



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

HALLEFY ELIAS FERNANDES

**PLASTICIDADE DE *Acacia mangium* Willd. SUBMETIDA À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E À REIDRATAÇÃO**

**GURUPI - TO
2018**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

HALLEFY ELIAS FERNANDES

**PLASTICIDADE DE *Acacia mangium* Willd. SUBMETIDA À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E À REIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo
Co-orientador: Prof. Dr. Susana Cristine Siebeneichler

**GURUPI - TO
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

F363p Fernandes, Hallefy Elias.
PLASTICIDADE DE *Acacia mangium* Willd. SUBMETIDA À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E À REIDRATAÇÃO. / Hallefy Elias
Fernandes. – Gurupi, TO, 2018.
53 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo
Coorientadora : Prof. Dra. Susana Cristine Siebeneichler

1. Cerrado. 2. Tocantins. 3. Tolerância. 4. Antioxidante. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde
que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.810/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica
da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



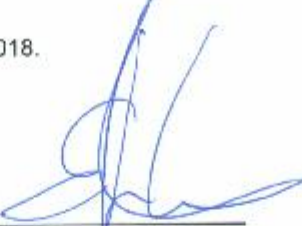
HALLEFY ELIAS FERNANDES

**Plasticidade de *Acacia mangium* Willd. submetida à
deficiência hídrica e à reidratação**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais em 12/01/2018 foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 12/01/2018.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo – Orientador - UFT



Prof.ª Dr.ª Susana Cristine Siebeneichler – Coorientadora e Examinadora - UFT



Prof.ª Dr.ª Marciane Cristina Dotto – Examinadora - UFT

Gurupi (TO).
2018.

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

Ao Senhor Jesus Cristo por ser minha base espiritual de vida e por me proporcionar esta oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Aos meus pais Hélio Elias e Luzmaia Fernandes de Lima, meus exemplos de esforço, humildade, perseverança, sabedoria e amor.

A minha amada Karolinne Pereira Cabral pela confiança, companheirismo e ajuda durante toda realização deste trabalho.

Minhas irmãs Andressa e Andreia pelo incentivo. Amo vocês!

Meus primos Diogo, Dioga, Beatriz, Braynna pela confiança, incentivo e ensinamentos. Muito obrigado, vocês são demais!

A toda minha família!

Meu Orientador Eduardo Andrea Lemus Erasmo pela oportunidade de trabalharmos juntos, ensinamentos, orientação, conselhos e valorização de seus orientados.

A Minha Co-orientadora Susana Cristine Siebeneichler pelo apoio, ensinamentos, amizade, paciência, atenção e orientação.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa de plantas daninhas, Marciane Dotto, Sara Bandeira, Nádia, Flavia Batata (rsrs), e Patrícia pelos momentos de colaboração durante todo esse trabalho, pela convivência agradável e amizade. Vocês estão sempre guardados na memória e no coração.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa LEV-Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, Raffael, Guilherme e Airton pela amizade, apoio e ajuda durante esse trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigado a todos!

A Universidade Federal do Tocantins-UFT e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais- UFT, pela oportunidade.

A todos vocês, a minha gratidão!

RESUMO

O Tocantins que antes adotava a silvicultura como uma alternativa, atualmente já se encontra em crescente avanço sendo considerado como uma das maiores fontes de renda do estado. Diante disso alguns fatores como as alterações das condições edafoclimáticas podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento de alguns vegetais. O crescimento das plantas está associado a vários fatores fisiológicos e bioquímicos, que são controlados e influenciados pela particularidade genética de cada espécie e pelas condições ambientais. Visando investigar os mecanismos adaptativos da espécie de *Acacia mangium* Willd. principalmente aqueles relacionados à baixa disponibilidade hídrica, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as respostas fisiológicas, bioquímicas e a tolerância da espécie *Acacia mangium* Willd. expostas à deficiência hídrica e a reidratação. Dois experimentos foram instalados. Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi-TO. Utilizaram-se mudas com 180 dias de idade, as quais foram transferidas para vasos de polietileno com capacidade de 5,5 litros. O delineamento estatístico utilizado nos dois experimentos foi inteiramente casualizado (DIC), representado por quatro tratamentos hídricos (100; 60; 40 e 30% da capacidade de campo) com 12 repetições. O primeiro experimento as plantas foram mantidas sob déficit hídrico durante os 25 dias de experimento. O segundo experimento as plantas foram reidratadas após um curto período de estresse hídrico de 6 dias, elevando todos os níveis de água para 100% da capacidade de campo, sendo avaliadas durante os 25 dias de experimento. Durante o período experimental, foram realizadas avaliações em relação às trocas gasosas, potencial hídrico foliar, teor relativo de água, atividade de enzimas antioxidantes, prolina, e massas secas das folhas, caule, raiz e total. O estresse hídrico em condições de 40 e 30% da capacidade de campo por vinte e cinco dias influenciou a regulação das relações hídricas das mudas de *Acacia mangium* Willd., reduzindo o potencial hídrico foliar, condutância estomática, transpiração, eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) para garantir o funcionamento dos processos bioquímicos e metabólicos. A exposição das mudas nas condições de 60% da capacidade de campo não afetou negativamente a assimilação líquida (A), visto que não houve grande variação comparada à testemunha com 100% da capacidade de campo. A *Acacia mangium* Willd. é moderadamente tolerante a baixos níveis de água no solo. Na produção de matéria seca em mudas de *Acacia mangium* Willd. a variável mais sensível à deficiência hídrica foi a massa seca das folhas e do caule. O tratamento com maior déficit hídrico com 30% da capacidade de campo apresentou o acúmulo maior do teor de prolina. É uma espécie que em condições de seis dias sob estresse hídrico, ainda é capaz de recuperar o desempenho fisiológico, caracterizando a sua plasticidade fisiológica e bioquímica na fase de muda. Para a espécie de *Acacia mangium* Willd., a catalase foi a principal enzima em combater o estresse oxidativo quando submetida a déficit hídrico.

Palavras-chave: Cerrado; Tocantins; tolerância; Antioxidante; exótica.

ABSTRACT

Tocantins, which once adopted forestry as an alternative, is already in the process of being announced as one of the state's largest sources of income. Faced with this, factors such as the conditions of edaphoclimatic conditions may hinder the growth and development of some plants. Plant growth is associated with several physiological and biochemical factors, which are controlled and influenced by genetic specificity of each species and environmental issues. Aiming to investigate the adaptive mechanisms of the *Acacia mangium* Willd species. The main sources related to availability, as well as the evaluation of the physiological, biochemical and tolerance of the species *Acacia mangium* Willd. exposed to water deficiency and rehydration. Two experiments were installed. The experiments were conducted in a protected environment at the Experimental Station of the Federal University of Tocantins, Campus of Gurupi-TO. Seedlings with 180 days of age were used, as were transferred to 5.5 liter polyethylene vessels. The statistical design used in the two experiments was completely randomized (DIC), represented by four water treatments (100, 60, 40 and 30% of field capacity) with 12 replications. The first experiment as plants were kept under water deficit during the 25 days of experiment. The second experiment as plants were rehydrated after a short period of water stress of 6 days, raising all water levels to 100% of the field capacity, being evaluated during the 25 days of experiment. During the experimental period, a specialized journal on gas exchanges, potential water leaflet, water content, activity of antioxidant enzymes, proline and dry leaf, stem, root and total masses was carried out. Water stress at 40 and 30% field capacity for 25 days influenced the water relations of *Acacia mangium* Willd., Reducing leaf water potential, stomatal conductance, transpiration, carboxylation efficiency (A / C_i) and energy efficiency (US) to ensure the functioning of biochemical and metabolic processes. Exposure of the seedlings at 60% field capacity did not negatively affect the net assimilation (A), since there was not much variation compared to the control with 100% field capacity. The *Acacia mangium* Willd. is moderately tolerant to low levels of non-soil water. On the production of dry matter in seedlings of *Acacia mangium* Willd. a variable more sensitive to water deficit for the dry mass of the leaves and the stem. The treatment with higher water deficit with 30% of the field capacity presented the highest accumulation of the proline content. It is a species under conditions of six days under water stress, it is still able to recover the physiological performance, characterizing its physiological and biochemical plasticity in the molting phase. For a species of *Acacia mangium* Willd., A catalase for a major enzyme in combating oxidative stress when submitted to water deficit.

Keywords: Thick; Tocantins; tolerance; Antioxidant; exotic

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	7
2	CAPÍTULO 1:	9
2.1	RESUMO:	9
2.2	ABSTRACT:.....	9
2.3	INTRODUÇÃO	10
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	10
2.5	RESULTADOS	14
2.6	DISCUSSÃO	18
2.7	CONCLUSÃO.....	23
3	CAPÍTULO 2:	24
3.1	RESUMO:	24
3.2	ABSTRACT:.....	24
3.3	INTRODUÇÃO	25
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.5	RESULTADOS	30
3.6	DISCUSSÃO	35
3.7	CONCLUSÃO.....	38
4	DISCUSSÃO GERAL	39
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	41
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
7	ANEXOS	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ANÁLISE DA FERTILIDADE DO SUBSTRATO, UTILIZADO NO EXPERIMENTO EM VASOS EM CASA DE VEGETAÇÃO.	11
TABELA 2: POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_F -MPA) EM PLANTAS JOVENS <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SOB DÉFICIT HÍDRICO NO INÍCIO DO EXPERIMENTO	16
TABELA 3: POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_F -MPA) EM PLANTAS JOVENS <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SOB DÉFICIT HÍDRICO NO FIM DO EXPERIMENTO	16
TABELA 4: MASSA SECA (MS) FOLIAR (F), (C) DO CAULE, (R) RADICULAR E (T) TOTAL PARA PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SOB DÉFICIT HÍDRICO NO FIM DO EXPERIMENTO	18
TABELA 5: VALORES MÉDIOS DA TEMPERATURA DO AR (TAR), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR) DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL DENTRO DA CASA DE VEGETAÇÃO. MÉDIAS DE QUATRO	30
TABELA 6: CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO ₂ (A), TRANSPIRAÇÃO (E), CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO ₂ (CI), EFICIÊNCIA DA CARBOXILAÇÃO (A/CI) E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA) OBTIDA EM PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS À REIDRATAÇÃO NO FINAL DO EXPERIMENTO (25° DIA)	33
TABELA 7: POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Ψ_F -MPA) EM PLANTAS JOVENS <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS À REIDRATAÇÃO NO FINAL DO EXPERIMENTO	34
TABELA 8: MASSA SECA (MS) FOLIAR (F), (C) DO CAULE, (R) RADICULAR E (T) TOTAL PARA PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS À REIDRATAÇÃO NO FINAL DO EXPERIMENTO	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO ₂ (A), TRANSPIRAÇÃO (E), CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO ₂ (Ci), EFICIÊNCIA DA CARBOXILAÇÃO (A/Ci) E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (EUA) OBTIDA EM PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO. CADA PONTO REPRESENTA A MÉDIA DE OITO DETERMINAÇÕES.	15
FIGURA 2: ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES (A) DISMUTASE DO SUPERÓXIDO (SOD), (B) PEROXIDADE DO ASCORBATO (APX), (C) CATALASE (CAT), VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE PROLINA (D) EM FOLHAS DA ESPÉCIE DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SOB DÉFICIT HÍDRICO.	17
FIGURA 3: CURSO DIÁRIO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO ₂ (A) E TAXA DE TRANSPIRAÇÃO (E), OBTIDAS EM PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS, A PARTIR DO 7 DIA, À REIDRATAÇÃO (07/ JULHO E 08/ JULHO). CADA PONTO REPRESENTA A MÉDIA DE OITO DETERMINAÇÕES.	31
FIGURA 4: CURSO DIÁRIO DA CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO ₂ (Ci), EFICIÊNCIA DA CARBOXILAÇÃO (A/Ci) E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (A/E), OBTIDAS EM PLANTAS JOVENS DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS, A PARTIR DO 7 DIA, À REIDRATAÇÃO (07/ JULHO E 08/ JULHO). CADA PONTO REPRESENTA A MÉDIA DE OITO DETERMINAÇÕES.	32
FIGURA 5: ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES (A) DISMUTASE DO SUPERÓXIDO (SOD), (B) PEROXIDADE DO ASCORBATO (APX), (C) CATALASE (CAT), VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE PROLINA (D) EM FOLHAS DA ESPÉCIE DE <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD. SUBMETIDAS À REIDRATAÇÃO AO FINAL DO EXPERIMENTO.	34
FIGURA 6: TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO ₂ (A), EM FUNÇÃO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), EM <i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA.	49

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Tocantins alcançou, em menos de dez anos, uma área de mais de 170 mil hectares de florestas plantadas (SEAGRO-TO, 2016), destacando o potencial da espécie arbórea *Acacia mangium* Willd. introduzida comercialmente no Estado, devido suas características de rápido crescimento, rusticidade e grande variedade de usos. Combinado aos recursos e condições favoráveis de manejo do estado, a acacia é uma espécie que se destaca por apresentar grande potencial de adaptação à região. No entanto são necessários cada vez mais estudos que busquem melhorar o sistema de manejo, para que atinja seu verdadeiro potencial econômico.

