeitas ao alagamento do solo. Para as análises bioquímicas foram usadas 5 réplicas de cada tratamento e para as fisiológicas, biometria e biomassa foram usadas 10 réplicas de cada tratamento. O alagamento foi simulado colocando o balde com a planta dentro de outro balde sem furo. Após, encheu-se de água, cobrindo todo o sistema radicular.

Após o início dos tratamentos, a cada três dias, foram mensuradas as variáveis bioquímicas (2.1.1 a 2.1.6) e fisiológicas (2.1.7 a 2.2). No entanto, a eficiência quântica potencial do fotossistema II- F_v/F_m e potencial hídrico foliar na antemã foram mensuradas somente aos 3, 12, 21 e 30 dias. Os dados de biometria e biomassa (2.2.1) foram mensurados apenas nos dias 0 e 30. Ao fim do experimento, 20 plantas que vinham sendo analisadas foram destruídas para a biomassa final.

2.1.1 Coleta do material vegetal e obtenção do extrato para quantificação de compostos bioquímicos e de compostos nitrogenados

A coleta de material vegetal foi realizada próximo ao meio dia. Assim, foi utilizada a segunda folha adulta de cada planta, contando do sentindo ápice-base, que foi cortada e colocada em papel alumínio, devidamente identificada e, em seguida, congelada em nitrogênio líquido e armazenada em *ultra freezer*. Posteriormente, o material vegetal foi liofilizado por 24

horas e, em seguida, procederam-se as análises bioquímicas. Cada amostra foi representada por um extrato simples dosado em duplicatas.

Para a obtenção do extrato para quantificação de prolina foliar livre, aminoácidos livres totais, nitrato foliar, açúcares solúveis totais e proteínas foram utilizados 100 mg de pó de material foliar liofilizado em 10 mL de MCA (metanol: clorofórmio: água) na proporção 12:5:3, previamente macerados com auxílio de nitrogênio líquido, segundo metodologia proposta por Bialeski e Turner (1966), com modificações de Brandão (2005). As amostras foram acondicionadas em tubos do tipo Falcon e agitadas vigorosamente. Após, as amostras foram mantidas sob refrigeração por 24 horas para que houvesse a extração dos compostos supracitados, seguido de centrifugação a 4.000 x g, por 9 minutos. O material vegetal precipitado foi reservado para a elaboração do extrato para dosagem de proteínas. O sobrenadante foi transferido para um tubo do tipo falcon de 50 mL e para cada 4 mL de extrato foram adicionados 1 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água deionizada. O tubo foi agitado vigorosamente por 20 segundos e mantido sob refrigeração por 24 h para separação das fases. Após isso, o sobrenadante foi transferido para tubos de ensaio e levados ao banho-maria à 38 °C, por cerca de 20 h para eliminação dos resíduos de clorofórmio. Após esta etapa, o volume foi medido e o extrato conservado em freezer à -20 °C.

2.1.2 Quantificação de prolina foliar

A quantificação de prolina foliar livre foi realizada conforme as recomendações de Rena e Masciotti (1976), com modificações de Marcos (2012). Foram adicionados em tubos de ensaio com tampas rosqueáveis 1 mL do extrato MCA obtido como descrito anteriormente, 100 µL de glicina 0,13 M e 2,6 mL de água deionizada, seguidos de breve agitação. Em seguida, foram adicionados 2 mL de ácido acético concentrado e 2 mL de uma solução de ninhidrina ácida (600 mg de ninhidrina + 15 mL de ácido acético concentrado + 10 mL de ácido fosfórico 6 M) e agitados vigorosamente. A mistura foi incubada em banho-maria à 100 °C por 30 minutos. Após, em banho de gelo, cada tudo recebeu 4 mL de tolueno e foi agitado vigorosamente por 15 segundos. O sobrenadante foi coletado e a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a 515 nm, sendo o tolueno concentrado utilizado como branco. Os teores de prolina foram expressos em µmol g⁻¹ MS, com auxílio de uma reta padrão de prolina (0, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 e 0,05 µmol).

2.1.3 Quantificação de aminoácidos livres totais

Foi utilizado o método descrito por Yemm e Cocking (1955), onde 100 μL de extrato proveniente da solução MCA (25 μL de extrato puro diluído em 475 μL de água deionizada) foi adicionado a 250 μL de tampão citrato, 500 de KCN 2% (v/v) diluído a partir de uma solução de 0,01 M de KCN em água e 100 μL de ninhidrina 5% (em metil glicol). Essa mistura foi agitada vigorosamente em agitador por 10 segundos e incubada ao banho-maria por 20 min a 100 °C. Após, a reação foi interrompida em banho de gelo por 10 minutos e após esse tempo, foram acrescentados 650 μL de etanol 60%. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 570 nm. A concentração de aminoácidos solúveis totais foi avaliada utilizando uma curva padrão de aminoácidos (pool de aminoácidos arginina, glicina, ácido glutâmico e fenilalanina) nas concentrações: 0, 0,5, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35 μmol e foi expressa em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS.

2.1.4 Quantificação do nitrato foliar

O teor de NO_3^- foi determinado conforme Cataldo et al. (1975). Foram adicionados em tubos de ensaio 200 μL do extrato MCA, 70 μL de água deionizada e 0,2 mL de ácido salicílico 5% (em H_2SO_4), seguido de agitação e posterior repouso por 20 minutos em temperatura ambiente. Foram acrescentados 4,7 mL de NaOH 2N, e o material ficou novamente em repouso por 20 minutos. As absorbâncias foram acompanhadas em espectrofotômetro a 410 nm, zerado com o “branco”, onde foi utilizada água deionizada como substituinte do extrato. O nitrato de potássio (KNO_3) foi utilizado como padrão de quantificação na elaboração da curva padrão (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 μg) e os teores de nitrato foliar foram expressos em $\mu\text{mol de NO}_3^- / \text{g MS}$.

2.1.5 Dosagem de proteínas

Para dosagem de proteínas, foi produzido o extrato a partir do material foliar precipitado e reservado durante a extração dos osmoprotetores como descrito anteriormente, seguindo recomendações de Brandão (2005). O precipitado foi ressuspenso em 10 mL de NaOH 0,1 N, através de agitação vigorosa em agitador de tubos tipo vórtex e permaneceu 24 h sob refrigeração. Após esse período, o extrato foi centrifugado 4.000 x g, por 9 minutos e o sobrenadante foi utilizado para quantificação de proteínas.

A determinação dos teores de proteína foi realizada seguindo a metodologia de Bradford (1976), através do método de ligação das proteínas ao corante Coomassie Brilliant Blue G-250 da solução Bradford. Para o preparo desta solução, em um balão, foram adicionados 100 mg do corante Coomassie Brilliant Blue G-250 em 50 mL de álcool etílico 95%, e, após agitação até

a total dissolução do corante, foram acrescentados 100 mL de ácido fosfórico 85%. Após nova agitação, o volume da solução foi completado para 1 L com água destilada e filtrado 5x em papel filtro.

Para a determinação dos teores de proteína, foram pipetados 50 μL de extrato em tubos de ensaio, 200 μL de água deionizada e 2 mL da solução Bradford. Após agitação, as leituras das absorbâncias foram realizadas à 595 nm em espectrofotômetro zerado com um “branco” elaborado com água deionizada como substituinte do extrato. Os resultados foram calculados com o auxílio de uma curva padrão de albumina sérica bovina - BSA (0, 5, 10, 15, 20, 20, 25, 30 μg) e expressos em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ MS.

2.1.6 Quantificação de açúcares solúveis totais

A quantificação dos açúcares solúveis totais foi realizada de acordo com Dubois et al. (1956). Foi utilizado o extrato MCA obtido como descrito anteriormente, em um meio de reação contendo fenol 5% e ácido sulfúrico concentrado. Após breve agitação, esta solução foi submetida a um banho de gelo durante 10 minutos e, então, suas absorbâncias foram aferidas em espectrofotômetro à 490 nm. A concentração de açúcares solúveis foi determinada com auxílio de uma reta padrão de glicose (0 - 55,0 μg) e foi expressa em $\mu\text{g/g}$ MS.

2.1.7 Potencial hídrico foliar

A verificação do estado hídrico da planta foi realizada por meio do potencial hídrico foliar (Ψ_w) com a utilização de uma bomba de pressão que mede a tensão de água existente nas folhas (Scholander). As medidas foram realizadas na antemãnhã (entre 4 e 5h) e ao meio dia (entre 12h e 13h).

2.1.8 Determinação das trocas gasosas

As medições das trocas gasosas foram realizadas entre 8:00 e 10:00 horas da manhã em folhas completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário, a partir da utilização de um analisador portátil de CO_2 a infravermelho (IRGA). A câmara do IRGA (Li-cor 6400) foi ajustada para trabalhar com fluxo de 2000 $\mu\text{mol s}^{-1}$ e a câmara foliar ajustada para a concentração de CO_2 400 ppm e temperatura de 27°C. As variáveis analisadas foram: taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i). A eficiência instantânea no uso da água (EUA) foi obtida a partir dos dados de fotossíntese e transpiração por meio da razão:

$$\text{EUA } (\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}) = \text{fotossíntese} / \text{transpiração}.$$

2.1.9 Eficiência quântica potencial e efetiva

A eficiência quântica potencial do PSII (Fv/Fm) foi determinada na antemanhã e ao meio dia após adaptar as folhas ao escuro, por aproximadamente 20 minutos por meio de pinças foliares, para promover o fechamento dos centros de reações do PSII, de acordo com o método descrito por Maxwell e Johnson (2000). Para a quantificação da eficiência quântica efetiva do PSII (YIELD) foi utilizada uma haste de medida (leaf clip holder) que permitia a fixação do ângulo e distância entre a fibra óptica e o tecido foliar. Tais análises foram feitas na terceira folha completamente expandida e com bom aspecto fitossanitário, utilizando um medidor de fluorescência modulada PAM-2500 (Walz, Germany).

2.2 Índice do teor de clorofila (SPAD)

A avaliação do índice do teor de clorofila (SPAD) foi realizada através do método não destrutivo, utilizando o clorofilômetro, SPAD-502 (Minolta, Japan), sendo a média obtida de 5 leituras em folhas aleatórias, completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário.

2.2.1 Biometria e biomassa

Os dados de altura e diâmetro do caule foram mensurados por meio de uma trena graduada, considerando como padrão a medição desde a base do coleto ao nível do solo até a gema apical principal da planta, e paquímetro digital. Ao mesmo tempo foram determinados o número de folhas e os novos lançamentos em cada planta, no início e no final do experimento. As plantas foram seccionadas em folhas, caules e raízes, acondicionados em sacos de papel e pesadas (peso fresco). Após a pesagem foram levadas para a estufa em 65°C de temperatura por 72 horas e, posteriormente, foi realizada a pesagem utilizando uma balança de precisão. A área foliar foi determinada (no início e no final do experimento) a partir da coleta de todas as folhas após o peso fresco utilizando um medidor de área foliar – *Biosciences square centimeters* (área meter) - modelo Li-300 da LI-COR.

Com os dados de massa seca de raiz e parte aérea foi calculada a razão raiz/parte aérea. Foi calculada também de acordo com Magalhães (1985) a taxa assimilatória líquida (TAL g dm⁻² dia⁻¹) e de acordo com Reis e Muller (1978) a taxa de crescimento relativo (TCR g g⁻¹ dia) e a taxa de crescimento foliar relativo (TCFR = LnL2 - LnL1 / T2 - T1). Onde:

LnL2 – É a área foliar final

LnL1 – É a área foliar inicial

T2- Massa seca total (final)

T1 – Massa seca total (inicial)

2.2.2 Análises estatísticas

Para averiguar os efeitos do alagamento, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para comparar os tratamentos, e quando foi verificada diferença significativa, as médias foram submetidas ao teste T ($P < 0,05$) de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Sisvar versão 5.6. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do software Sigma Plot versão 11.0.

3. RESULTADOS

3.1 Compostos bioquímicos

O alagamento induziu o acúmulo de prolina e aminoácidos e reduziu as concentrações dos teores de proteínas e nitrato, quando comparados às plantas controle (Tabela 1). Entretanto, o teor de carboidratos solúveis totais não diferiu estatisticamente entre os tratamentos.

Tabela 1 - Compostos bioquímicos em plantas jovens de *Tabebuia aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. Médias seguidas de letras com números diferentes (a1 e a2) têm diferença estatística a 5% pelo teste T .

| Tratamentos | Dias de avaliação | | | |
|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| | 0 | 9 | 21 | 30 |
| Prolina foliar ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | | | | |
| Controle | 0,587 \pm 0,128 a1 | 0,036 \pm 0,027 a1 | 0,013 \pm 0,002 a1 | 0,267 \pm 0,0008 a1 |
| Alagado | 0,670 \pm 0,199 a1 | 0,582 \pm 0,116 a2 | 0,329 \pm 0,060 a2 | 0,631 \pm 0,123 a2 |
| Aminoácidos livres totais ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | | | | |
| Controle | 118,80 \pm 25,07 a1 | 97,68 \pm 11,37 a1 | 49,124 \pm 5,72 a1 | 70,41 \pm 5,37 a1 |
| Alagado | 119,080 \pm 23,72 a1 | 115,98 \pm 8,80 a2 | 67,12 \pm 7,64 a2 | 83,95 \pm 8,42 a2 |
| Nitrato foliar ($\text{NO}_3/\text{g MS}$) | | | | |
| Controle | 10,46 \pm 2,56 a1 | 13,23 \pm 0,752 a1 | 17,27 \pm 1,66 a1 | 12,78 \pm 1,325 a1 |
| Alagado | 8,778 \pm 2,20 a1 | 10,40 \pm 1,162 a2 | 8,49 \pm 1,74 a2 | 6,808 \pm 1,757 a2 |
| Proteínas (mg.g^{-1} MS) | | | | |
| Controle | 3,108 \pm 0,368 a1 | 3,503 \pm 0,503 a1 | 5,459 \pm 1,263 a1 | 4,661 \pm 0,996 a1 |
| Alagado | 3,435 \pm 0,710 a1 | 2,025 \pm 0,399 a2 | 2,499 \pm 0,902 a2 | 1,486 \pm 0,277 a2 |
| Açúcares solúveis totais (mg.g^{-1} MS) | | | | |
| Controle | 141,15 \pm 19,24 a1 | 138,19 \pm 17,01 a1 | 135,24 \pm 17,87 a1 | 149,76 \pm 24,26 a1 |
| Alagado | 150,43 \pm 17,66 a1 | 143,77 \pm 10,95 a1 | 146,05 \pm 31,24 a1 | 160,009 \pm 28,34 a1 |

3.1.1 Potencial hídrico foliar

A imposição ao alagamento reduziu o potencial hídrico, na antemanhã, em todos os dias avaliados, verificando-se no 12º dia um decréscimo de aproximadamente 46% em plantas alagadas, quando comparadas ao controle. Além disso, ao meio dia, o potencial hídrico em plantas sob alagamento foi menor nos dias 12, 21 e 30, com reduções de até 57% como verificado no 21º (Fig. 2).

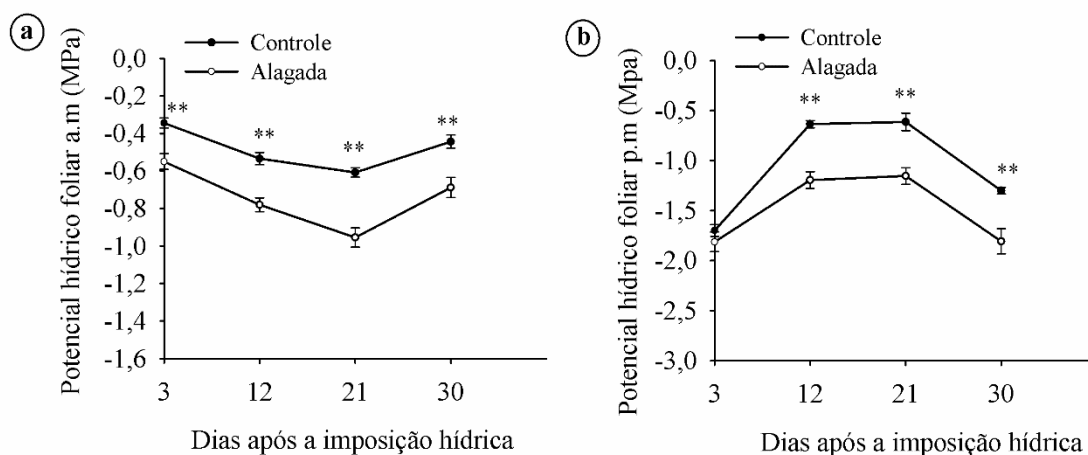


Figura 2 - Potencial hídrico foliar em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. na antemanhã e b. ao meio-dia. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

3.1.2 Trocas gasosas

Aos seis dias de alagamento, verificou-se que a fotossíntese foi inferior em plantas alagadas em cerca de 16,5%. Observou-se também redução da transpiração, condutância estomática e concentração interna de carbono em plantas sob alagamento a partir dos dias 12, 9 e 18, com cerca de 13%, 18% e 49%, respectivamente. Entretanto, a eficiência no uso da água foi maior em plantas alagadas nos dias 15, 18, 24 e 30 (Fig. 3).

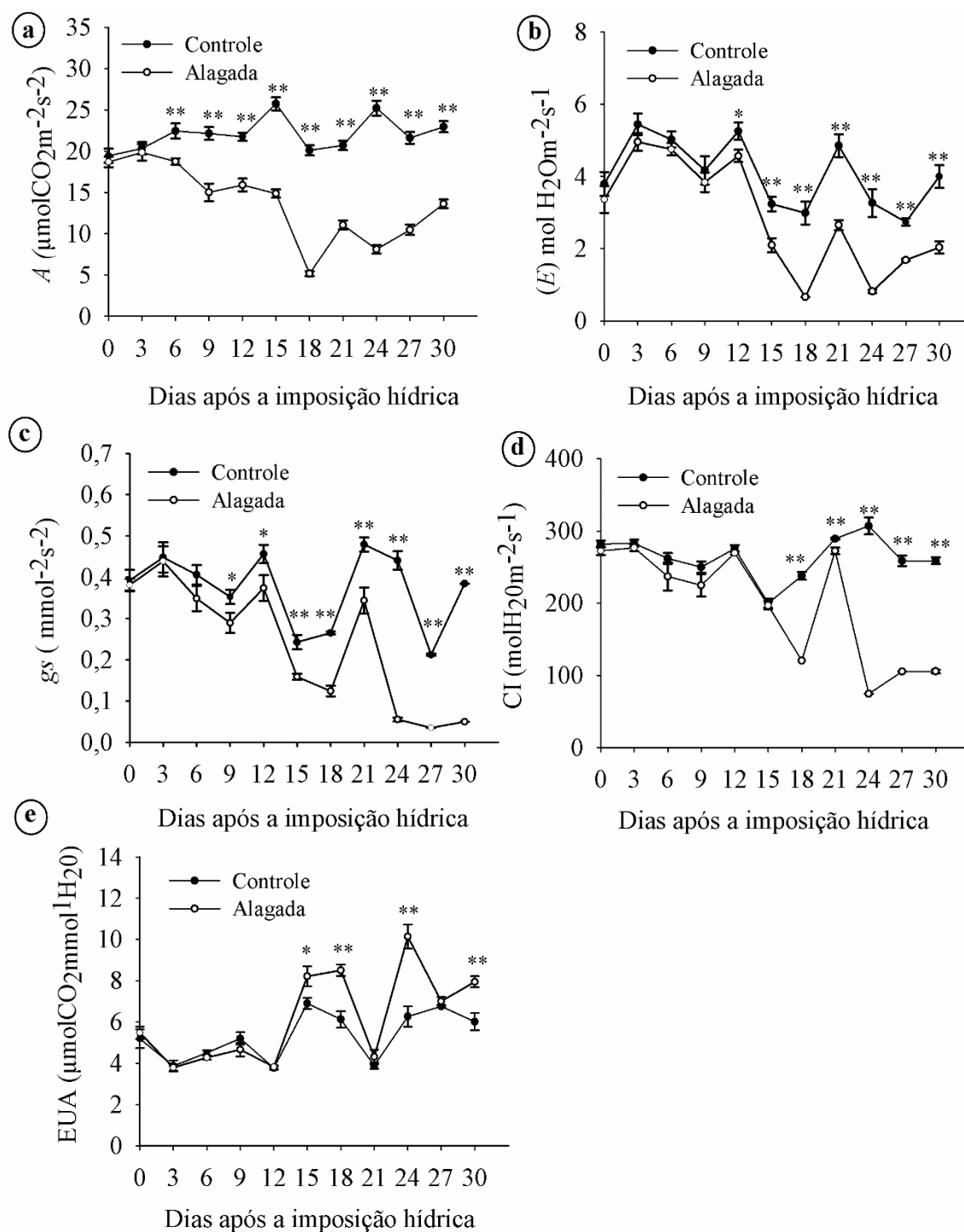


Figura 3 – Trocas gasosas em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Fotossíntese- A; b. transpiração- E; c. condutância estomática -gs; d. concentração interna de CO_2 -Ci; e. Eficiência Instantânea do uso da Água- EUA. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo T.