O Bioma Cerrado predominante no estado do Tocantins, por apresentar características diferentes em suas fitofisionomias, favorece a ocorrência de uma grande variedade de solos e formas de relevo e, portanto, de disponibilidade hídrica. Diante disso as alterações das condições edafoclimáticas podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento de alguns vegetais.

O crescimento das plantas está associado a vários fatores fisiológicos e bioquímicos, que são controlados e influenciados pela particularidade genética de cada espécie e pelas condições ambientais. Portanto pesquisas sobre déficit hídrico, em diferentes espécies vegetais, têm sido realizadas por décadas, a fim de se entender os mecanismos de tolerância apresentado em cada espécie (O'Leary, 1970; Turner, 1981; Casper et al., 1993; Calbo & Moraes, 2000; Silva et al., 2003; Liberato et al., 2006; Lechner et al., 2008; Carvalho et al. 2015).

Há poucos relatos sobre estudos detalhados dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos que controlam o uso da água para a espécie de *Acacia mangium* Willd. Neste contexto, estudar os efeitos do ambiente no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade vegetal, é extremamente importante.

A investigação dos mecanismos adaptativos da espécie de *Acacia mangium* Willd. principalmente aqueles relacionados à baixa disponibilidade hídrica e a avaliação das respostas dos processos fisiológicos e bioquímicos tornam-se importantes para fornecer subsídios quanto à irrigação e estabelecimento das mudas nos programas de florestamento e reflorestamento para várias regiões.

Portanto o presente trabalho tem como objetivo avaliar as respostas fisiológicas, bioquímicas e a tolerância à baixa disponibilidade hídrica da espécie *Acacia mangium* Willd. submetidas à deficiência hídrica e a reidratação.

2 CAPÍTULO 1:

EFEITOS DA DEFICIÊNCIA DE ÁGUA EM PLANTAS DE *Acacia mangium* Willd.

2.1 Resumo: O déficit hídrico causa efeitos diretos na fisiologia das plantas, afetando as reações bioquímicas o que resulta na redução ou na paralisação do crescimento. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do déficit hídrico sobre as trocas gasosas, relações hídricas, acúmulo do soluto prolina e atividade das enzimas antioxidantes em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), representado por quatro tratamentos hídricos (100; 60; 40 e 30% da capacidade de campo) com 12 repetições. Foram avaliados as relações de trocas gasosas, potencial hídrico foliar, teor relativo de água, atividade de enzimas antioxidantes, prolina, e massas secas das folhas, caule, raiz e total. As trocas gasosas em plantas de *Acacia mangium* Willd. foram influenciadas pela redução da disponibilidade hídrica no solo. O tratamento com 30% da capacidade de campo apresentou acúmulo maior de teor do aminoácido prolina. Verificou-se aumento da atividade da enzima antioxidante catalase em plantas de *Acacia mangium* Willd. no tratamento com 30% da capacidade de campo. Na produção de matéria seca a variável mais sensível a deficiência hídrica foi a massa seca das folhas e caule, nos tratamentos com 30% e 40% da capacidade de campo.

Palavras-chave: prolina; mudanças climáticas; enzimas antioxidantes; seca.

2.2 Abstract: Water deficit causes direct effects on plant physiology, affecting biochemical reactions resulting in reduced or stopped growth. The present study aimed to evaluate the influence of water deficit on gas exchange, water relations, solute accumulation and antioxidant enzyme activity in young plants of *Acacia mangium* Willd. The statistical design was completely randomized (DIC), represented by four water treatments (100; 60, 40 and 30% of field capacity) with 12 replicates. The relationship of gas exchange, leaf water potential, relative water content, antioxidant enzyme activity, proline, and dry leaf, stem, root and total mass were evaluated. The gaseous changes in plants of *Acacia mangium* Willd. were influenced by the reduction of soil water availability. The treatment with 30% of the field capacity presented greater accumulation of the content of the amino acid proline. There was an increase in the activity of the antioxidant enzyme catalase in *Acacia mangium* Willd plants. in the treatment with 30% of the field capacity. In the dry matter production the variable most sensitive to water deficiency was the dry mass of the leaves and stem, in the treatments with 30% and 40% of the field capacity.

key words: proline; climate changes; antioxidant enzymes; dry.

2.3 Introdução

A espécie de *Acacia mangium* Willd. tem sido plantada em todos os Estados brasileiros, destacando o seu grande potencial silvicultural que é evidenciado no valor econômico de suas variedades de usos como no segmento madeireiro, melífero, tanífero e forrageiro. O risco de insucesso no investimento feito no plantio da *Acacia mangium* Willd. pode ser considerado muito baixo ou desprezível, uma vez que cerca de 159.877 hectares desta espécie já foram plantadas no Brasil (IBÁ, 2017).

No contexto de efeitos das mudanças climáticas e suas alterações nos ecossistemas como a baixa disponibilidade hídrica dos solos, e, o incremento médio da temperatura em escala global, são apontados como as principais causas primárias que podem afetar negativamente a produtividade de culturas em todo mundo (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007; MORAIS et al 2017). Esses fatores são de grande importância para todas as regiões onde o setor florestal é destaque e vem sendo implantado, como no estado do Tocantins, que apresenta um elevado déficit hídrico durante a estação de seca.

O déficit hídrico causa efeitos diretos na fisiologia das plantas, afetando as reações bioquímicas o que resulta na redução ou na paralisação do crescimento. Diante destes fatos, como ocorre com qualquer iniciativa, são necessários muitos estudos e pesquisas para que se tenha um conhecimento mínimo e consequente segurança econômica do empreendimento florestal (Warren et al., 2011; Otto et al 2017).

Portanto o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do déficit hídrico sobre as trocas gasosas, relações hídricas, acúmulo do soluto prolina e atividade das enzimas antioxidantes em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd.

2.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de Novembro de 2016 a Setembro de 2017, em ambiente protegido na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi, localizada na região sul do estado do Tocantins,

em altitude de 280 metros na localização de 11°44'8" de latitude Sul e 49°02'58" de longitude Oeste. O clima predominante da região, segundo Thornthwaite, é do tipo C2wA "a", caracterizado por um clima úmido subúmido, e as precipitações pluviométricas entre 1.600 a 1.700 mm e temperatura média anual de 26°C (SEPLAN, 2012).

As mudas de *Acacia mangium* Willd. foram provenientes de sementes coletadas em árvores matrizes no campo experimental, da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi. Por ocasião da instalação do experimento, as sementes foram submetidas a tratamento de quebra de dormência com imersão em água aquecida a 100° C, por 60 segundos. A semeadura foi feita diretamente em tubetes com capacidade volumétrica de 290 cm³, onde foram semeadas três sementes por recipiente com 60% de substrato comercial bioflora, 30% terra de subsolo coletado em Gurupi, TO e 10% de areia. Foi realizada adubação mineral de cobertura aos 30 dias após a germinação, utilizando 500g de sulfato amônio+400g de KCL/10000 tubetes (DAVIDE e FARIA, 2008). Decorridos 25 dias da semeadura, foi realizado o raleio, permanecendo apenas uma muda por tubete, sendo aquela de maior vigor e melhor posicionamento no recipiente.

Quando as mudas apresentaram aproximadamente 150 dias idade, com cerca de 35 cm de altura foram selecionadas plantas uniformes as quais foram transferidas para vasos de polietileno com capacidade de 5,5 litros, preenchidos com mistura de 70% de terra de subsolo, 10% de areia e 20% de substrato comercial bioflora. O solo coletado pertence à classe textura média. Os vasos foram colocados sobre bancadas de metal de 3,0 x 1,20 x 1,0 m de comprimento, largura e altura, respectivamente com espaçamento entre os vasos de 30 cm. A correção da acidez e nutrientes do solo usado no experimento foi realizada conforme análise de solo e de acordo com as recomendações técnica do livro 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999) (Tabela 1).

Tabela 1: Análise da fertilidade do substrato, utilizado no experimento em vasos em casa de vegetação.

pH CaCl ₂	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C.O	M.O
	(mg/dm ³)	Macronutrientes (cmolc/dm ³)					Micronutrientes (mg/ dm ³)					dag.Kg	
5,6	11,6	0,28	2,0	1,0	0,0	1,50	0,1	0,4	11	0,7	0,5	1,2	2,0

Durante o período de aclimatação de quinze dias dentro da casa de vegetação, todos os vasos foram mantidos na capacidade de campo (100% CC). Após esse período foi feita a diferenciação dos tratamentos hídricos: CC-capacidade de campo, 60%, 40% e 30% da capacidade de campo, segundo a metodologia proposta por (SOUZA et al., 2000) com uma modificação (água adicionada pela superfície do substrato). O método gravimétrico direto para a determinação da CC foi desenvolvido a partir de quatro vasos, contendo o equivalente a seis kg de solo seco em estufa. Nos vasos, o solo com estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água adicionada pela superfície do substrato, após foram submetidos à drenagem por um período não inferior a 28h, até o total cessamento da drenagem livre, com a superfície do solo coberta para evitar a evaporação, oportunidade em que se determinou o conteúdo de água retido. O substrato reteve 1,6 litros de água, o qual correspondeu 100% da capacidade de campo. Este valor, acrescido do peso do substrato seco ao ar (6kg), foi considerado como tratamento controle (7,6kg). Os demais tratamentos foram calculados pelos percentuais estabelecidos.

As superfícies dos vasos foram cobertas com um plástico opaco, no intuito de evitar a perda da água por evaporação do substrato. Para manter os níveis de água estabelecidos, a água perdida por transpiração foi repostada diariamente através da pesagem das unidades experimentais (planta + vaso + substrato) de acordo com cada nível de água. Para a realização desse procedimento, utilizou-se uma balança com capacidade para 15 kg.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), representado por quatro tratamentos hídricos (100; 60; 40 e 30% da capacidade de campo) com 12 repetições.

O potencial hídrico foliar (Ψ_f - MPa) foi avaliado em dois estágios no 6º dia e no 25º dias do experimento em dois horários de avaliação, na antemã (5h, Ψ_f -máximo- MPa) e ao meio-dia (12h, Ψ_f - mínimo- MPa). Para a determinação do Ψ_f , foram selecionadas as folhas localizadas no terço médio da planta, e o equipamento utilizado foi a Câmara de Pressão de Scholander, segundo Scholander et al. (1965).

As características fisiológicas avaliadas foram realizadas diariamente, no terço superior da planta, na quarta folha completamente expandida. Utilizando-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI- 6400XT (Portable Photosynthesis System). As avaliações foram realizadas no período do

mês de julho de 2017 e as medições foram realizadas no período da manhã das 09:00 às 11:00 horas, utilizando quatro plantas por tratamento. De forma simultânea foi registrado a umidade relativa do ar (UR), a temperatura do ar (Tar) com o auxílio de um anemômetro digital.

As trocas gasosas foram medidas a uma concentração de CO₂ de 360 mmol mol⁻¹, temperatura de 28 °C e radiação fotossinteticamente ativa saturadora de luz (PAR) de 1500 mmol m⁻² s⁻¹.

Foi avaliado, o carbono interno (Ci), assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática de vapores de água (gs), taxa de transpiração (E), bem como calculada a eficiência do uso da água (EUA), obtida pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada e eficiência da carboxilação (A/Ci).

Para as análises bioquímicas, foram realizadas duas coletas de folhas, no 6º dia e no final do experimento, constituindo-se um total de 4 repetições, acondicionadas em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer a -80°C. Para as posteriores determinações de prolina e atividade enzimática da catalase, superóxido dismutase e do ascorbato de peroxidase.

A concentração de prolina foi avaliada pelo método de Bates et al. (1973). A atividade das enzimas catalase, superóxido dismutase e ascorbato de peroxidase foram determinadas segundo as metodologias adotadas por HAVIR, EA; MCHALE, NA. (1987), GIANNOPOLITIS, O; RIES, SK. (1977) e NAKANO; ASADA (1981) respectivamente.

As avaliações de massas secas foram mensuradas no final do experimento a fim de estimar os efeitos dos tratamentos no desenvolvimento vegetal, às plantas foram separadas em parte aéreas e radiculares, ambas as partes foram acondicionadas em sacos de papel, mantidas em estufa com circulação de ar (75 ± 2°C) até atingir peso constante. Em seguida, foram pesadas em balança semi-analítica e avaliadas as variáveis: acúmulo de massa seca: das folhas (MSF), do caule (MSC), das raízes (MSR) e massa seca total (MST).

Os dados das variáveis Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa), Teor relativo de água, Atividade das enzimas antioxidantes, Prolina e fisiológicos foram submetidos à estatística descritiva e análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o programa software SISVAR (FERREIRA, 2008).

Para as variáveis temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR) foram calculadas as médias e o \pm desvio padrão.

Para o cálculo dos valores médios e confecções dos gráficos das trocas gasosas foi utilizado o software SigmaPlot 10.0.

2.5 Resultados

Durante o período experimental de vinte e cinco dias dentro da casa de vegetação os valores médios de umidade relativa do ar (UR) e a temperatura do ar (TEMP) ao longo do experimento foram de $39,8\% \pm 7,6$ e $32,7^{\circ}\text{C} \pm 3,0$, com máximas de $57,2\% \pm 2,1$ e $38,5^{\circ}\text{C} \pm 0,6$ e mínimas de $27,1\% \pm 3,2$ e $27,2^{\circ}\text{C} \pm 0,8$ respectivamente.

Os valores médios da taxa da condutância estomática (gs), assimilação líquida (A), taxa de transpiração (E), eficiência instantânea de carboxilação (A/CI) e eficiência do uso da água (EUA) das plantas de *Acacia mangium* Willd. foram reduzidos com a diminuição da disponibilidade de água no solo, apresentando variações expressivas ao longo do tempo de avaliação (Figura 1).

Com relação à variação da condutância estomática (gs) durante o período de avaliação, observa-se que as plantas sob 100 e 60% da capacidade de campo (CC) apresentaram maiores valores. No entanto as plantas dos tratamentos com 40 e 30% da CC apresentaram os menores valores de condutância estomática sob deficiência hídrica (Figura 1).

As plantas submetidas à condição hídrica de 100 e 60% da CC mantiveram seus estômatos mais abertos ao longo do tempo, levando a um maior consumo de água. Entretanto plantas sob 40% da CC apresentaram uma maior variação dos valores de condutância estomática, ao longo do tempo de avaliação, verificando uma diminuição e um leve aumento no sentido de tolerância o que reflete ao tempo de exposição da planta sob estresse hídrico. As plantas do tratamento com 30% da capacidade de campo tiveram a condutância estomática reduzida pelo déficit hídrico (Figura 1).

Para taxa de assimilação líquida (A), as maiores reduções foram observadas na condição hídrica de 30 e 40% da CC. Aos 5, 15 e 25 dias de avaliação as plantas sob 30% da CC, evidenciaram valores extremamente baixos, menores que zero, sugerindo a paralisação total da assimilação de CO_2 durante esse período (Figura 1).

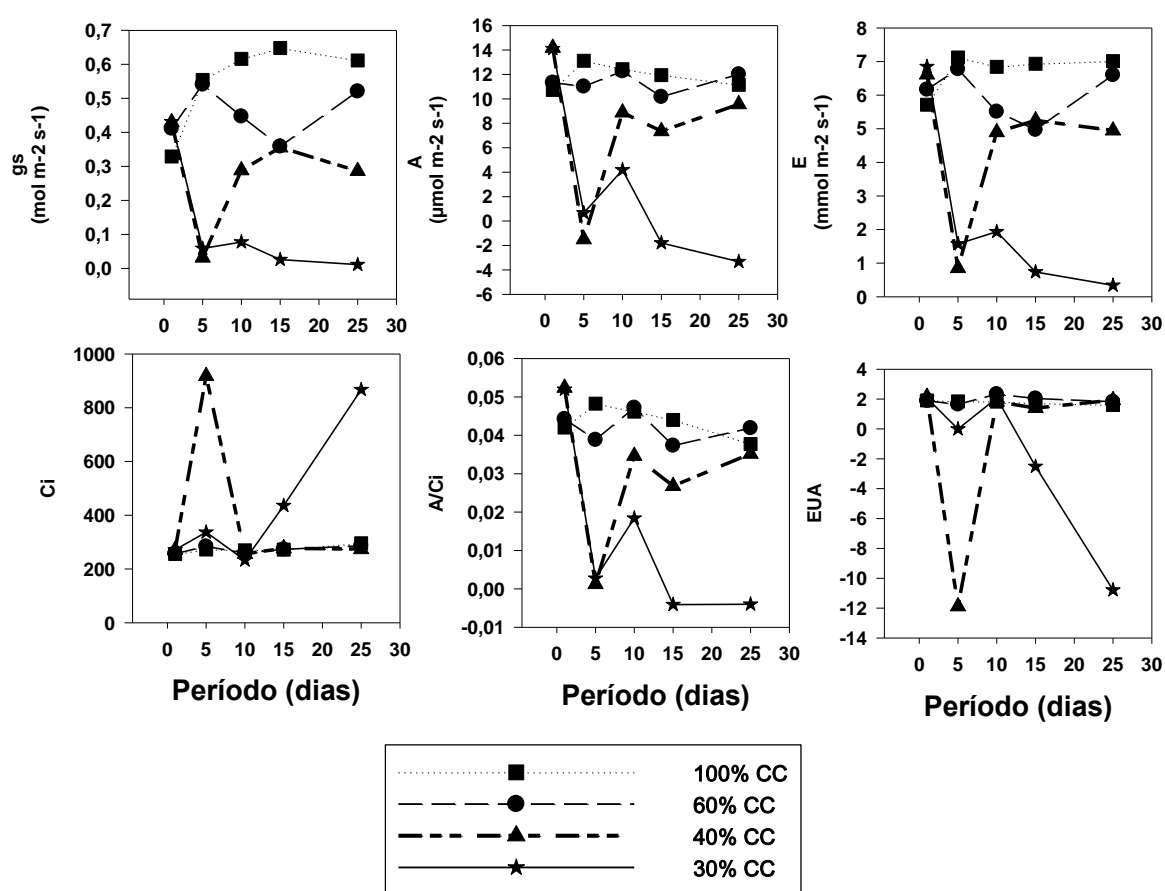


Figura 1: Condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) obtida em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. submetidas ao déficit hídrico. Cada ponto representa a média de oito determinações.

Na condição de 30% e 40% da capacidade campo a concentração intercelular de CO₂ (Ci) foi maior do que no controle (100%CC), verificando-se uma taxa de assimilação líquida nula no 5º dia para ambos (30% e 40% CC) e no 15º e 25º para as plantas com 30% CC (Figura 1).

Nas plantas jovens de *Acacia mangium* Willd., foi observada uma recuperação acentuada da taxa da condutância estomática (gs), assimilação líquida (A), taxa de transpiração (E), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) para as plantas submetidas à condição de 40% da CC após o quinto dia de estresse hídrico (Figura 1).

Para o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) em plantas de *Acacia mangium* Willd. sob déficit hídrico na época inicial de avaliação nos horários de 5h e 12h o tratamento com 60% da capacidade de campo não apresentou alteração significativa

do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) comparado com as plantas a 100% da CC, com exceção para o potencial medido no final do experimento às 12 horas (Tabela 2 e 3).

As Plantas com 30 e 40% da CC apresentaram reduções significativas em todas as épocas e horários de avaliações, observando-se no período final do experimento no horário das 5 e das 12h uma redução mais pronunciada (-2,85 e -1,83 Mpa respectivamente) diferindo dos demais tratamentos com plantas sob 60 e 100% da CC (Tabela 3). Constatando-se que as plantas sob 30 e 40% da CC foram severamente prejudicadas pelo déficit hídrico.

Aos 25° dias de exposição ao estresse hídrico as plantas de *Acacia mangium* Willd sob 100% e 60% da CC, no horário das 5h da manhã, as plantas sob 100% e 60% da CC apresentaram respostas significativamente semelhantes, não apresentando diferença estatística entre si. No entanto diferiram das plantas sob 40 e 30% da CC. No horário das 12h, todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

Tabela 2: Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) em plantas jovens *Acacia mangium* Willd. sob déficit hídrico no início do experimento

Tratamentos (%CC)	Ψ (MPa)	Ψ (MPa)
	Início (5 Horas)	Início (12 Horas)
100%	-0,15 a	-0,38 a
60%	-0,23 ab	-0,43 ab
40%	-0,28 bc	-0,60 ab
30%	-0,35 c	-0,65 b
CV (%)	14,11	16,40

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Tabela 3: Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) em plantas jovens *Acacia mangium* Willd. sob déficit hídrico no fim do experimento

Tratamentos (%CC)	Ψ (MPa)	Ψ (MPa)
	Final (5 Horas)	Final (12 Horas)
100%	-0,30 a	-0,80 a
60%	-0,50 a	-1,30 b
40%	-0,93 b	-1,83 c
30%	-2,0 c	-2,85 d
CV (%)	8,87	3,88

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

O teor de prolina para *Acacia mangium* Willd. seguiu a tendência de aumento até as condições de 30% de CC diferenciando-se estatisticamente das demais plantas sob condição hídrica de 40, 60 e 100% da CC (Figura 2).

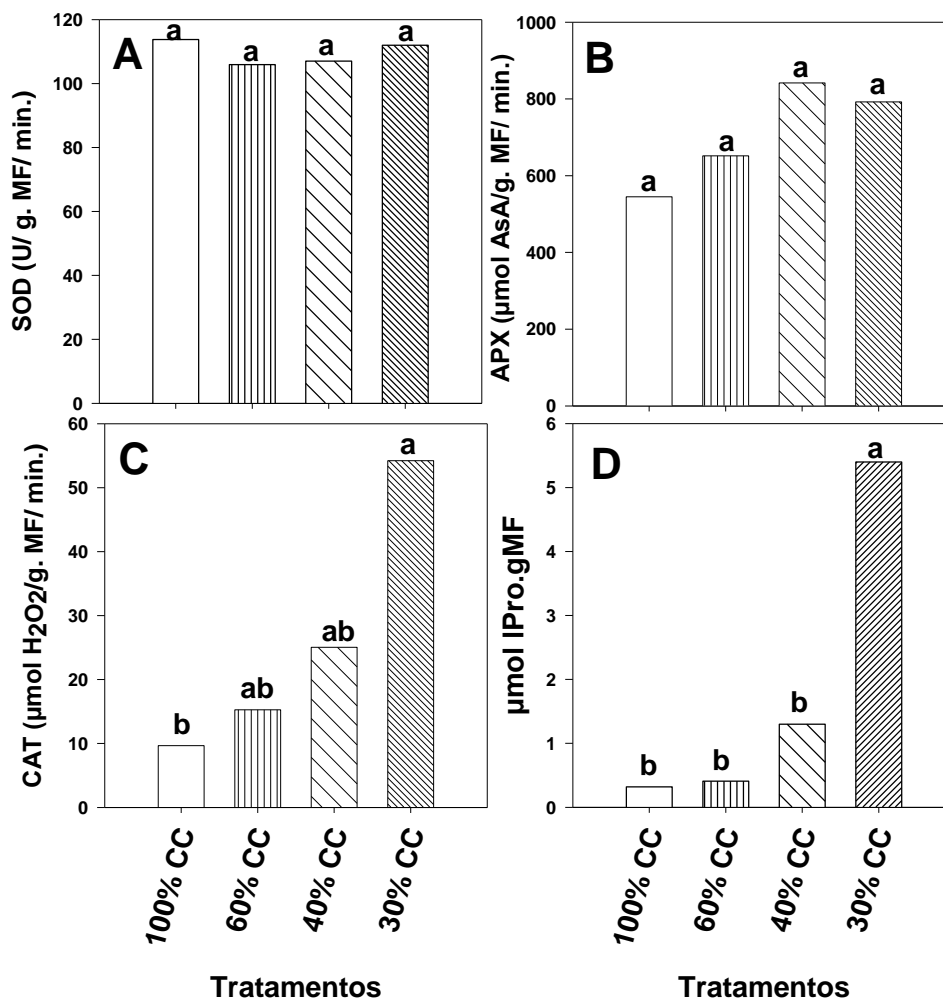


Figura 2: Atividade das enzimas antioxidantes (A) dismutase do superóxido (SOD), (B) peroxidase do ascorbato (APX), (C) catalase (CAT), valores médios dos teores de prolina (D) em folhas da espécie de *Acacia mangium* Willd. sob déficit hídrico.

As plantas de *Acacia mangium* Willd. quando submetidas em maior estresse hídrico (30% da capacidade de campo) apresentaram alta atividade da enzima catalase (CAT), sendo inibida na testemunha com 100% da capacidade campo. As enzimas peroxidase do ascorbato (APX) e a dismutase do superóxido (SOD) mantiveram atividade semelhante ao controle com o aumento das condições de estresse hídrico. Para essa espécie a CAT foi a principal enzima em combater o estresse oxidativo (Figura 2).

O déficit hídrico nas plantas de *Acacia mangium* Willd. diminuiu significativamente a produção de massa seca foliar (MSF) e caule (MSC). Sendo a

massa seca das folhas da planta uma das variáveis mais afetadas pela diminuição do teor de água no substrato ao longo do experimento, com menor valor observado para as plantas sob 30% da capacidade de campo ($17,74 \text{ g.planta}^{-1}$) e maior para as plantas sob 100% CC, ($33,13 \text{ g.planta}^{-1}$) sendo estes diferentes estatisticamente entre si (Tabela 4).