3.1.3 Eficiência quântica potencial e efetiva

A imposição do alagamento reduziu a eficiência quântica potencial do PSII (Fv/Fm) na antemanhã a partir do 12º dia de imposição ao estresse hídrico. Além disso, o Fv/Fm, ao meio dia, foi menor nos dias 12 e 30, com redução de apenas 7,02% como verificado no 30º dia, quando comparado ao controle. Assim, tanto na antemanhã quanto ao meio dia, as plantas alagadas apresentaram a razão Fv/Fm próxima ao controle (Fig. 4).

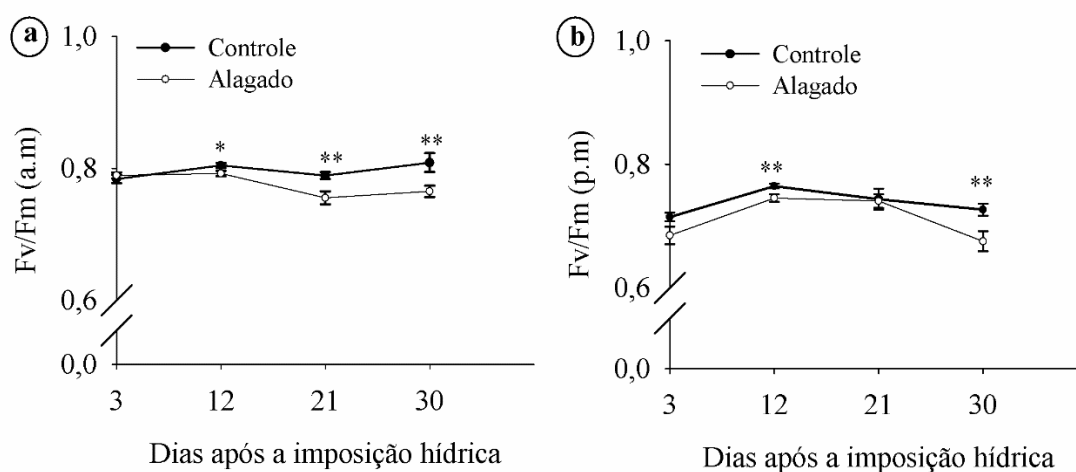


Figura 4 - Eficiência quântica potencial em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Razão Fv/Fm na antemanhã; b. ao meio-dia. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

A eficiência quântica efetiva reduziu em plantas sob alagamento a partir do 3º de imposição ao estresse e nos demais dias avaliados, exceto do 21º (Fig. 5).

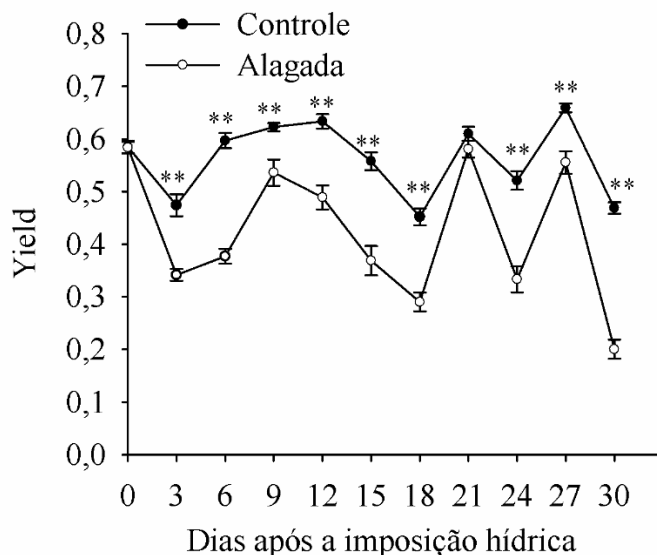


Figura 5 - Yield em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

3.1.4 Índice SPAD

O índice SPAD apresentou diferenças entre os tratamentos, sendo menor em plantas alagadas a partir do 15° dia.

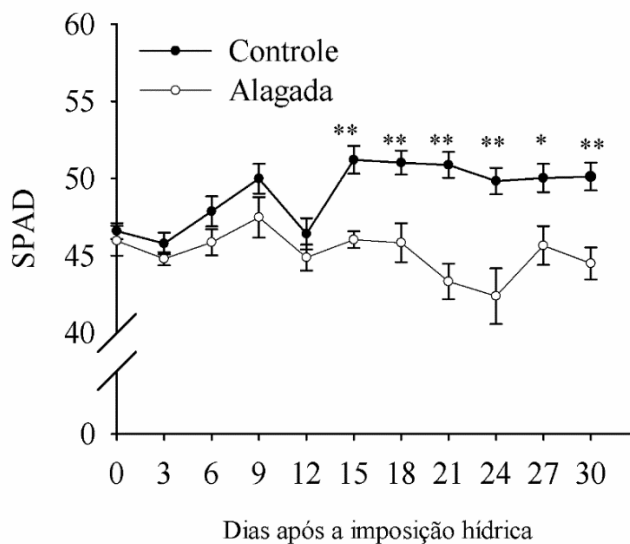


Figura 6 - Índice SPAD em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

3.1.5 Biometria e biomassa

Aos 30 dias de alagamento, verificou-se que a área foliar, altura, número de folhas e diâmetro do caule foram menores em plantas alagadas cerca de 30%, 24%, 15% e 15%, respectivamente, em relação ao controle, entre o início e o final do experimento (Fig. 7).

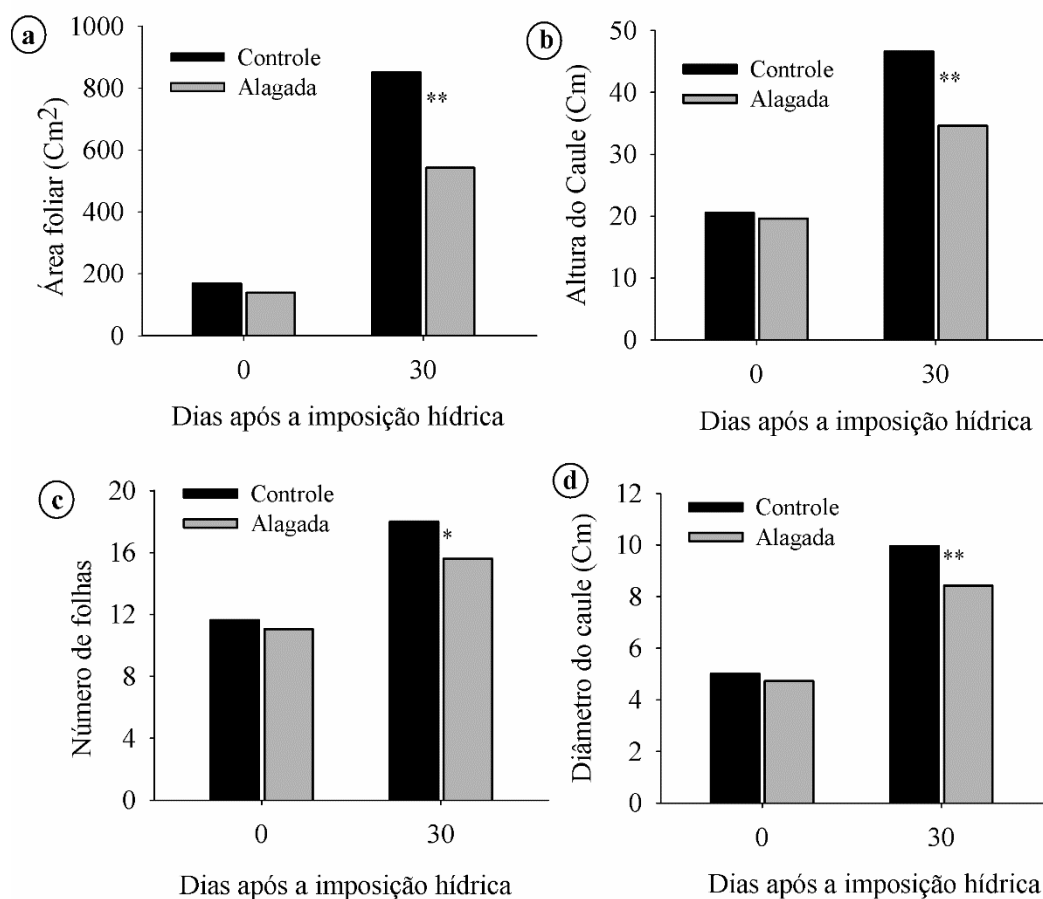


Figura 7 - Biometria de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Área foliar; b. altura do caule; c. número de folhas, d. diâmetro do caule. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

As plantas cultivadas sob condições de alagamento tiveram redução da massa seca da folha, massa seca do caule, massa seca da raiz e massa seca total em cerca de 20%, 35%, 75% e 45%, respectivamente, em relação controle, entre o início e o final do experimento.

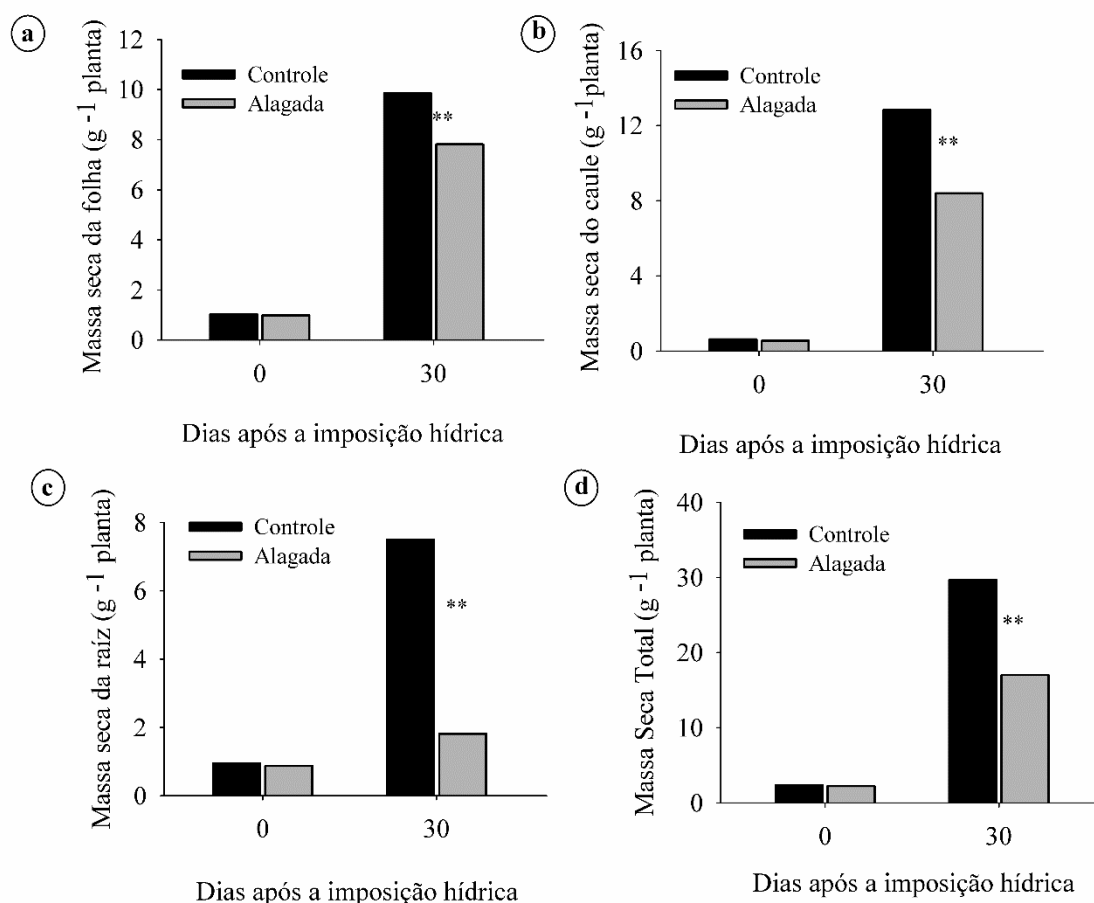


Figura 8 - Biomassa de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Massa seca da folha; b. massa seca do caule; c. massa seca da raiz; d. massa seca total. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

As plantas alagadas tiveram redução de cerca de 37,5% na razão raiz/parte aérea (Fig. 9) em relação ao controle, entre o início e o final do experimento. A taxa de crescimento relativo (TCR) foi menor em plantas alagadas cerca de 12,5% no 30º dia de imposição ao estresse hídrico. As taxas de crescimento foliar relativo (TCRF) e de assimilação líquida (TAL) não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Fig. 10).

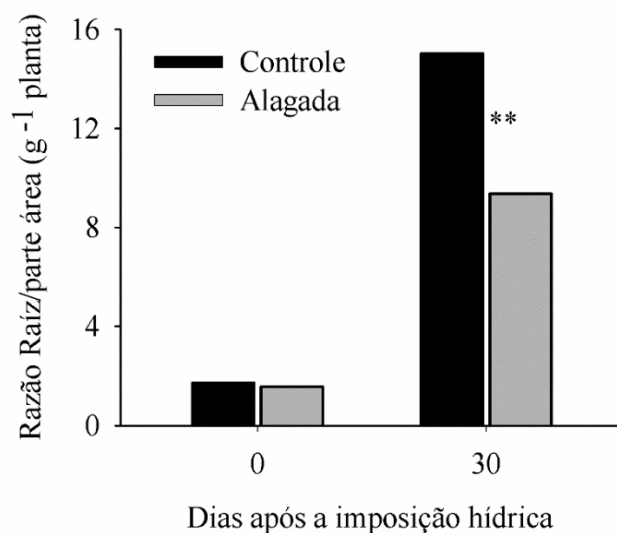


Figura 9 - Razão raiz/parte aérea de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

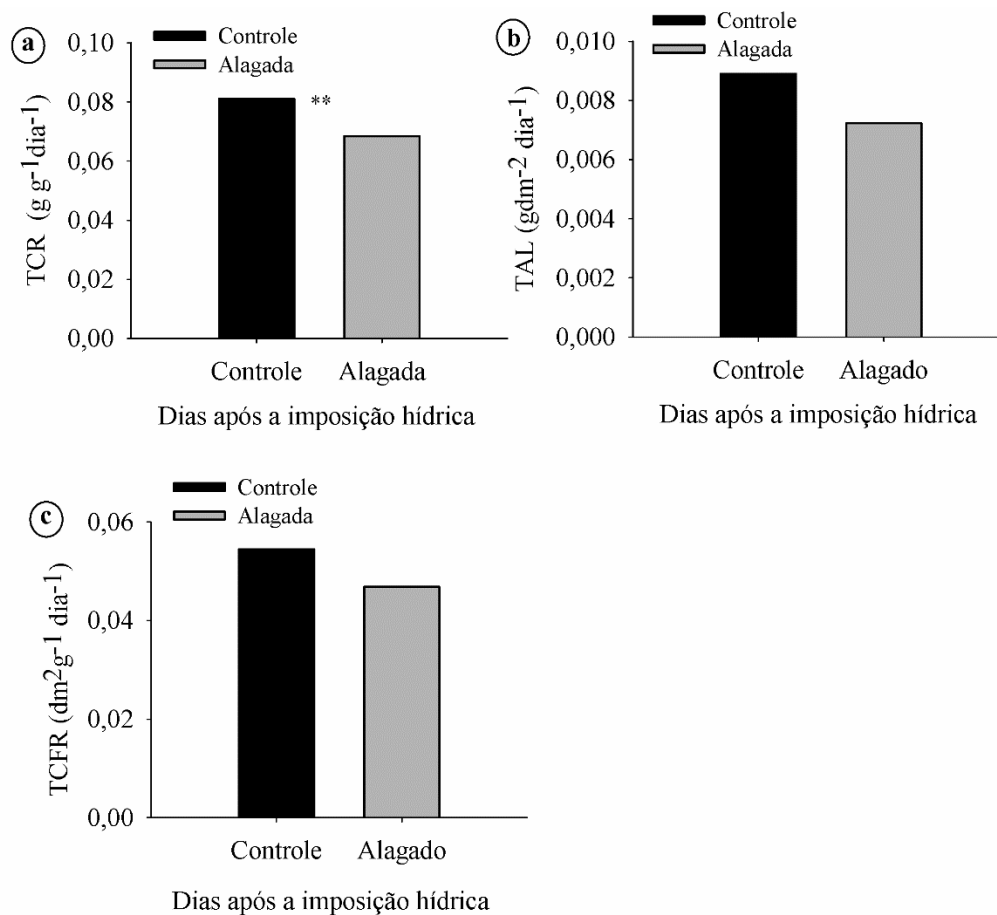


Figura 10 — Taxas de crescimento em plantas jovens de *T. aurea* cultivadas durante trinta dias em condições de alagamento em casa de vegetação. a. Taxa de crescimento relativo (TCR); b. taxa de assimilação líquida (TAL); c. taxa de crescimento foliar relativo (TCFR). *, ** mostram significância de probabilidade a 0,05 e 0,01, respectivamente, pelo teste *T*.

4. DISCUSSÃO

As plantas de *T. aurea* desenvolveram um mecanismo de osmorregulação, representado pelo aumento de compostos orgânicos solúveis, o que resultou na redução do potencial hídrico. O aumento dos teores de prolina é explicado tanto pela inibição da síntese protéica quanto pela proteólise estimulada na condição de hipóxia, o que também explica o aumento nos teores de outros aminoácidos (Thomas, 2006; Sodek, 2006). O acúmulo de prolina é uma importante estratégia utilizada pela planta durante o alagamento para maximizar seu potencial de turgor e absorção de água pelas células, evitando dessa forma, a morte por desidratação, conforme é sugerido por Kishor e Sreenivasulu (2014).

A redução da condutância estomática pode ter reduzido o fluxo da seiva xilemática, reduzindo dessa forma, a concentração de nitrato nas folhas, bem como, a atividade da enzima redutase do nitrato (Sharma e Dubey, 2005). Como consequência, a redução do teor de proteínas também foi afetada, uma vez que sua síntese depende da presença de nitrato (Li; Wang; Stewar, 2013). Resultados semelhantes ao nosso foram descritos por Cardoso et al. (2017) trabalhando com plantas de *Hymenaea courbaril* L, em que observaram que houve redução de 50% e 53,8% em teores de nitrato e proteínas, respectivamente, em folhas de plantas alagadas. Essas respostas desencadeiam aspectos negativos às plantas, pois comprometem seu crescimento (Holzschuh et al., 2011).