Para massa seca do caule, observou-se maior valor para as plantas sob 100% CC ($21,92 \text{ g.planta}^{-1}$). As plantas com 60% e 30% da capacidade de campo apresentaram valores intermediários não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($14,87 \text{ g.planta}^{-1}$ e $16,07 \text{ g.planta}^{-1}$ respectivamente). O menor valor foi observado para o tratamento com 40% da capacidade de campo ($13,32 \text{ g.planta}^{-1}$) (Tabela 4).

Quanto à massa seca radicular e a total, os resultados não apresentaram diferença significativa para os tratamentos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4: Massa seca (MS) foliar (F), (C) do caule, (R) radicular e (T) total para plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. sob déficit hídrico no fim do experimento

Tratamentos (%CC)	MSF (g. planta ⁻¹)	MSC (g. planta ⁻¹)	MSR (g. planta ⁻¹)	MST (g. planta ⁻¹)
100%	33,13 a	21,92 a	29,19 a	84,25 a
60%	27,66 ab	14,87 ab	38,15 a	80,68 a
40%	23,11 bc	13,32 b	36,36 a	72,80 a
30%	17,74 c	16,07 ab	39,38 a	73,19 a
CV (%)	14,23	22,30	25,25	16,16

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

2.6 Discussão

Vários estudos destacam que o déficit hídrico provoca danos inicialmente ao aparato estomático, provocando o fechamento dos estômatos. No entanto, com o decorrer do tempo de exposição nas condições de deficiência hídrica, as plantas podem desenvolver certa tolerância, mantendo a transpiração por períodos mais longos (LARCHER, 2004; SILVA, 2007). Neste trabalho observou-se que as plantas de *Acacia mangium* Willd. quando submetidas à condição de 40% de capacidade de campo reflete essa afirmativa (Figura 1).

Observou-se de fato que o fechamento dos estômatos foi o primeiro fator de redução na assimilação líquida (A), taxa de transpiração (E), eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) das plantas de *Acacia mangium* Willd. sob condições de maior déficit hídrico (30% e 40% da CC). Essa redução deve-se à diminuição na disponibilidade de CO₂ nas câmaras subestomáticas das folhas, causada pelo fechamento dos estômatos (Figura 1) (GONÇALVES et al 2009) (Anexos, Figura 6).

Segundo Taiz & Zeiger (2013), em condições de estresse, especialmente hídrico e salino, o fechamento estomático pode ser visto como uma resposta positiva da planta para a manutenção de água. Tonello e Teixeira Filho (2012), em seu trabalho também constataram a diminuição dos valores de condutância estomática em *Pterogyne nitens*, *Aspidosperma polyneuron* e *Myroxylum peruiferum* quando submetidas a diferentes disponibilidades de água no solo.

Ferreira (2015) ao estudar a ecofisiologia em plantas de *Millettia stuhlmannii* Taub também mostrou que as plantas apresentavam menores valores de assimilação líquida (A), condutância estomática (gs), e transpiração (E) quando submetidas a menores disponibilidades hídricas no solo.

Para a eficiência do uso da água (EUA) nas plantas de *Acacia mangium* Willd. foi observado que em condições de 100%, 60% e 40% da CC não houve grandes variações para os dias 10, 15 e 25 dias de experimento. Demonstrando uma alta eficiência e regulação do uso da água para o tratamento com 40% da capacidade de campo, sendo este a segunda condição mais extrema ao déficit hídrico (Figura 1).

O decréscimo da eficiência no uso da água nas condições de 30% da capacidade de campo observada nos 25 dias de experimento pode ter ocorrido devido à baixa disponibilidade de água encontrada no substrato e o tempo sob essa condição. Visto que nas condições de maior disponibilidade de água (100%, 60% e 40% da capacidade de campo) não foram constatadas variações, observando-se os maiores valores (Figura 1).

A baixa concentração intercelular de CO₂ (Ci) nas condições de 30 e 40% da capacidade campo, evidenciado também com taxa de assimilação líquida nula em algumas datas avaliadas, pode ser atribuída quando a condutância estomática diminui, um aumento da Ci pode ser detectado (Figura 5). Lawlor (2002) destaca a fotorrespiração como provável (não exclusivamente) fonte de geração deste CO₂. A

fotorrespiração exerce uma importante função de proteção nas folhas de plantas C_3 sob estresse por ser uma rota para o consumo da energia excedente. No entanto, a medida que ocorre uma maior diminuição no teor relativo de água, a liberação de CO_2 de origem não fotorrespiratória, isto é proveniente da não fixação fotossintética se torna relativamente alta, e uma maior C_i pode ser verificado.

A eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) em plantas de *Acacia mangium* Willd., juntamente com o fechamento dos estômatos (g_s), redução da transpiração (E) e assimilação líquida (A) e a diminuição da disponibilidade de água no solo, levaram a reduzir o seu status, pelo fato dessas plantas possivelmente pararem de assimilar carbono, devido à limitação estomática principalmente no tratamento com 30% da capacidade de campo (Figura 1).

Segundo Nascimento (2009), nas relações hídricas, o estresse hídrico atua diretamente na redução do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa). Corroborando com essa afirmativa evidenciou-se no presente estudo que as plantas 30% da CC apresentaram reduções significativas comparadas às outras condições hídricas em todas as épocas e horários de avaliações. Constatando-se que as plantas sob 30% da capacidade de campo foram severamente prejudicados pelo déficit hídrico (Tabela 3).

Larcher (2006) relata que quanto menor for à quantidade de água no solo necessariamente mais negativo deve ser o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) desenvolvido pelas raízes, principalmente no horário do meio-dia, quando a transpiração apresenta valores elevados e a pressão negativa no xilema apresenta valores menores da absorção de água pela planta.

Várias pesquisas destacam que com valores do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) igual ou abaixo de -1,5 MPa, as plantas entram num processo chamado de murcha permanente. No entanto, existem algumas espécies que apresentam um alto grau de tolerância à falta de água, podendo chegar a -6,0 MPa, o que representa um potencial letal para essas espécies (PIMENTEL, 2004). Neste trabalho ao final do experimento no 25º dia sob estresse hídrico a 30% da capacidade de campo as plantas foram severamente prejudicadas observando-se no horário de 12h uma redução pronunciada do potencial hídrico foliar (-2,85 Mpa) diferindo das plantas nas demais condições hídricas (Tabela 3).

Rolando e Little (2008) avaliaram o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) em *Eucalyptus grandis* plantados em vaso, em 7 dias consecutivos, sem adição de água

observaram queda do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) de -0,8 a -1,22 MPa, acompanhado de declínio da condutância estomática.

O estresse hídrico pode causar estresse oxidativo nos vegetais, devido ao aumento da produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROS), altamente tóxicos no organismo vivo. As espécies reativas de oxigênio (EROS), como radicais de superóxido ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila (OH^{\bullet}) causam danos às proteínas e lipídios das membranas celulares dos vegetais (THOUNAOJAM et al. 2012; SÁNCHEZ-PARDO et al. 2014).

Para combater a produção de EROS as plantas apresentam mecanismos antioxidantes que incluem as enzimas antioxidantes, como a dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX) e catalase (CAT) que impedem desse modo, danos oxidativos (ADRESS ET AL. 2015).

A menor disponibilidade hídrica de 30% da capacidade de campo para mudas de *Acacia mangium* Willd, fez com que essa espécie necessitasse do sistema antioxidante, principalmente da enzima catalase, em virtude de sua contribuição para essa condição. Diante disso, a probabilidade de ocorrer desequilíbrio no metabolismo celular é alta, induzida pelas espécies reativas de oxigênio, principalmente o peróxido de hidrogênio que se encontra em altas concentrações em plantas sob esse ambiente. Portanto a catalase é uma das principais enzimas na eliminação do peróxido de hidrogênio gerado durante a fotorrespiração e a β -oxidação dos ácidos graxos (RIBEIRO, 2015). Atua nos peroxissomos e glioxissomos e pode ser encontrada também em mitocôndrias, convertendo duas moléculas de peróxido de hidrogênio em água (DUBEY, 2011).

Ribeiro (2015), trabalhando com mudas das espécies de *Pimenta pseudocaryophyllus* e *Machaerium opacum* destacou que quando submetida à menor disponibilidade hídrica, fez com que essa espécie necessitasse do sistema antioxidante principalmente da enzima catalase (CAT), em virtude de sua contribuição para esse comportamento.

Entretanto, Ramos (2017) estudando a influencia de diferentes doses de glyphosate em mudas de *Acacia mangium* Willd, verificou que a espécie também apresentou sistema de defesa enzimático antioxidante SOD e APX em combate as EROs.

Muitos vegetais quando submetidos a estresse abióticos alteram seu metabolismo. Um composto que pode ser caracterizado como um fator de tolerância

à seca pela planta é a prolina (JHARNA et al., 2001). O alto nível desse aminoácido tem se destacado como uma proteção da planta frente à condição de estresse hídrico, para diminuir o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa), proteger as estruturas, as enzimas e tecidos das células, uma vez que é um osmorregulador originado de compostos nitrogenados (SILVA, 2007). O acúmulo de prolina nas folhas das plantas sob condições de déficit hídrico tem função osmoprotetora, atua como composto de estoque de carbono e nitrogênio durante o déficit hídrico, e como anti-oxidante (SIRCELJ, 2005; SARKER et al., 2005).

No presente trabalho foi observado que o tratamento com maior déficit hídrico com 30% da capacidade de campo, apresentou o acúmulo maior de teor do aminoácido prolina, constatando que o déficit hídrico aumentou estatisticamente as concentrações desse soluto comparado às demais plantas sob estresses hídricos (Figura 2). Portanto é considerado como um dos indicadores que apresenta uma forte relação à tolerância ao déficit hídrico em plantas de *Acacia mangium* Willd.

Estes resultados evidenciam que a ação coordenada dos osmoprotetores prolina e a enzima antioxidativa catalase responderam melhor frente aos estresses mais severos aplicados.

Os primeiros efeitos visíveis do déficit hídrico sobre as plantas de *Acacia mangium* Willd. foram observados a partir do quinto dia de estresse com o aparecimento de ressecamento nas folhas (principalmente nas mais velhas), seguidas de abscisão foliar principalmente no tratamento com 30% da capacidade de campo.

Alguns estudos evidenciam um maior favorecimento para as raízes em detrimento das folhas e caule quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico (NILSEN & ORCUTT, 1996). Neste trabalho observou-se que o desenvolvimento radicular das plantas submetidas a maiores graus de déficit hídrico (30% e 40% da CC) foi similar estatisticamente as plantas controle (100% da capacidade de campo) e a parte área das folhas e caules foram estatisticamente menores para os tratamentos com maiores graus de déficit hídrico com 30% e 40% da capacidade de campo respectivamente, fato que confirma a afirmativa levantada (Tabela 4).

Segundo Nascimento (2009), as reduções diferenciais nas percentagens de matéria seca das folhas, caules e raízes, dependem do estágio de desenvolvimento e da sensibilidade relativa dos diversos órgãos da planta que está sendo avaliada.

Santiago (2000), avaliando o crescimento de plantas jovens de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth), verificou que o déficit hídrico provocou redução tanto na matéria seca das folhas quanto na matéria seca do caule. Corroborando com os resultados encontrados para as plantas de *Acacia mangium* Willd.

2.7 Conclusão

As trocas gasosas em plantas de *Acacia mangium* Willd. foram influenciadas pela redução da disponibilidade hídrica no solo.

O tratamento com 30% da capacidade de campo apresentou acúmulo maior de teor do aminoácido prolina.

Verificou-se aumento da atividade da enzima antioxidante catalase em plantas de *Acacia mangium* Willd. no tratamento com 30% da capacidade campo.

Na produção de matéria seca em mudas de *Acacia mangium* Willd. a variável mais sensível a deficiência hídrica foi a massa seca das folhas e caule nos tratamentos com 30% e 40% da capacidade de campo.

Os resultados demonstraram que a *Acacia mangium* Willd. apresentou mudanças fisiológicas e bioquímicas na tentativa de tolerar o déficit hídrico imposto.

3 CAPÍTULO 2:

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE *Acacia mangium* Willd. SUBMETIDAS À REIDRATAÇÃO APÓS DÉFICIT HÍDRICO

3.1 Resumo: Diante da carência de informações a respeito dos aspectos relacionados ao mecanismo fisiológico e bioquímico que determina a capacidade de recuperação à seca da espécie de *Acacia mangium* Willd, foi conduzido o presente trabalho de pesquisa com o objetivo de avaliar a capacidade de plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. em recuperar seu status hídrico e trocas gasosas após período de deficit hídrico. Utilizaram-se mudas com 180 dias de idade em um delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), representado por quatro tratamentos hídricos (100; 60; 40 e 30% da capacidade de campo) com 12 repetições. A reidratação foi realizada após um curto período de estresse hídrico de 6 dias, elevando todos os níveis de água para 100% da capacidade de campo. A duração do experimento foi de 25 dias. As plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. recuperaram seus status hídricos e as trocas gasosas após a reidratação evidenciando tolerância ao déficit hídrico de 6 dias. Para a espécie de *Acacia mangium* Willd. ocorreu acúmulo do aminoácido prolina e a principal enzima em combater o estresse oxidativo foi a catalase á medida que o déficit hídrico aumentou respectivamente.