A manutenção nos teores de carboidratos solúveis totais indica que o alagamento não influenciou a concentração desse soluto em plantas submetidas ao estresse. Resultados diferentes do nosso foram descritos por Camisón et al. (2019) ao estudarem mudas de *Castanea Sativa* que apresentaram maior acúmulo de açúcares solúveis quando submetidas a dois meses de alagamento, que junto com a degradação de clorofila contribuiram para a redução da fotossíntese. Esse confronto de informações nos mostra que o tempo de alagamento pode influenciar nas respostas relacionadas ao acúmulo de carboidratos. Assim, como em nosso estudo o período de saturação hídrica foi apenas de 30 dias, verificamos que os carboidratos não influenciaram nas respostas bioquímicas de *T. aurea* durante o alagamento e que os aminoácidos como a prolina foram os osmólitos mais responsivos durante o período de hipóxia

A redução do potencial hídrico em plantas jovens de *T. aurea* durante o alagamento está relacionada a um conjunto de fatores fisiológicos que refletem os sintomas da deficiência de oxigênio. Essa resposta ocorreu devido ao fechamento dos canais de aquaporinas das raízes pela falta de ATP, ocasionada pela hipóxia, como é explicado por Martínez-Ballesta et al. (2003) e Tournaire-Roux et al. (2003). Diversas outras espécies arbóreas reduzem o seu potencial hídrico em condições de alagamento do solo, incluindo espécies como *Hymenaea*

courbaril L (Cardoso et al., 2017), *Tabebuia serratifolia* (Alves et al., 2012) e *Ochroma pyramidale* (Nogueira et al., 2015). Esse resultado indica que *T. aurea* é tolerante à condição de hipóxia, pois ajustou seu potencial osmótico por meio da produção de compostos orgânicos altamente solúveis, sem necessariamente reduzir o volume de água nas células. Dessa forma, há um decréscimo do potencial hídrico, mas há proteção da estrutura celular (Noujan et al., 2018).

A condição de seca fisiológica ocasionada pela redução do potencial hídrico, induz às plantas a uma limitação da abertura estomática e redução das taxas transpiratórias. Esses ajustes fisiológicos ocorrem como medidas preventivas à escassez de água, pois mesmo alagadas, as plantas desenvolvem respostas semelhantes à deficiência hídrica, como é sugerido por Cordeiro et al. (2009) e Scalon et al. (2011). Concomitantemente, a redução da abertura estomática limita a entrada e assimilação de CO₂, refletindo em menor produção líquida pelo vegetal, o que é evidenciado pela redução das taxas fotossintéticas (Batista et al., 2008; Farooq et al., 2009). Em nosso estudo, as plantas de *T. aurea* reduziram a transpiração, condutância estomática e assimilação de carbono durante o alagamento. No entanto, a retomada das taxas fotossintéticas nos últimos dias do experimento também se deve ao surgimento das raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas, mecanismos que facilitam a difusão de oxigênio da atmosfera para o solo, atenuando o estresse hídrico (Carvalho et al., 2016).

A redução da abertura estomática também é uma estratégia fisiológica utilizada por diversas outras espécies arbóreas para minimizar a deficiência hídrica em condições de alagamento conforme observado em *Lonchocarpus sericeus* (Lira et al., 2013), *Tabebuia avellanedae* (Davanso et al., 2002) e *Copaifera lucens* (Vidal et al., 2019), que nos leva a pensar, que assim, como *T. aurea*, essas espécies reduzem a abertura estomática como mecanismo que favorece uma maior eficiência no uso da água, o que reflete a capacidade da planta em fixar carbono enquanto transpira (Silva et al., 2013; Canavar et al., 2014; Hasan et al., 2017). Oliveira & Gualtieri (2017) trabalhando com plantas de *T. aurea* com oito meses de idade submetidas ao alagamento também verificaram redução da condutância estomática, mostrando assim, que a espécie possui um eficiente meio de otimizar água e ser tolerante ao alagamento, pois de acordo com Nascimento (2009) e Lira et al. (2013), a eficiência no uso da água via ajuste estomático é uma característica de espécies tolerantes à inundação.

A redução das trocas gasosas e da fotossíntese ocasiona o acúmulo de energia nos centros de reação do PSII, produzindo assim, espécies reativas de oxigênio (EROS) que acabam danificando o aparato fotossintético, promovendo dessa forma, fotoinibição (Araújo et al., 2010; Sales et al., 2013). Entretanto, vale ressaltar, que no presente trabalho os valores de

Fv/Fm em plantas alagadas foram próximos aos do controle, tanto no período da antemanhã como ao meio dia. Mielk et al. (2003) em seu estudo com *Genipa americana* submetida a 63 dias de alagamento, verificou que não houve danos no aparato fotossintético mensurado pela razão Fv/Fm, o que corrobora com os nossos dados. Diante disso, é possível constatar que plantas de *T. aurea* não sofreram dano fotoquímico devido ao acúmulo de prolina que além de protegerem o aparato fotossintético promoveram o fluxo de elétrons, o que favoreceu a ocorrência da fotossíntese, mesmo com menores taxas (Zucareli, 2011).

Mesmo não apresentando diferenças drásticas na razão Fv/Fm, *T. aurea* apresentou maiores reduções na eficiência quântica efetiva do PSII (YII) entre os tratamentos controle e alagado, provavelmente, devido a redução da proporção de energia absorvida pelas plantas (Maxwell e Johnson, 2000). Resultados semelhantes ao nosso foram descritos por diversos trabalhos com plantas arbóreas entre eles o de Maurenza et al. (2009) e Mielk e Schaffer (2010) que, ao submeterem *Pouteria glomerata* e *Eugenia uniflora* ao estresse hipóxico, verificaram redução na eficiência quântica efetiva do PSII. Esses resultados indicam que essas espécies, assim como *T. aurea* apresentaram um baixo aproveitamento da energia luminosa, o que provavelmente refletiu em baixas taxas de fotossíntese, que foi compensada pela manutenção dos teores de clorofila, mecanismo responsável por proporcionar uma retomada das taxas fotossintéticas, o que nos mostra que isso é válido para *T. aurea* desde o início da vida.

O acúmulo de osmorreguladores aliado a um sistema antioxidante capaz de metabolizar as espécies reativas de oxigênio, configuram-se como mecanismos alternativos de proteção à planta, pois, contribuem para o equilíbrio do aparato fotossintético (Ronchi et al., 2006). A manutenção do índice SPAD em plantas alagadas no presente trabalho indica que o teor de clorofila não foi afetado pelo alagamento do solo. Barreto et al. (2018) trabalhando com *Sesbania punicea*, uma espécie do Pantanal e Vidal et al. (2019) com *Copaifera lucens*, constataram que não houve uma drástica redução nos teores de clorofilas, sugerindo, assim como visto em *T. aurea*, que essa resposta é uma estratégia de aclimação de plantas a ambientes alagados, colaborando para uma retomada de taxas fotossintéticas, capazes de manter a aclimação do vegetal, como ocorreu em nosso estudo.

A redução da área e número foliar, altura e diâmetro do caule seguiram o mesmo padrão de redução da biomassa, razão raiz/parte aérea e TCR em plantas alagadas, os quais, acompanharam o decréscimo da eficiência quântica efetiva do PSII e da fotossíntese. No entanto, a manutenção das taxas de assimilação líquida (TAL) e a de crescimento foliar relativo (TCFR) ocorreram devido a manutenção dos teores de clorofila, refletindo assim, como mais um mecanismo de aclimação. Oliveira et al. (2015) trabalhando com seis espécies do Cerrado

submetidas ao alagamento, entre elas, duas da família Bignoniaceae, *Tabebuia rosea* e *Handroanthus chrysotrichus*, observaram a redução das taxas de crescimento e biomassa nos órgãos das plantas estressadas, corroborando assim, com os resultados apresentados nessa pesquisa. Povh et al. (2005) e Pisicchio et al. (2010) também mostraram que a limitação do crescimento foi um sintoma típico de espécies sob estresse hídrico. Isso pode ter acontecido devido ao fato de que a ausência de oxigênio estimula a produção de ácido abscísico (ABA), hormônio que em situação de estresse hídrico promove a redução da captação de CO₂ pelo fechamento estomático, comprometendo, dessa forma, a fotossíntese e por conseguinte, a produção de biomassa e crescimento do vegetal (Jackson, 2005), o que provavelmente aconteceu com *T. aurea* durante o alagamento. Essas respostas correspondem a importantes estratégias do vegetal para economizar energia, havendo dessa forma, otimização da reserva energética com a finalidade de manter atividades vitais da planta, afetadas pela hipóxia (Armonstrong et al., 1994).

5. CONCLUSÃO

O sucesso de ações de reflorestamento está intimamente ligado ao entendimento dos mecanismos de sobrevivência das espécies frente aos diferentes estresses abióticos (Lima et al., 2014). Neste trabalho, verificamos que *T. aurea* é uma espécie tolerante para ser utilizada em programas de reflorestamento de áreas degradadas sujeitas a eventos de alagamento, pois, mesmo em um experimento conduzido por trinta dias, os indivíduos, ainda em estágio jovem foram capazes de desenvolver estratégias importantes como o acúmulo de prolina e a manutenção dos teores de clorofila, mecanismos que contribuem para essa plasticidade da espécie durante seu período de estabelecimento.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a bolsa concedida pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL.