Palavras-chave: assimilação líquida, transpiração, florestas, capacidade de campo.

3.2 Abstract: In view of the lack of information on the aspects related to the physiological and biochemical mechanism that determines the drought recovery capacity of *Acacia mangium* Willd species, the present research was conducted with the objective of evaluating the ability of young plants of *Acacia mangium* Willd. to recover their water status and gas exchange after a period of water deficit. Seedlings with 180 days of age were used in a completely randomized design (DIC), represented by four water treatments (100; 60, 40 and 30% of field capacity) with 12 replicates. Rehydration was performed after a short period of 6-day water stress, raising all water levels to 100% of field capacity. The duration of the experiment was 25 days. Young plants of *Acacia mangium* Willd. recovered their water status and gas exchange after rehydration evidencing tolerance to the water deficit of 6 days. For the species of *Acacia mangium* Willd. accumulation of the amino acid proline occurred and the main enzyme in combating oxidative stress was catalase as the water deficit increased respectively.

key words: liquid assimilation, transpiration, forests, field capacity.

3.3 Introdução

Dentre as espécies comerciais a *Acacia mangium* Willd. tem sido amplamente difundidas em varias regiões do Brasil, devido ao crescimento vigoroso, a tolerância a solos ácidos e pobres, a habilidade em se desenvolver bem em condições onde a competição é severa, a relativa tolerância à doenças e as boas propriedades da madeira para utilização em diversos fins.

Na implantação de florestas o estudo referente às respostas das plantas ao estresse hídrico, tem sido um dos principais assuntos a serem discutidos devido à importância de adaptação as espécies comerciais e o aumento da produção relacionado ao seu determinado fim (MANCOSU et al., 2015).

Os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas são complexos, não havendo um mecanismo padrão de resistência à seca. As plantas respondem a essa condição por meio de vários processos adaptativos, como a capacidade de reduzir o potencial hídrico, aliada a adaptações bioquímicas, fisiológicas, anatômicas e morfológicas (NOGUEIRA et al., 2005; FERNANDES et al. 2015).

Tendo em vista a expansão da espécie de *Acacia mangium* Willd. para áreas em que as condições ambientais são menos favoráveis, o estudo sobre diferentes condições hídricas, assume particular importância devido à sua influência na característica de desenvolvimento da planta.

Diante da carência de informações a respeito dos aspectos relacionados ao mecanismo fisiológico e bioquímico que determinam a capacidade de recuperação à seca da espécie de *Acacia mangium* Willd., o presente trabalho foi instalado com o objetivo de avaliar a capacidade de plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. em recuperar seu status hídrico e trocas gasosas após período de deficit hídrico.

3.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de Novembro de 2016 a Setembro de 2017, em ambiente protegido na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi, localizada na região sul do estado do Tocantins, em altitude de 280 metros na localização de 11°44'8" de latitude Sul e 49°02'58" de longitude Oeste. O clima predominante da região, segundo Thornthwaite, é do tipo C2wA "a", caracterizado por um clima úmido subúmido, e as precipitações pluviométricas entre 1.600 a 1.700 mm e temperatura média anual de 26°C (SEPLAN, 2012).

As mudas de *Acacia mangium* Willd. foram provenientes de sementes coletadas em árvores matrizes no campo experimental, da Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi. Por ocasião da instalação do experimento, as sementes foram submetidas a tratamento de quebra de dormência com imersão em água aquecida a 100° C, por 60 segundos. A semeadura foi feita diretamente em tubetes com capacidade volumétrica de 290 cm³, onde foram semeadas três sementes por recipiente com 60% de substrato comercial bioflora, 30% terra de subsolo coletado em Gurupi, TO e 10% de areia com adubação mineral de cobertura aos 30 dias após a germinação, utilizando 500g de sulfato amônio+400g de KCL/10000 tubetes (DAVIDE e FARIA, 2008). Decorridos 25 dias da semeadura, foi realizado o raleio, permanecendo apenas uma muda por tubete, sendo aquela de maior vigor e melhor posicionamento no recipiente.

Para a condução deste experimento, quando as mudas apresentaram aproximadamente 150 dias idade, com cerca de 35 cm de altura foram selecionadas as plantas uniformes as quais foram transferidas para vasos de polietileno com capacidade de 5,5 litros, preenchidos com mistura de 70% de terra de subsolo coletado em Gurupi, TO, 10% de areia e 20% de substrato comercial bioflora. O solo coletado pertence à classe textura média. Os vasos foram colocados sobre bancadas de metal de 3,0 x 1,20 x 1,0 m de comprimento, largura e altura, respectivamente com espaçamento entre os vasos de 30 cm.

O substrato utilizado nos vasos apresentava as seguintes características: matéria orgânica 2,0 dag.Kg, pH 5,6; P 11,6 mg dm⁻³, e 2,0, 1,0, 0,28, 0,0 e 1,50 cmolc dm⁻³ de Ca⁺²; Mg⁺²; K⁺; Al⁺³; H+Al respectivamente e B; Cu; Fe; Mn e Zn com 0,1;0,4;11;0,7;0,5 mg dm⁻³ respectivamente.

A correção da acidez e nutrientes do solo usado no experimento foi realizada conforme análise de solo e de acordo com as recomendações técnica do livro 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999).

Durante o período de aclimatação de quinze dias dentro da casa de vegetação, todos os vasos foram mantidos na capacidade de campo (100% CC). Após esse período foi feita a diferenciação dos tratamentos hídricos: CC-capacidade de campo, 60%, 40% e 30% da capacidade de campo, segundo a metodologia proposta por (SOUZA et al., 2000) com uma modificação (água adicionada pela superfície do substrato). O método gravimétrico direto para a determinação da CC foi desenvolvido a partir de quatro vasos, contendo o equivalente a seis kg de solo seco em estufa. Nos vasos, o solo com estrutura deformada foi umedecido até a saturação por água adicionada pela superfície do substrato, após foram submetidos à drenagem por um período não inferior às 28h, até o total cessamento da drenagem livre, com a superfície do solo coberta para evitar a evaporação, oportunidade em que se determinou o conteúdo de água retido. O substrato reteve 1,6 litros de água, o qual correspondeu 100% da capacidade de campo. Este valor, acrescido do peso do substrato seco ao ar (6kg), foi considerado como tratamento controle (7,6kg). Os demais tratamentos foram calculados pelos percentuais estabelecidos.

As superfícies dos vasos foram cobertas com um plástico opaco, no intuito de evitar a perda da água por evaporação do substrato. Para manter os níveis de água estabelecidos, a água perdida por transpiração foi repostada diariamente através da pesagem das unidades experimentais (planta + vaso + substrato) de acordo com cada nível de água. Para a realização desse procedimento, utilizou-se uma balança com capacidade para 15 kg.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), representado por quatro tratamentos hídricos (100; 60; 40 e 30% da capacidade de campo) com 12 repetições. A reidratação foi realizada após um curto período de estresse hídrico de 6 dias, elevando todos os níveis de água para 100% da capacidade de campo. A duração do experimento foi de 25 dias.

O potencial hídrico foliar (Ψ_f - MPa) foi avaliado em dois estágios no 6º dia e no fim do experimento em dois horários de avaliação, na antemãhã (5h, Ψ_f - máximo- MPa) e ao meio-dia (12h, Ψ_f - mínimo- MPa). Para a determinação do Ψ_f ,

foram selecionadas as folhas localizadas no terço médio da planta, e o equipamento utilizado foi a Câmara de Pressão de Scholander, segundo Scholander et al. (1965).

As características fisiológicas avaliadas foram realizadas diariamente, no terço superior da planta, na quarta folha completamente expandida. Utilizando-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI- 6400XT (Portable Photosynthesis System). As avaliações foram realizadas no período do mês de julho de 2017 e as medições foram realizadas no período da manhã e no período da tarde, utilizando quatro plantas por tratamento. De forma simultânea foi registrado a umidade relativa do ar (UR), a temperatura do ar (Tar) com o auxílio de um anemômetro digital.

As trocas gasosas foram medidas a uma concentração de CO₂ de 360 mmol mol⁻¹, temperatura de 28 °C e radiação fotossinteticamente ativa saturadora de luz (PAR) de 1500 mmol m⁻² s⁻¹.

Foi avaliado, o carbono interno (Ci), assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática de vapores de água (gs), taxa de transpiração (E), bem como calculada a eficiência do uso da água (EUA), obtida pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada e eficiência da carboxilação (A/Ci).

Para as análises bioquímicas, foram realizadas coletas de folhas, no final do experimento, constituindo-se um total de 4 repetições, acondicionadas em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer a -80°C. Para as posteriores determinações de prolina e atividade enzimática da catalase, superóxido dismutase e do ascorbato de peroxidase.

A concentração de prolina foi avaliada pelo método de Bates et al. (1973). A atividade das enzimas catalase, superóxido dismutase e ascorbato de peroxidase foram determinadas segundo as metodologias adotadas por HAVIR, EA; MCHALE, NA. (1987), GIANNOPOLITIS, O; RIES, SK. (1977) e NAKANO; ASADA (1981) respectivamente.

As avaliações de massas secas foram mensuradas no final do experimento a fim de estimar os efeitos dos tratamentos no desenvolvimento vegetal, às plantas foram separadas em parte aéreas e radiculares, ambas as partes foram acondicionadas em sacos de papel, mantidas em estufa com circulação de ar (75 ± 2°C) até atingir peso constante. Em seguida, foram pesadas em balança semi-

analítica e avaliadas as variáveis: acúmulo de massa seca: das folhas (MSF), do caule (MSC), das raízes (MSR) e massa seca total (MST).

Os dados das variáveis Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa), Teor relativo de água, Atividade das enzimas antioxidantes, Prolina e fisiológicos foram submetidos à estatística descritiva e análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o programa software SISVAR (FERREIRA, 2008).

Para as variáveis temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR) foram calculadas as médias e o \pm desvio padrão.

Para o cálculo dos valores médios e confecções dos gráficos das trocas gasosas foi utilizado o software SigmaPlot 10.0.

3.5 Resultados

Durante o período experimental dentro da casa de vegetação os valores médios de umidade relativa do ar (UR) e a temperatura do ar (TEMP) ao longo do experimento foram de 39,8% e 32,7°C, com máximas de 57,2% e 38,5°C e mínimas de 27,1% e 27,2°C respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5: Valores médios da temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental dentro da casa de vegetação. Médias de quatro repetições \pm desvio padrão

Dias	TEMP (°C)	UR (%)
1	34,2 \pm 1,1	53,0 \pm 4,0
2	34,9 \pm 0,9	57,2 \pm 2,1
3	34,8 \pm 0,7	40,1 \pm 3,4
4	29,9 \pm 1,2	49,8 \pm 2,7
5	29,9 \pm 1,0	49,8 \pm 2,0
6	31,4 \pm 0,8	43,1 \pm 4,8
7	28,6 \pm 1,1	39,4 \pm 3,2
8	30,8 \pm 0,8	35,0 \pm 2,0
9	29,2 \pm 1,0	42,5 \pm 2,5
10	27,2 \pm 0,8	41,6 \pm 1,7
11	37,5 \pm 0,3	28,8 \pm 0,8
12	36,8 \pm 0,9	29,6 \pm 1,0
13	31,9 \pm 0,7	36,7 \pm 2,6
14	28,9 \pm 0,6	45,7 \pm 2,1
15	38,5 \pm 0,6	27,1 \pm 3,2
16	32,8 \pm 0,6	44,4 \pm 3,3
17	34,0 \pm 1,0	33,2 \pm 4,9
18	31,9 \pm 0,5	36,7 \pm 1,6
19	31,0 \pm 0,6	43,4 \pm 0,6
20	37,2 \pm 0,9	29,2 \pm 1,6
21	30,8 \pm 0,5	37,3 \pm 0,6
22	34,0 \pm 0,7	33,2 \pm 1,1
23	33,7 \pm 0,5	38,7 \pm 4,0
24	33,7 \pm 0,6	39,7 \pm 1,7
25	34,8 \pm 0,6	39,3 \pm 2,9

No curso diário, nos dois dias (7° e 8° dia do experimento) após reidratação as plantas que estavam sob déficit hídrico (60, 40 e 30% CC) apresentaram menores valores da condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), da taxa de transpiração (E), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (A/E) em comparação as plantas sob 100% da capacidade de campo (Figura 3 e 4).