7. REFERÊNCIAS

- Allen, R. G. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers -56, Rome: 326p. 1998.
- Alves GAR, Filho BGS, Lobato AKS, Tan DKY, Neto CFO, Costa RCL, Ávila FW, Marques DJ, Galate RS. Water relations, nitrogen compounds and enzyme activities in leaf and enzyme activities in leaf and root young Yellow Lapacho (*Tabebuia serratifolia*) plants subjected to flooding. Plant Omics Journal. 2012; 5(3): 216-222.
- Anee TI, Nahar K, Rahman A, Mahmud JA, Bhuiyan TF, Alam UM, Fujita M, Hasanuzzaman M. Oxidative damage and antioxidant defense in *Sesamum indicum* after different waterlogging durations. Plants. 2019; 8(7): 196. doi: 10.3390/plants8070196.
- Araújo SAC, Vasquez HM, Campostrini E, Torres NA, Deminicis BB, Lima ES. Características fotossintéticas de genótipos de capim elefante anão (*Pennisetum purpureum Schum.*) em estresse hídrico. Acta Scientiarum. 2010; 32(1): 1-7. doi: 10.4025/actascianimsci.v32i1.8961.
- Armstrong W, Brändle R, Jackson MB. Mechanisms of flood tolerance in plants. Acta Botanica Neerlandica. 1994; 43(4): 307-358. doi: 10.1111/j.1438-8677.1994.tb00756.x.
- Artusi AC, Delevatti HAA, Teixeira CS, Milesi SV, Kissmann C, Sausen TL. Respostas morfológicas ao alagamento em espécies arbóreas de florestas ribeirinhas subtropicais brasileiras. Ilheringia Série Botânica. 2020; 75: 3-7. doi: 10.21826/2446-82312020v75e2020001.
- Barreto BB, Hefler SM, Martinazo EG, Colares IG. Germination and initial growth of *Sesbania Punicea* (Cav) Benth.: Influence of salinity, flooding and light. Revista Árvore. 2018; 42(4): 2-10. doi: 10.1590/1806-90882018000400008
- Batista CUN, Medri ME, Bianchini E, Medri C, Pimenta JA. Tolerância à inundação de *Cecropiapa chystachya* Trec (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. Acta Botanica Brasilica. 2008; 22(1): 91-98. doi: 10.1590/S0102-33062008000100012.

Bieleski RL, Turner A. Separation and amino acids in crud plant extracts by thin- layer electrophoresis and chromatography. *Analytical Biochemistry*. 1996;17(2):278-293. doi: 10.1016/0003-2697(66)90206-5.

Binotto B, Antoniazzi AP, Neumann GM, Sausen TL, Budke JC. Tolerância de plântulas de *Cedrela fissilis* Vell. à diferentes amplitudes e intensidades de inundação. *Ciência Florestal*. 2016;26(4):1339-1348.

Bradford MM. The dye-binding assay for protein. *Analytical Biochemistry*. 1976;72:248-254.

Brandão AD. Papel da redutase do nitrato em soja [*Glycine max* (L.) Merr. Cv iac-17] sob condições de hipóxia do sistema radicular. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2005;:175. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/315242>. Acesso em: 18 mai. 2020.

Camisón A, Martín MA, Dorado FJ, Moreno G, Solla A. Changes in carbohydrates induced by drought and waterlogging in *Castanea sativa*. *Springer Nature*. 2019;34:579-591. doi: 10.1007/s00468-019-01939-x.

Canavar O, Götz K, Ellmer F, Chmielewski F, Kaynak MA. Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*. 2014;8(2):232-242.

Cardoso KPS, Palheta JG, Sousa JCM, Nascimento VR, Nogueira GAS, Machado LC, et al. Physiological and biochemical metabolism in Jatoba plants (*Hymenaea courbaril* L.) affected by water stress and flooding. *Australian Journal of Crop Science*. 2017;11(7):844-852. doi: 10.21475/ajcs.17.11.07.pne498.

Carvalho LSO, Lira GMS, Rodrigues AC, Lara TS, Pacheco FV, Alvarenga AA. Resistance mechanisms of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert submitted to flood conditions. *Floram - Floresta e Ambiente*. 2016;23(4):582-588. doi: 10.1590/2179-8087.135015.

Cataldo DA, Maroon M, Schrader LE, Youngs VL. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1975;6(4):71-80. doi:10.1080/00103627509366547.

Cordeiro YEM, Pinheiro HA, Santos Filho BG, Corrêa SS, Silva JRR, Dias-Filho MB. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecology and Management*. 2009;258(1):1449-1455. doi:10.1016/j.foreco.2009.06.054.

Chen Y, Wang H, Hu W, Wang S, Snider JL, Zhou Z. Co-occurring elevated temperature and waterlogging stresses disrupt cellulose synthesis by altering the expression and activity of carbohydrate balance-associated enzymes during fiber development in cotton. *Environmental and Experimental Botany*. 2017;135:106-117. doi: 10.1016/j.envexpbot.2016.12.012.

Da Silva CJ, Do Amarante. Short-term nitrate supply decreases fermentation and oxidative stress caused by waterlogging in soybean plants. *Environmental and Experimental Botany*. 2020;176(20):1-37. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104078.

Davanso VM, Souza LA, Medri ME, Pimenta JA, Bianchini E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2002;45(3):375-384. doi: 10.1590/S1516-89132002000300016.

Dubois M, Gigles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smiter F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 1956;28(3):350-356. doi: 10.1021/ac60111a017.

Elkelish AA, Alhaithloul HAS, Qari SH, Soliman MH, Hasanuzzaman M. Pretreatment with *Trichoderma harzianum* alleviates waterlogging-induced growth alterations in tomato seedlings by modulating physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*. 2019;171:1-49. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103946.

Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N, Sallem BA. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2009;195(1):195:237-246. doi: 10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x

Ferreira CS, Piedade MTF, Franco AC, Gonçalves JFC, Junk WJ. Adaptive strategies to tolerate prolonged flooding in seedlings of floodplain, upland populations of *Himatanthus succuba*, a Central Amazon tree. *Aquatic Botany*. 2009;90(3):246-252. doi: 10.1016/j.aquabot.2008.10.006.

Ferreira, DTRG. Alterações fisiológicas e bioquímicas em quatro espécies florestais do Bioma Caatinga submetidas a alagamento. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo. 2011;:79. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/266>

Garssen AG, Baattrup PA, Voesenek LA, Verhoeven JT, Soons MB. Riparian plant community responses to increased flooding: a meta-analysis. *Global Change Biology*. 2015;21(8):2881-2890. doi: 10.1111/gcb.12921.

Hasan AS, Rabei SH, Nada RM, Abogadallah GM. Water use efficiency in the drought-stressed sorghum and maize in relation to expression of aquaporin genes. *Biologia Plantarum*. 2017;61(1):127-137. doi: 10.1007/s10535-016-0656-9.

Holzschuh C, Dormann CF, Tschardt T, Dewenter IS. Expansion of mass-flowering crops leads to transient pollinator dilution and reduced wild plant pollination. *Proceedings of The Royal Society B*. 2011;278:3444-3451. doi: 10.1098/rspb.2011.0268.

Jackson MB, Colmer TD. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*. 2005;96(4):501-505. doi: 10.1093/aob/mci205.

Jia L, Qin X, Lyu D, Qin S, Zhang P. ROS production and scavenging in three cherry rootstocks under short-term waterlogging conditions. *Scientia Horticulturae*. 2019;257:2-7. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108647.

Kishor PBK, Sreenivasulu N. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue?. *Plant Cell Environ.* 2014;37(2):300-311. doi: 10.1111/pce.12157.

Kreuzwieser J, Rennenberg, H. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. *Plant, Cell & Environment.* 2014;37:2245-2259. doi: 10.1111/pce.12310.

Li SX, Wang ZH, Stewar BA. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. *Advances in Agronomy.* 2013;118:205-397. doi: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0

Li X, Wei JP, Scott E, Liu JW, Guo S, Li Y, et al. Exogenous melatonin alleviates cold stress by promoting antioxidant defense and redox homeostasis in *Camellia sinensis* L. *Molecules.* 2018;23(1):165. doi: 10.3390/molecules23010165.

Lima YBC, Durigan E, Souza FM. Germinação de 15 espécies vegetais do cerrado sob diferentes condições de luz. *Bioscience Journal.* 2014;30(6):1864-1872.

Lira JMS, Ferreira RA, Silva Júnior CD, Santos Neto EM, Santana WS. 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.* 2013;23(4):655-665.

Liu J, Hasanuzzaman M, Sun H, Zhang J, Peng T, Sun H, et al. Comparative morphological and transcriptomic responses of lowland and upland rice to root-zone hypoxia. *Environmental and Experimental Botany.* 2020;169:2-12. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103916.

Magalhães, ACN. Análise quantitativa do crescimento. In: Ferri, MG. *Fisiologia Vegetal.* São Paulo. 1985;1:1-363.

Marcos FCC. Influência de bactérias endofíticas na fisiologia de plantas de cana-de-açúcar sob restrição hídrica. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2012;:87.

Martínez-Ballesta MC, Aparicio F, Pallás V, Martínez V, Carvajal M. Influence of saline stress on root hydraulic conductance and PIP expression in *Arabidopsis*. *Journal of Plant Physiology.* 2003;160(6):689-697. doi: 10.1078/0176-1617-00861.

Maurenza D, Marengo RA, Piedade, MTF. Efeito da inundação de longa duração sob o crescimento de *Pouteriaglomerata* (Sapotaceae), uma arbórea da várzea da Amazônia Central. *Acta Amazonica*. 2009;39(3):519-526. doi: 10.1590/S0044-59672009000300005.

Maxwell K, Johnson GN. Chlorophyll Fluorescence - A Practical Guide. *Journal of Experimental Botany*. 2000;51(345)659-668. doi: 10.1093/jexbot/51.345.659.

Mielke MS, Almeida AF, Gomes FP, Aguiar MAG, Mangabeira PAO. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. *Environment and Experimental Botany*. 2003;50(3):221-231. doi:10.1016/S0098-8472(03)00036-4.

Mielke MS, Schaffer B. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiology*. 2010;30(1):45-55. doi:10.1093/treephys/tpp095.

Nascimento JL. Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus. 2009;:97. Disponível em: <http://nbcgib.uesc.br/ppgpv/painel/paginas/uploads/33e4eec2bd5f7129ea0f623d9c0b2f3b.pdf> Acesso em: 25 abr. 2020.

Nogueira GAS, Oliveira TB, Lima EGS, Maltarolo BM, Ataíde WLS, Teixeira DTF, et al. Eco-physiological behavior and carbon metabolism in young plants of balsawood (*Ochroma pyramidale*), under three different water regimes. *Australian Journal of Crop Science*. 2015;:1106-1112.