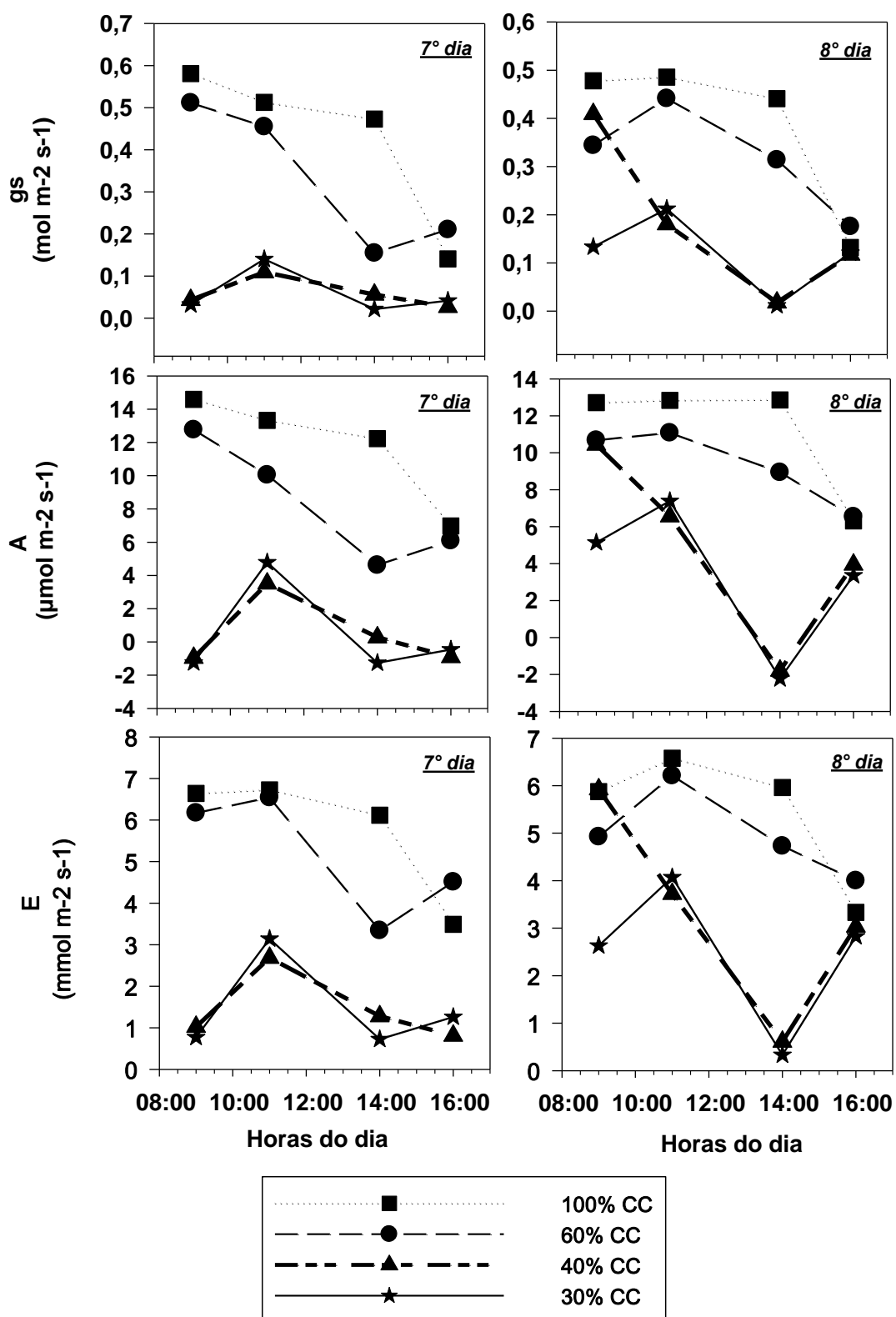


Figura 3: Curso diário da condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) e taxa de transpiração (E), obtidas em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. submetidas, a partir do 7 dia, à reidratação (07/ julho e 08/ julho). Cada ponto representa a média de oito determinações.

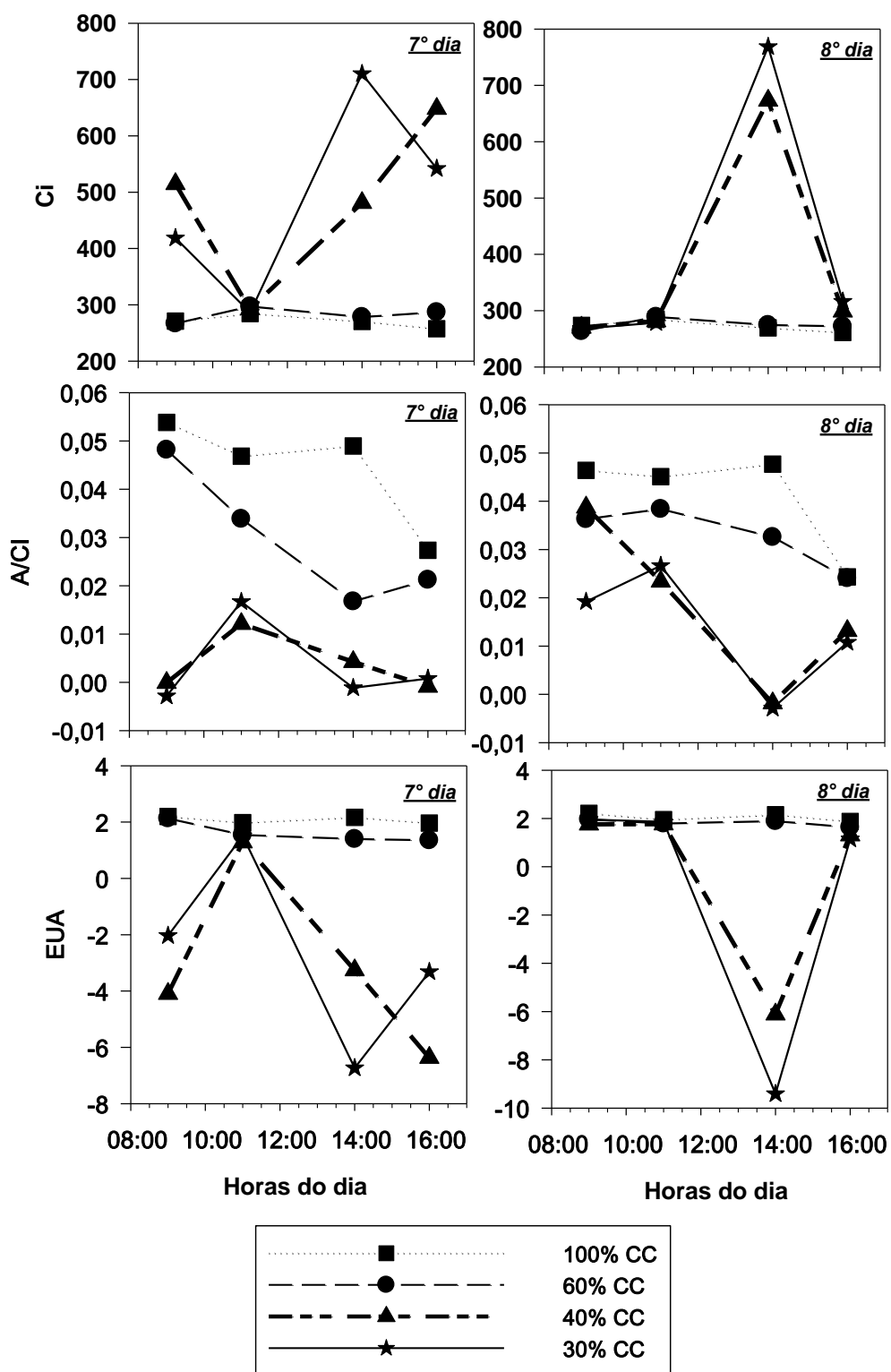


Figura 4: Curso diário da concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (A/E), obtidas em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. submetidas, a partir do 7 dia, à reidratação (07/ julho e 08/ julho). Cada ponto representa a média de oito determinações.

Observou-se que os cursos diários dos dois dias após reidratação apresentaram tendências diferentes entre as condições hídricas testadas. No 8º dia observou-se que as medidas da condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (A/E) aumentaram rapidamente, nas primeiras horas da manhã (até 11h), e um pouco mais tarde até 14h foi notado uma redução nos valores encontrados para estas variáveis (Figura 3 e 4).

Ao 25º dia de experimento verificou-se que as plantas reidratadas alcançaram estatisticamente os valores do controle (100% CC), para as variáveis taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), transpiração (E), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) (Tabela 6). Entretanto as plantas sob condições de 30% da capacidade de campo não apresentaram recuperação quanto a condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (Ci) diferindo estatisticamente do controle (Tabela 6).

Tabela 6: Condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), Transpiração (E), Concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) obtida em plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação no final do experimento (25º dia)

Tratamentos	Gs	A	E	Ci	A/Ci	EUA
100% CC	0,61 a	11,15 ab	7,01 a	295,82 a	0,0375 a	1,60 a
60% CC	0,48 ab	10,80 b	6,35 a	289,10 ab	0,0375 a	1,72 a
40% CC	0,44 ab	12,35 a	6,25 a	277,40 ab	0,0450 a	1,99 a
30% CC	0,34 b	10,47 b	5,71 a	270,04 b	0,0400 a	1,89 a
CV (%)	24,11	5,94	11,12	3,68	11,79	11,87

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05); gs (mol m⁻² s⁻¹); A (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹); E (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Para a época final de avaliação nos horários de 5h da manhã e 12h da tarde o potencial hídrico foliar (Ψ_f-MPa) não apresentou diferença estatística para todos os tratamentos avaliados (Tabela 7).

Tabela 7: Potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) em plantas jovens *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação no final do experimento

Tratamentos (%CC)	Ψ (MPa)	
	Final (5 Horas)	Final (12 Horas)
100%	-0,30 a	-0,80 a
60%	-0,33 a	-0,70 a
40%	-0,23 a	-0,78 a
30%	-0,23 a	-0,83 a
CV (%)	20,54	7,67

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

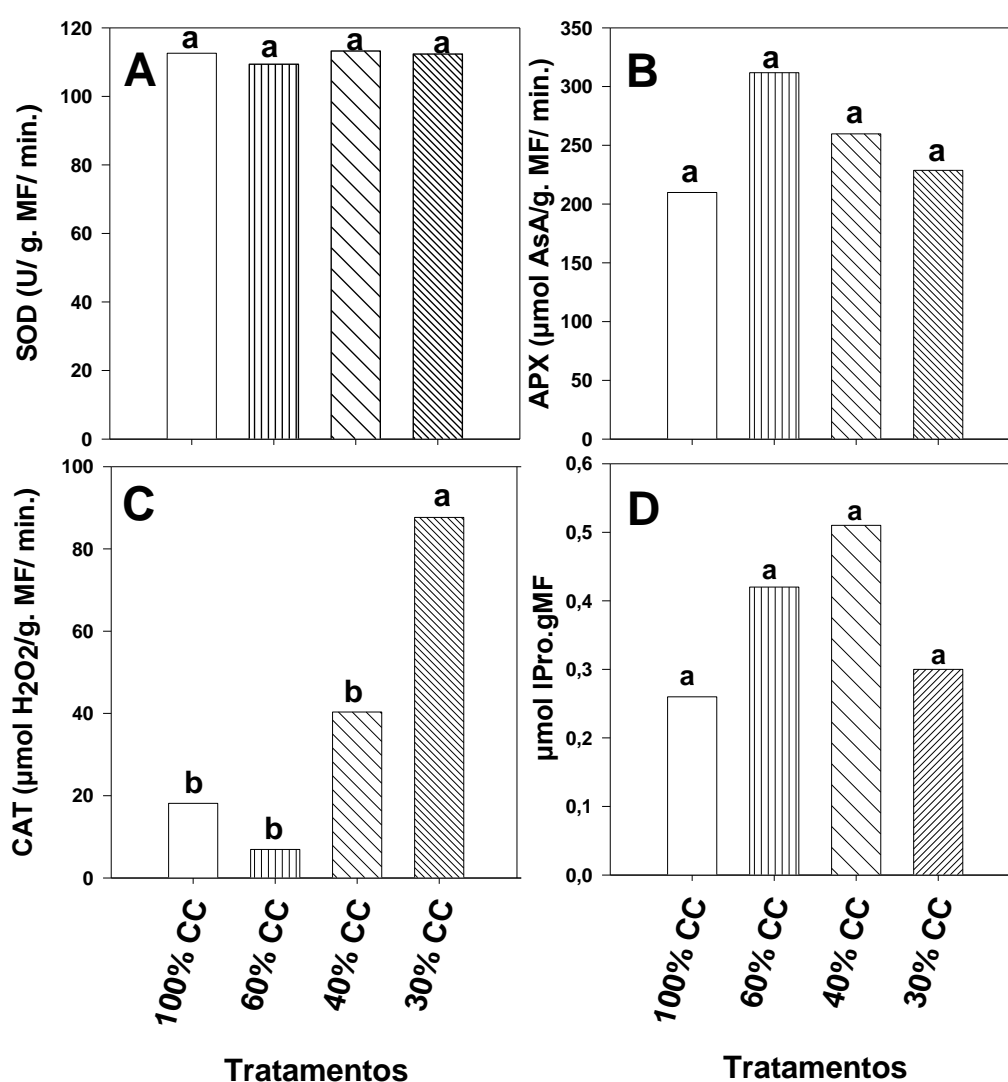


Figura 5: Atividade das enzimas antioxidantes (A) dismutase do superóxido (SOD), (B) peroxidase do ascorbato (APX), (C) catalase (CAT), valores médios dos teores de prolina (D) em folhas da espécie de *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação ao final do experimento.

Observou-se alta atividade da CAT no último dia de condução do experimento (25 dias) na condição de maior estresse com 30% da CC, mesmo após reidratação a partir do sétimo dia de estresse. A atividade da SOD e APX se manteve semelhante ao controle para todas as condições submetidas ao estresse e após reidratação (Figura 5). Confirmando que a CAT foi a enzima responsável pela eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROS) para a espécie de *Acacia mangium* Willd quando comparada as demais enzimas (Figura 5).

O teor de prolina em *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação ao final do experimento não apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados (Figura 5).

Para as variáveis massas seca foliar (MSF), caule (MSC), radicular (MSR) e total (MST), não foram evidenciadas diferenças significativas entre as plantas de *Acacia mangium* Willd. nas condições de estresse avaliadas. Entretanto observa-se um decréscimo bem expressivo para massa seca radicular (MSR) e total (MST) com 52,02% e 67,79% respectivamente de redução para a condição de 30% da capacidade de campo comparado aos os valores do controle (100% CC) (Tabela 8).

Tabela 8: Massa seca (MS) foliar (F), (C) do caule, (R) radicular e (T) total para plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação no final do experimento

Tratamentos (%CC)	MSF (g. planta ⁻¹)	MSC (g. planta ⁻¹)	MSR (g. planta ⁻¹)	MST (g. planta ⁻¹)
100%	33,13 a	21,92 a	29,19 a	84,25 a
60%	27,99 a	17,08 a	27,04 a	72,11 a
40%	32,80 a	18,60 a	27,75 a	79,12 a
30%	33,13 a	19,24 a	16,06 a	57,11 a
CV (%)	19,31	25,65	37,80	23,12

*Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

3.6 Discussão

A reidratação das plantas promoveu uma rápida e leve recuperação nas variáveis de condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) e eficiência do

uso da água (A/E) no 8º dia de avaliação. Portanto esses resultados são indicativos de que a *Acacia mangium* Willd. pode, em curto período de tempo, retomar seu metabolismo fotossintético (Figura 3 e 4).

Silva & Lemos Filho (2001) trabalhando com as relações hídricas em função da demanda evaporativa em *Swietenia macrophylla*, *Joannesia princeps*, *Inga edulis*, *Licania tomentosa* e *Centrolobium tomentosum*, constataram que geralmente a condutância estomática (gs) diminuiu no início da tarde. No presente trabalho também foi observado oscilações expressivas durante o curso diário nos dois dias avaliados após reidratação em mudas de *Acacia mangium* Willd., destacando-se a maior diminuição condutância estomática (gs) no período da tarde para todas as condições de estresse em que as plantas foram submetidas (60%, 40% e 30% da CC).

Corroborando com os resultados deste trabalho, diversos autores como Costa e Marengo (2007), Passos et al. (2005) e Ferreira et al. (1999) relataram que os valores de condutância estomática (gs) foram maiores nos horários da manhã, o que sugere um efeito do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) na condutância estomática. Os maiores valores de condutância estomática ocorrem quando a radiação solar é máxima e o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) ainda não atingiu os valores mínimos passíveis de induzir o fechamento estomático, sendo este fato constatado neste estudo sobre a espécie de *Acacia mangium* Willd. (Figura 3 e 4; Tabela 5).

Em plantas de *M. guianensis*, a recuperação da taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) se deu em seis dias após reidratação (Liberato et al., 2006). Neste experimento, com plantas de *Acacia mangium* Willd. observou-se que a recuperação se iniciou já no 2º dia de reidratação, levando a indícios de uma rápida recuperação da espécie frente a déficit hídricos severos de curta duração (Figura 3).

No final do experimento ao 25º dia, observou que a recuperação da condutância estomática (gs) e a concentração interna de CO₂ (Ci) não foram imediatas para de *Acacia mangium* Willd. sob a condição de 30% da capacidade de campo (Tabela 6). Diante disso, afirma o que outros estudos relatam que a recuperação leva vários dias e pode diferir entre as espécies e depende da gravidade e duração do estresse (NGUGI et al., 2004; CHAVES, FLEXAS & PINHEIRO 2009).

Segundo Oliveira (2016), o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) no início da manhã reflete especialmente as condições hídricas do solo, quando a umidade do ar ainda é alta, porém à medida que a demanda evaporativa aumenta, o potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) também decresce, sendo assim, no período de meio dia, quando a transpiração é mais intensa, o potencial reflete as condições do solo somadas às condições do ambiente, especialmente a umidade relativa.

Neste estudo foi observado um maior valor do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) no horário das 5h da manhã em relação ao período de 12h, porém não apresentou diferença estatística após reidratação entre as plantas nas condições hídricas avaliadas nos dois horários de avaliação.

Com relação ao teor de prolina, Larcher (2006) relata que esse aminoácido é um indicador de susceptibilidade ao estresse hídrico, sendo interessante seu estudo para determinação de diretrizes confiáveis.

A concentração de prolina nas plantas de *Acacia mangium* Willd. submetidas à reidratação manteve-se estatisticamente semelhante para todas as condições hídricas (30%, 40% e 60% da capacidade de campo) após reidratação (Figura 5). Portanto pode se considerar que foi possível para as plantas de *Acacia mangium* Willd. realizarem o ajustamento osmótico, imediatamente após a retomada da irrigação aos 7º dia, o que pode ter contribuído para a recuperação do status hídrico de todas as plantas avaliadas no 25º dia (Figura 5).

Segundo Szabados & Savouré, (2010), a metabolização da prolina pode ocorrer de diferentes formas no citosol, como, por exemplo, conversão em outros aminoácidos, utilização na síntese de proteínas e, principalmente, conversão em intermediários do ciclo de Krebs, com estímulo à respiração e à síntese de ATP.

No entanto, observou-se que 18 dias após reidratação as plantas de *Acacia mangium* Willd. apresentaram uma maior atividade da enzima catalase (CAT) para as plantas recuperadas da condição hídrica de 30% da capacidade de campo (Figura 5). Ao que tudo indica, deve-se ao consequente desequilíbrio no metabolismo celular, em virtude da baixa eficiência nas trocas gasosas quando submetidas ao estresse de 6 dias, assim, deixando a planta suscetível à maior produção de espécies reativas de oxigênio.

Segundo Serkedjieva (2011), o que conduz o equilíbrio dessa situação é o desenvolvimento de mecanismos de defesa enzimático e não enzimático capaz de neutralizar a citotoxicidade das EROs,. Tais antioxidantes podem evitar a formação de

radicais livres, sequestrá-los ou promover sua degradação, prevenindo a ocorrência de danos às células das plantas.

O estresse hídrico provocou um maior acúmulo na massa seca foliar (MSF) das plantas submetidas à condição de 30% da capacidade campo, mesmo não sendo diferente estatisticamente entre as demais condições avaliadas (40%, 60% e 100% CC), o que pode ser atribuído ao desenvolvimento da parte aérea da planta após a reidratação (Tabela 8), visto que com a disponibilidade de água a planta investe seus fotoassimilados na produção de folhas que irão produzir carboidratos para posterior incremento na raiz.

3.7 Conclusão

As plantas jovens de *Acacia mangium* Willd. recuperaram seus status hídricos e as trocas gasosas após a reidratação evidenciando tolerância ao déficit hídrico de 6 dias.

Para a espécie de *Acacia mangium* Willd. ocorreu acúmulo do aminoácido prolina e a principal enzima em combater o estresse oxidativo foi a catalase á proporção que o déficit hídrico aumentou respectivamente.

4 DISCUSSÃO GERAL

Plantas de *Acacia mangium* Willd. sob estresse hídrico de 25° dias e sob recuperação após curto período ao déficit hídrico de 6 dias apresentaram efeitos fisiológicos e morfológicos sobre o seu metabolismo. Afetou múltiplos aspectos do metabolismo (por exemplo: Potencial hídrico foliar da planta, trocas gasosas, atividades da enzima antioxidante CAT, teor de aminoácido prolina e as suas massas secas) (Capítulo 1 e 2).

De acordo com a análise, também foram observadas mudanças significativas no potencial hídrico foliar nas plantas de *Acacia mangium* Willd. nas condições de exposição aos estresses estabelecidos de 30%, 40% e 60% da CC sem reidratação por 25 dias comparadas a testemunha (100% CC) no final de experimento. Em condição de curto estresse hídrico de 6 dias e após reidratação observou no final do experimento plena recuperação dos tratamentos avaliados (Capítulo 1 e 2).

O estresse hídrico reduziu a condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), Transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci) com relação aos valores de controle (100% CC) durante o período de 25° dias (Capítulo 1). Após curto período no estresse de 6 dias e posterior reidratação, observou um aumento nos dois primeiros dias 7 e 8 atingindo os valores de controle (100% CC) no 25° dia, exceto em plantas sob 30% da CC para condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (Ci), evidenciando que as plantas de *Acacia mangium* Willd. são moderadamente tolerantes á déficits de 6 dias (Capítulo 2).

O estresse hídrico aumentou a atividade das enzimas antioxidantes, sendo a atividade CAT maior do que APX e SOD em todos os tratamentos, portanto a hipótese é de que a CAT é a enzima de eliminação de H₂O₂ mais importante tanto nas folhas (Capítulo 1 e 2). Resultados que concordaram com Rout e Shaw (2001) e Nouraei et al (2018) que sugeriram que o CAT era a enzima de eliminação de H₂O₂ mais importante para a tolerância ao estresse. Além disso, várias respostas, incluindo aumento, não alteração ou mesmo diminuição da atividade do CAT, foram encontradas em plantas sob estresse por seca (XUE E LIU, 2008).

Além disso, observou a variação na atividade de CAT, POX e APX em resposta ao déficit hídrico no estudo com *Sesamum indicum* (KADKHODAIE et al., 2014) e *Amaranthus hypochondriacus* (SLABBERT E KRÜGER, 2014). As plantas responderam amplamente ao déficit hídrico por uma variedade de processos moleculares, fisiológicos e bioquímicos.

O acúmulo de prolina nas folhas de *Acacia mangium* Willd. nas plantas sob 30% CC durante 25 dias de seca, suponhamos que esse aminoácido poderia estar envolvido nos mecanismos de osmoregulação e defesa antioxidante, contribuindo para o equilíbrio das EROs (Capítulo 1).

Embora a massa seca foliar, caule, radicular e total no final do experimento para a condição de 6 dias de estresse e posterior reidratação dos tratamentos sob 30%, 40%, 60% e 100% da CC não apresentarem diferença estatística entre si, as plantas de *Acacia mangium* Willd. sob a 30% e 40% da CC durante 25 dias nessas condições apresentaram menores valores para as variáveis massa seca foliar e do caule respectivamente (Capítulo 1 e 2). Resultados estes que hipotetiza que experimento para a condição de 6 dias de estresse e posterior reidratação, na qual o estresse hídrico provocou um maior acúmulo na massa seca foliar (MSF) das plantas submetidas à condição de 30% CC, mesmo não sendo diferente estatisticamente entre as demais condições avaliadas (40%, 60% e 100% CC), pode ser atribuído ao desenvolvimento da parte área da planta após a reidratação, visto que com a disponibilidade de água a planta investe seus fotoassimilados na produção de folhas que irão produzir carboidratos para posterior incremento na raiz (Capítulo 2).

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estresse hídrico em condições de 40% e 30% da capacidade de campo por vinte e cinco dias influenciou a regulação das relações hídricas das mudas de *Acacia mangium* Willd., reduzindo o potencial hídrico foliar, condutância estomática, transpiração, eficiência da carboxilação (A/Ci) e eficiência do uso da água (EUA) para garantir o funcionamento dos processos bioquímicos e metabólicos.

A *Acacia mangium* Willd. é moderadamente tolerante a baixos níveis de água no solo por um curto período.

Na produção de matéria seca em mudas de *Acacia mangium* Willd. a variável mais sensível à deficiência hídrica foi a massa seca das folhas e do caule.

O tratamento com maior déficit hídrico com 30% da capacidade de campo apresentou o acúmulo maior de teor do aminoácido prolina.

Acacia mangium Willd. é uma espécie que em condição de seis dias sob estresse hídrico, ainda é capaz de recuperar o desempenho fisiológico, caracterizando a sua plasticidade fisiológica e bioquímica na fase de muda.

Para a espécie de *Acacia mangium* Willd. a catalase foi a principal enzima em combater o estresse oxidativo quando submetida a déficit hídrico.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADREES, M et al. **The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review**. Environmental Science and Pollution Research 22(11) 8148-8162. 2015.

BATES, L. S; WALDREN, R. P; TEARE, I. D. **Rapid determination of free proline for water- stress studies. Short communication**. Plant and Soil. V. 39; 205-207. 1973.

CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. **Efeitos da deficiência de água em plantas de Euterpe oleracea (açai)**. Revista Brasileira de Botânica, v.23, p.225-230, 2000.

CARVALHO. P. R, DAVIDE. C. M. L, BORGES. G. L. F, DAVIDE. C. A, DANIEL. O. **Respostas morfofisiológicas entre procedências de canafístula submetidas a diferentes condições hídricas e nutricionais**. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 35, n. 83, p. 179-188, jul./set. 2015.

CASPER, C.; EICKMEIER, W.G.; OSMOND, C.B. **Changes of fluorescence and xanthophylls pigments during dehydration in the resurrection plant Selaginella lepidophylla in low and medium light intensities**. Oecologia, v.94, p.528-533, 1993.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. **Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*)**. Acta Amazonica: v. 37(2), p.229 – 234. 2007.

CHAVES M.M., FLEXAS J. & PINHEIRO C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany** 103, 551–560.

DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A.C.; SILVA, E.A.A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. Cap.2, p.83-124.

DUBEY, R. S. **Metal toxicity oxidative stress and antioxidative defense system in plants**. In: GUPTA, S. D. (Ed.). **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science, 2011. chap. 9, p. 178-203.

FERNANDES, E. T; CAIRO, P. A. R; NOVAES, A. B. **Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica.** CIENCIA RURAL, v. 45, p. 29-34, 2015.

FERREIRA, D.F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, A. S. E. **Ecofisiologia de *Millettia stuhlmannii* Taub em diferentes demandas atmosféricas e disponibilidades hídricas no solo.** 2015. 54p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro – ES.

FERREIRA, C.A.G.; DAVIDE, A.C.; CARVALHO, L.R. **Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos.** Cerne, v. 5, n. 2, p. 95-104,1999.

GONÇALVES, C. F. J; SILVA, M. E. C; GUIMARÃES, G. D. Fotossíntese e potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, jan. 2009.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. **Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves.** Plant Physiology, Waterbury, v. 84, n. 2, p. 450-455, June 1987.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2017.** Brasília, DF, Relatório Ibá 2017. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 28/12/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: the physical science basis-working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report.** Brussels: IPCC, 2007.

JHARNA DE, CHOWDHURY BLD, HAQUE MA, BHUIYAN MRH & HUSAIN MM (2001) **Biochemical screening of some groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes for drought tolerance.** Online Journal of Biological Sciences 1: 1009-1011.

KADKHODAIE, A., ZAHEDI, M., RAZMJOO, J., PESSARAKLI, M. **Changes in some antioxidative enzymes and physiological indices among sesame genotypes**

(Sesamum indicum L.) in response to soil water deficits under field conditions.

Acta Physiol. Plant. 36, 641–650. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-013-1442-3>.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water- stressed leaves: stomata vs. Metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, London, v.89, p.871-885, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Revisão técnica. São Carlos-SP: RIMA. 2004.531p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531 p.

LECHNER, L.; PEREYRA-IRUJO, G.A.; GRANIER, C.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N. **Rewatering plants after a long waterdefi cit treatment reveals that leaf epidermal cells retain their ability to expand after the leaf has apparently reached its fi nal size.** Annals of Botany, v.101, p.1007-1015, 2008.

LIBERATO, M.A.R.; GONÇALVES, J.F.C.; CHEVREUIL, L.R.; NINA JUNIOR, A.R.; FERNANDES, A.V.; SANTOS JUNIOR, U.M. **Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fl uorescence in acariquara seedlings (Minqartia guianensis Aubl.) under water stress and recovery.** Brazilian Journal of Plant Physiology, v.18, p.315-323, 2006.

MANCOSU, N., SNYDER, R. L., KYRIAKAKIS, G., SPANO, D. Water scarcity and future challenges for food production *Water*, 7pp. 975–992, 2015. <https://doi.org/10.3390/w7030975>

MORAIS, R. R.; ROSSI L. M. B.; HIGA, R. C. V. **Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 97-104, jan.-mar., 2017.

NAKANO, Y.; ASADA, K. **Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-sepecific peroxidase in spinach chloroplasts.** Plant Cell Physiology, v.22, p.867-880, 1981.

NASCIMENTO, C. H. **Caracterização Ecofisiológica de mudas de Jatobá (Hymenaea courbaril L.) Submetidas a Déficit Hídrico.** 2009. 91p. Dissertação

(Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

NILSEN, E. T; ORCUTT, D. M. **Physiology of plants under stress: abiotic factors**. New York: John Wiley & Sons, p. 689. 1996.

NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. (Ed.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005. p.22-31.

NOURAEI, S., RAHIMMALEK, M., SAEIDI, G. **Variation in polyphenolic composition, antioxidants and physiological characteristics of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* Hayek L.) as affected by drought stress**. Scientia Horticulturae 233, 378–385, 2018.

NGUGI M.R., DOLEY D., HUNT M.A., RYAN P. & DART P. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophioia* seedlings. **Trees – Structure and Function** 18, 381–389. 2004.

OLIVEIRA, F. M. **Crescimento e fotossíntese de *Carapa surinamensis* Miq. (Meliaceae) em resposta à elevada concentração de CO₂ e déficit hídrico**. 2016. 87p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus – Amazonas.

OTTO, M. S. G., FRANCISCO, J. G. GONSALEZ, B. T., CALVO, L. A., MATTOS, E. M., ALMEIDA, M., ANDRADE MORAL, R., DEMÉTRIO, C. G. B., STAPE, J. L., OLIVEIRA, R. F. **Changes in γ -aminobutyric acid concentration, gas exchange, and leaf anatomy in *Eucalyptus* clones under drought stress and rewatering**. ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM, v. 39, p. 1/13, 2017.

O'LEARY, J.W. **A critical evaluation of tissue-immersion methods for measurement of plant water potencial**. Ohio Journal of Science, v.70, p.34-38, 1970.

PASSOS, C.D.; PASSOS, E.E.M.; PRADO, C.H.B.A. **Comportamento sazonal do potencial hídrico foliar (Ψ_f -MPa) e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão**. Revista Brasileira de Fruticultura, v.27, n.2, p.248-254, 2005.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, Rio de Janeiro: Edur, 2004. 191p.

RAMOS, S. N. **Alterações fisiológicas e bioquímicas de mudas de Acacia mangium á aplicações de doses de glyphosate**. 2017. (Mestrado em ciências florestais e ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. Aproximação**. Viçosa: 1999. 359 p.

RIBEIRO. G.R.P. **Plasticidade de Espécies de Fitofisionomias do Cerrado à Disponibilidade de Luz e Água**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROUT, N.P., SHAW, B.P., **Salt tolerance in aquatic macrophytes: possible involvement of the antioxidative enzymes**. Plant Sci. 160, 415–423. 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00406-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00406-4).

SANTIAGO, A. M. P. **Aspectos do crescimento do sabiá (Mimosa caesalpinifolia Benth.) em função da disponibilidade de água no solo**. 2000. 63f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade federal Rural de Pernambuco, Recife.

SÁNCHEZ-PARDO B, FERNÁNDEZ-PASCUAL M, ZORNOZA P (2014) **Copper microlocalisation and changes in leaf morphology, chloroplast ultrastructure and antioxidative response in white lupin and soybean grown in copper excess**. Journal of Plant Research 127(1) 119-129

SARKER, B. C.; HARAB, M.; UEMURAC, M. **Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress**. Scientia Horticulturae, v. 103, p.387 – 402, 2005.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). **Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. Atlas do Tocantins: subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. 6. ed. rev. atua. BORGES, R. S. T.; DIAS, R.R.; SOUSA, P. A. B. (orgs.) Palmas: Seplan, 2012. 80 p.

SEAGRO-TO. **Potencial da Silvicultura no Estado é destaque na abertura no Congresso Internacional Madeira 2016-16/06/2016**. Disponível em: <http://seagro.to.gov.br/noticia/2016/6/16/potencial-da-silvicultura-no-estado-e->

[destaque-na-abertura-no-congresso-internacional-madeira-2016/](#). Acesso em: 12/12/2017.

SERKEDJIEVA, J. **Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L.** In: GUPTA, S. D. (Ed.). *Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants*. Enfield: Science, 2011. chap. 13, p. 275-293.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V.F. **Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico.** *Acta Botanica Brasilica*, v.17, p.231-246, 2003.

SILVA, M. A. V. **Avaliação fisiológica da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) sob déficit hídrico com vista para o reflorestamento.** 2007. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

SIRCELJA H, TAUSZB M, GRILL D & BATIC F (2005) **Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought.** *Journal of Plant Physiology* 162:1308-1318.

SILVA, B.G. & LEMOS FILHO, J.P. **Relações hídricas em espécies lenhosas no campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG.** *Revista brasileira de Botânica*. V.24, p.519-525. 2001.

SOUZA, C. C. et al. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrária e Ambiental*, v.4, n. 3, p.338-342. 2000.

SCHOLANDER PF, HAMMEL HT, HEMINGSSEN EA & BRADSTREET ED **Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants.** *Proceedings of National Academy Science* 51: 119-125.1965.

SLABBERT, M. M., KRÜGER, G. H. J. **Antioxidant enzyme activity, proline accumulation, leaf area and cell membrane stability in water stressed *Amaranthus* leaves.** *S. Afr. J. Bot.* 95, 123–128. 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.008>.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. **Proline: a multifunctional amino acid.** *Trends in Plant Science*, v.15, p.89-97, 2010. DOI:10.1016/j.tplants.2009.11.009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal 5ªed.** Porto Alegre: Editora Artmed, 2013.

TONELLO, K.C.; TEIXEIRA FILHO, J. **Ecofisiologia de três espécies arbóreas nativas da mata atlântica do Brasil em diferentes regimes de água.** Irriga, v.17, n.1, p.58-101, 2012

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

THOUNAOJAM TC ET AL (2012) **Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice.** Plant Physiology and Biochemistry 53 33-39

XUE, Y.F., LIU, Z.H.P., **Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem Artichoke cultivars under salt stress.** Fiziol. Rast. 55, 858–863. 2008. [http://dx. doi.org/10.1134/S102144370806006X](http://dx.doi.org/10.1134/S102144370806006X)

WARREN, C. R., ARANDA, I., CANO, F. J. **Responses to water stress of gas exchange and metabolites in Eucalyptus and Acacia spp.** Plant Cell Environ Malden 34:1609–1629. 2011.

7 ANEXOS

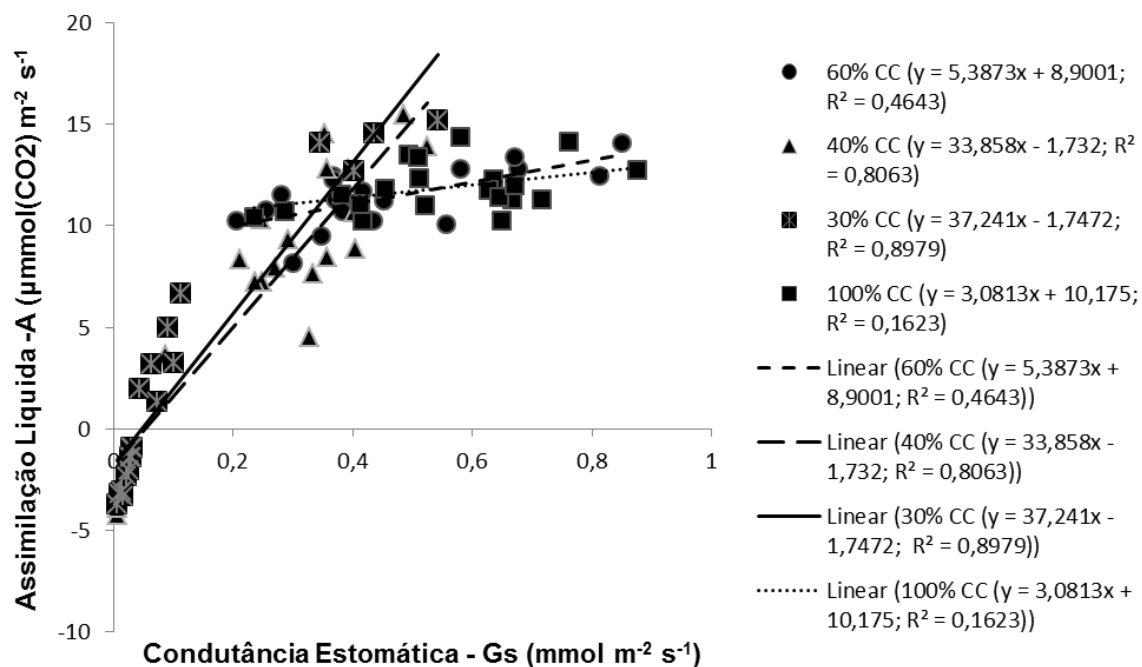


Figura 6: Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), em função da condutância estomática (gs), em *Acacia mangium* Willd submetidas à deficiência hídrica.