Nounjan N, Chansongkrow P, Charoensawan V, Siangliw JL, Toojinda T, Chadchawan S, et al. High Performance of Photosynthesis and Osmotic Adjustment Are Associated With Salt Tolerance Ability in Rice Carrying Drought Tolerance QTL: Physiological and Co-expression Network Analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9(6)1135. doi: 10.3389/fpls.2018.01135.

Oliveira AS, Ferreira CS, Ribeiro DG, Franco AC. Anatomical and morphological modifications in response to flooding by six Cerrado tree species. *Acta Botânica Brasilica*. 2015;29(4):478-488. doi: 10.1590/0102-33062014abb0035.

Oliveira De AKM, Gualtieri SCJ. Gas Exchange in Young plants of *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae e Juss.) subjected to flooding stress. *Revista Árvore*. 2016;40(1):39-49. doi: 10.1590/0100-67622016000100005.

Oliveira De AKM, Gualtieri SCJ. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. *Ciência Florestal*. 2017;27(1):181-192.

Paul MV, Iyer S, Amerhauser C, Lehmann M, van DJT, Geigenberger P. Oxygen sensing via the ethylene response transcription factor rap2.12 affects plant metabolism and performance under both normoxia and hypoxia. *Plant Physiology*. 2016;172(1):141-153. doi: 10.1104/pp.16.00460.

Pisicchio CM, Bianchini E, Pimenta JA, Sert MA, Davanzo-Fabro VM, Medri ME. *Heliocarpus popayanensis* Kunth (Malvaceae) tolera a hipoxia do substrato? *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 2010;32(2):201-209. doi: 10.4025/actascibiolsci.v32i2.3566.

Povh JA, Rubin Filho CJ, Mourão KSM, Pinto DD. Respostas morfológicas e anatômicas de plantas jovens de *Chorisia speciosa* A. St.-Hil. (Bombacaceae) sob condições de alagamento. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 2005;27(3):195-202. doi: 10.4025/actascibiolsci.v27i3.1277.

Qin X, Li F, Chen X, Xie Y. Growth responses and nonstructural carbohydrates in three wetland macrophyte species following submergence and de-submergence. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013;35:2069-2074. doi: 10.1007/s11738-013-1241-x.

Ravanbakhsh M, Sasidharan R, Voeselek LA, Kowalchuk GA, Jousset A. ACC deaminase-producing rhizosphere bacteria modulate plant responses to flooding. *Journal of Ecology*. 2017;105:979-986. doi: 10.1111/1365-2745.12721.

Reis GG, Muller MW. Análise do crescimento de plantas – mensuração do crescimento. Belém. 1978;:1-35.

Rena AB, Masciotti GZ. The effect of dehydration on nitrogen metabolism and growth of bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ceres. 1976;23:288-301.

Ribeiro ACM. Efeito do alagamento e da luminosidade em plantas de *Vitex cymosa*: respostas fisiológicas, bioquímicas e morfoanatômicas. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília. 2015;:43. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/18122> Acesso em: 18 set. 2019.

Ronchi CP, Da Matta FM, Batista KD, Moraes GABK, Loureiro ME, Ducatti C. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. Functional Plant Biology. 2006;33(11):1013-1023. doi: 10.1071/FP06147.

Sales CRG, Ribeiro RV, Silveira JAG, Machado EC, Martins MO, Lagôa AMMA. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve their activity of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. Plant Physiology and Biochemistry. 2013;76:326-336. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.10.012.

Santiago EF.; Paoli, AAS. Respostas morfológicas em *Guibourtia hymenifolia* (Morici) J. Leonard (Fabaceae) e *Genipa americana* L. (Rubiaceae), submetidas ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. Revista Brasileira de Botânica. 2007;30(1):129-138. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000100013>.

Scalon SPQ, Mussury RM, Euzébio VLM, Kodama FM, Kissmann C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). Ciência Florestal. 2011;32(2):655-662. doi: 10.5902/198050984510.

Sharma P, Dubey RS. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminum toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. Journal of Plant Physiology. 2005;162(8) 854-864. doi: 10.1016/j.jplph.2004.09.011.

Shukla PR, Skea J, Buendia EC, Masson- Delmotte V, Portinei H-O, Roberts DC, et al. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019;:3-36.

Silva MA, Santos CM, Arantes MT, Brunelli MC, Holanda LA. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. Revista Caatinga. 2013;26(3):28-35.

Song J, Shi W, Liu R, Xu Y, Sui N, Zhou J, et al. The role of the seed coat in adaptation of dimorphic seeds of the euhalophyte *Suaeda salsa* to salinity. Plant Species Biology. 2017;2:107-114. doi: <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12132>.

Tan X, Xu H, Khan S, Equiza MA, Lee SH, Vaziriyeganeh M, et al. Plant water transport and aquaporins in oxygen-deprived environments. Journal of Plant Physiology. 2018;227:20-30. doi: 10.1016/j.jplph.2018.05.003.

Thomas AL, Sodek L. Aminoacid and ureide transport in the xylem of symbiotic soybean plants during short-term flooding of the root system in the presence of different sources of nitrogen. Journal Plant Physiology. 2006;18(2):333-339. doi: 10.1590/S1677-04202006000200010.

Tournaire-Roux C, Sutka M, Javot H, Gout E, Gerbeau P, Luu DT, et al. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. Nature. 2003;425:393-397.

Vidal DB, Andrade ILMM, Dalmolin A, Mielke M. Photosynthesis and Growth of Copaiba Seedlings Subjected to Soil Flooding. Floresta e Ambiente. 2019;26(1):1-8. doi: 10.1590/2179-8087.056916.

Wright AJ, Kroon H, Visser EJ, Buchmann T, Ebeling A, Eisenhauer N, et al. Plants are less negatively affected by flooding when growing in species-rich plant communities. New Phytologist. 2017;213(2):645-656. doi: 10.1111/nph.14185.

Yemm EW, Cocking EC, Ricketts RE. The Determination of Amino Acids With Ninhydrin. *The Analyst*. 1955;80(948):209-213. doi: 10.1039/AN9558000209.

Zucareli V. Aspectos anatômicos, fisiológicos e bioquímicos da enxerta de maracujazeiros sobre *Passiflora cincinnata* Mast. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2011; 104. Disponível em:
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100769/zucareli_v_dr_botib.pdf?sequenc e=1. Acesso em: 25 nov. 2019.

APÊNDICE A: resumo da análise de variância dos compostos bioquímicos de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas em condições de alagamento.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância dos compostos bioquímicos (Prolina, Aminoácidos, nitrato, proteína e açúcares solúveis totais) de *Tabebuia aurea* em reposta ao estresse hídrico (controle e alagado) nos dias 0, 9, 21 e 30 em casa de vegetação.

| Dias de avaliação | Variáveis | FV | QM | CV |
|-------------------|-------------|----|------------------------|-------|
| Dia 0 | Prolina | Ts | 0,0164 ^{ns} | 29,83 |
| | Aminoácidos | Ts | 0,1920 ^{ns} | 22,9 |
| | nitrato | Ts | 7,0990 ^{ns} | 27,82 |
| | proteína | Ts | 0,2673 ^{ns} | 19,33 |
| | Açúcares | Ts | 215,2140 ^{ns} | 14,17 |
| Dia 9 | Prolina | Ts | 0,7456 ^{**} | 30,48 |
| | Aminoácidos | Ts | 837,3548 [*] | 10,65 |
| | nitrato | Ts | 20,0871 ^{**} | 9,26 |
| | Proteína | Ts | 5,4655 ^{**} | 18,39 |
| | Açúcares | Ts | 77,7981 ^{ns} | 11,34 |
| Dia 21 | Prolina | Ts | 0,2502 ^{**} | 27,81 |
| | Aminoácidos | Ts | 809,8602 ^{**} | 13 |
| | nitrato | Ts | 192,6922 ^{**} | 14,79 |
| | Proteína | Ts | 21,9024 ^{**} | 30,84 |
| | Açúcares | Ts | 292,2307 ^{ns} | 20,23 |
| Dia 30 | Prolina | Ts | 0,3307 [*] | 21,79 |
| | Aminoácidos | Ts | 458,2678 [*] | 10,23 |
| | nitrato | Ts | 89,2134 ^{**} | 17,11 |
| | Proteína | Ts | 25,2050 ^{**} | 26,6 |
| | Açúcares | Ts | 262,2769 ^{ns} | 19,05 |

FV: fontes de variação; QM: quadrados médios; CV: coeficiente de variação; Ts: tratamentos. * e ** significativo a $p < 0,05$ e $< 0,01$, respectivamente.

APÊNDICE B: resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas jovens de *Tabebuia aurea* cultivadas em condições de alagamento durante trinta dias.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos (trocas gasosas, SPAD e eficiência quântica efetiva do PSII) de *T. aurea* em reposta ao estresse hídrico (controle e alagado) durante trinta dias em casa de vegetação.

| Dias de avaliação | Variáveis | FV | QM | CV |
|-------------------|----------------------|----|------------------------|-------|
| Dia 0 | <i>g_s</i> | Ts | 0,0006 ^{ns} | 16,7 |
| | <i>A</i> | Ts | 2,720 ^{ns} | 12,6 |
| | <i>E</i> | Ts | 0,921 ^{ns} | 31,4 |
| | EUA | Ts | 0,413 ^{ns} | 22,9 |
| | <i>C_i</i> | Ts | 452,038 ^{ns} | 5,9 |
| | SPAD | Ts | 1,966 ^{ns} | 5,7 |
| | φPSII | Ts | 0,000006 ^{ns} | 15,7 |
| Dia 3 | <i>g_s</i> | Ts | 0,00046 ^{ns} | 26,11 |
| | <i>A</i> | Ts | 1,169 ^{ns} | 13,91 |
| | <i>E</i> | Ts | 1,200 ^{ns} | 16,47 |
| | EUA | Ts | 0,030 ^{ns} | 17,75 |
| | <i>C_i</i> | Ts | 200,080 ^{ns} | 5,31 |
| | SPAD | Ts | 4,974 ^{ns} | 4,07 |
| | φPSII | Ts | 0,087 ^{**} | 13,13 |
| Dia 6 | <i>g_s</i> | Ts | 0,016 ^{ns} | 22,80 |
| | <i>A</i> | Ts | 68,551 ^{**} | 10,75 |
| | <i>E</i> | Ts | 0,365 ^{ns} | 12,89 |
| | EUA | Ts | 0,280 ^{ns} | 7,90 |
| | <i>C_i</i> | Ts | 3105,59 ^{ns} | 18,76 |
| | SPAD | Ts | 20,200 ^{ns} | 6,16 |
| | φPSII | Ts | 0,241 ^{**} | 9,28 |
| Dia 9 | <i>g_s</i> | Ts | 0,019 [*] | 20,93 |
| | <i>A</i> | Ts | 255,192 ^{**} | 15,92 |
| | <i>E</i> | Ts | 0,548 ^{ns} | 26,61 |
| | EUA | Ts | 1,441 ^{ns} | 20,43 |

| | | | | |
|--------|-------------|----|------------------------|-------|
| | Ci | Ts | 3161,272 ^{ns} | 16,41 |
| | SPAD | Ts | 29,018 ^{ns} | 7,50 |
| | ϕ PSII | Ts | 0,037 ^{**} | 10,09 |
| Dia 12 | <i>gs</i> | Ts | 0,034 [*] | 20,68 |
| | <i>A</i> | Ts | 171,078 ^{**} | 10,88 |
| | <i>E</i> | Ts | 2,327 [*] | 13,46 |
| | EUA | Ts | 0,013 ^{ns} | 6,82 |
| | Ci | Ts | 189,457 ^{ns} | 4,17 |
| | SPAD | Ts | 11,858 ^{ns} | 6,43 |
| | ϕ PSII | Ts | 0,104 ^{**} | 10,57 |
| Dia 15 | <i>gs</i> | Ts | 0,035 ^{**} | 20,94 |
| | <i>A</i> | Ts | 590,243 ^{**} | 10,23 |
| | <i>E</i> | Ts | 6,510 ^{**} | 23,54 |
| | EUA | Ts | 8,627 [*] | 16,42 |
| | Ci | Ts | 51,181 ^{ns} | 9,65 |
| | SPAD | Ts | 0,178 ^{ns} | 4,82 |
| | ϕ PSII | Ts | 0,178 ^{**} | 15,76 |
| Dia 18 | <i>gs</i> | Ts | 0,099 ^{**} | 15,51 |
| | <i>A</i> | Ts | 111,584 ^{**} | 11,98 |
| | <i>E</i> | Ts | 27,013 ^{**} | 39,02 |
| | EUA | Ts | 28,263 ^{**} | 14,89 |
| | Ci | Ts | 691,274 ^{**} | 6,62 |
| | SPAD | Ts | 134,162 ^{**} | 6,81 |
| | ϕ PSII | Ts | 0,130 ^{**} | 14,42 |
| Dia 21 | <i>gs</i> | Ts | 0,091 ^{**} | 19,28 |
| | <i>A</i> | Ts | 464,948 ^{**} | 11,03 |
| | <i>E</i> | Ts | 24,178 ^{**} | 20,41 |
| | EUA | Ts | 0,583 ^{ns} | 21,22 |
| | Ci | Ts | 140,225 ^{**} | 3,79 |
| | SPAD | Ts | 285,012 ^{**} | 6,76 |
| | ϕ PSII | Ts | 0,004 ^{ns} | 7,74 |

Dia 24

| | | | |
|-------------|----|------------|-------|
| <i>gs</i> | Ts | 0,743** | 20,49 |
| <i>A</i> | Ts | 1605,745** | 18,0 |
| <i>E</i> | Ts | 29,974** | 43,19 |
| EUA | Ts | 74,910** | 20,8 |
| Ci | Ts | 269,524** | 13,89 |
| SPAD | Ts | 277,512** | 9,69 |
| ϕ PSII | Ts | 0,176** | 15,79 |

Dia 27

| | | | |
|-------------|----|----------------------|-------|
| <i>gs</i> | Ts | 0,1570** | 4,98 |
| <i>A</i> | Ts | 620,146** | 13,43 |
| <i>E</i> | Ts | 5,541** | 10,24 |
| EUA | Ts | 0,3062 ^{ns} | 7,01 |
| Ci | Ts | 117,264** | 8,91 |
| SPAD | Ts | 95,484* | 7,26 |
| ϕ PSII | Ts | 0,0535** | 8,47 |

Dia 30

| | | | |
|-------------|----|-----------|-------|
| <i>gs</i> | Ts | 0,467** | 11,98 |
| <i>A</i> | Ts | 434,364** | 10,54 |
| <i>E</i> | Ts | 19,358** | 26,6 |
| EUA | Ts | 18,785** | 15,7 |
| Ci | Ts | 117,852** | 6,35 |
| SPAD | Ts | 157,922** | 6,5 |
| ϕ PSII | Ts | 0,359** | 14,3 |

FV: fontes de variação; QM: quadrados médios; CV: coeficiente de variação; Ts: tratamentos; *gs*: condutância estomática; *A*: fotossíntese; *E*: transpiração; Ci: concentração interna de CO₂; EUA: eficiência instantânea do uso da água e ϕ PSII: eficiência quântica efetiva do PSII. * e ** significativo a $p < 0,05$ e $< 0,01$, respectivamente.

APÊNDICE C: resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas em condições de alagamento.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos (Potencial hídrico foliar e eficiência quântica potencial do PSII) de *T. aurea* em reposta ao estresse hídrico (controle e alagado) nos dias 3, 12, 21 e 30 em casa de vegetação.

| Dias de avaliação | Variáveis | FV | QM | CV |
|-------------------|---------------|----|------------------------|-------|
| Dia 3 | Ψ_{wam} | Ts | 0,2101** | 24,70 |
| | Ψ_{wpm} | Ts | 0,0639 ^{ns} | 14,53 |
| | F_v/F_{mam} | Ts | 0,000038 ^{ns} | 1,92 |
| | F_v/F_{mpm} | Ts | 0,0044 ^{ns} | 5,05 |
| Dia 12 | Ψ_{wam} | Ts | 0,3018** | 16,75 |
| | Ψ_{wpm} | Ts | 1,5624** | 22,50 |
| | F_v/F_{mam} | Ts | 0,00074* | 1,52 |
| | F_v/F_{mpm} | Ts | 0,00186** | 2,10 |
| Dia 21 | Ψ_{wam} | Ts | 0,5995** | 16,31 |
| | Ψ_{wpm} | Ts | 1,4580** | 30,4 |
| | F_v/F_{mam} | Ts | 0,00569** | 3,24 |
| | F_v/F_{mpm} | Ts | 0,00004 ^{ns} | 6,20 |
| Dia 30 | Ψ_{wam} | Ts | 0,3005** | 25,30 |
| | Ψ_{wpm} | Ts | 1,2801** | 18,75 |
| | F_v/F_{mam} | Ts | 0,0095** | 4,76 |
| | F_v/F_{mpm} | Ts | 0,01304** | 6,05 |

FV: fontes de variação; QM: quadrados médios; CV: coeficiente de variação; Ts: tratamentos; Ψ_{wam} : potencial hídrico foliar na antemanhã; Ψ_{wpm} : potencial hídrico foliar próximo ao meio dia; F_v/F_{mam} : eficiência quântica potencial na antemanhã e F_v/F_{mpm} : eficiência quântica potencial próximo ao meio dia. * e ** significativo a $p < 0,05$ e $< 0,01$, respectivamente.

APÊNDICE D: resumo da análise de variância dos parâmetros de biometria e biomassa de plantas jovens de *T. aurea* cultivadas em condições de alagamento.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância dos parâmetros de biometria e biomassa de *T. aurea* em reposta ao estresse hídrico (controle e alagado) nos dias 0 e 30 em casa de vegetação.

| Dias de avaliação | Variáveis | FV | QM | CV |
|-------------------|----------------------------|----|-------------------------|--------|
| Dia 0 | Área foliar | Ts | 4252, 475 ^{ns} | 31,17 |
| | Altura | Ts | 3, 9836 ^{ns} | 6,40 |
| | Nº de folhas | Ts | 1, 705280 ^{ns} | 9,07 |
| | Diâmetro | Ts | 0, 4075 ^{ns} | 7,73 |
| | MSF | Ts | 0,0068 ^{ns} | 25,40 |
| | MSC | Ts | 0, 03042 ^{ns} | 27, 67 |
| | MSR | Ts | 0, 032000 ^{ns} | 20,2 |
| | MST | Ts | 0, 09112 ^{ns} | 11, 82 |
| | Razão Raíz/ parte aérea | Ts | 0, 12084 ^{ns} | 34, 16 |
| Dia 30 | Área foliar | Ts | 4765,489 ^{**} | 21,66 |
| | Altura | Ts | 719, 4001 ^{**} | 21,71 |
| | Nº de folhas | Ts | 28, 8000 [*] | 14,61 |
| | Diâmetro | Ts | 11, 9042 ^{**} | 10,72 |
| | MSF | Ts | 21, 033 ^{**} | 15,80 |
| | MSC | Ts | 98, 7456 ^{**} | 30,49 |
| | MSR | Ts | 161, 255 ^{**} | 28,16 |
| | MST | Ts | 799, 227 ^{**} | 24,42 |
| | Razão Raíz/ parte área | Ts | 160, 366 ^{**} | 22,61 |
| | TCR | Ts | 68,551 ^{**} | 10,75 |
| | TAL | Ts | 0,365 ^{ns} | 12,89 |
| | TCFR | Ts | 0,280 ^{ns} | 7,90 |

FV: fontes de variação; QM: quadrados médios; CV: coeficiente de variação; Ts: tratamentos; MSF: massa seca da folha; MSC: massa seca do caule; MSR: massa seca da raiz; MST: massa seca total; TCR: taxa de crescimento relativo; TAL: taxa de assimilação líquida; TCFR: taxa de crescimento foliar relativo. * e ** significativo a $p < 0,05$ e $< 0,01$, respectivamente.