



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**LENILSON FERREIRA PALHETA**

**Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) submetidas à deficiência hídrica.**

**BELÉM**

**2016**

**LENILSON FERREIRA PALHETA**

**Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) submetidas à deficiência hídrica**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Silvicultura e ecofisiologia de árvores, para obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho

**BELÉM**  
**2016**

---

Palheta, Lenilson Ferreira

Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de castanheira – do  
– Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) submetidas a deficiência  
hídrica / Lenilson Ferreira Palheta. - Belém, 2016.

47 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade  
Federal Rural da Amazônia, 2016.

Orientador: Benedito Gomes dos Santos Filho

1. Castanheiro do Brasil – *déficit* hídrico 2. Mudanças -  
fisiologia 3. Mudanças - desenvolvimento I. Santos Filho, Benedito  
Gomes dos II. Título

---

CDD – 631.58

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de castanheira-do-brasil (*Bertholletia  
excelsa* Bonpl.) submetidas à deficiência hídrica

LENILSON FERREIRA PALHETA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Silvicultura e ecofisiologia de árvores, para obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho

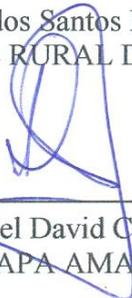
Aprovado em 2 de fevereiro de 2016

BANCA EXAMINADORA



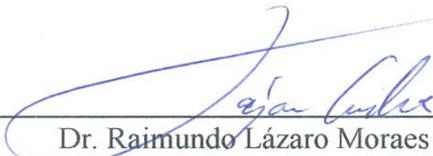
---

Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho - Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



---

Dr. Eniel David Cruz  
PESQUISADOR EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL



---

Dr. Raimundo Lázaro Moraes da Cunha  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA



---

Dr. Rodrigo Silva do Vale  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

## Resumo

A castanheira-do-brasil como é conhecida (*Bertholletia excelsa* Bonpl. - Lecythidaceae) é uma árvore de grande porte que pode alcançar 50m de altura. É importante tanto em termos ecológicos, uma vez que contribui para a dinâmica da floresta e de sucessões, e socialmente, milhares de famílias no Brasil, Bolívia e Peru sobrevivem a partir da colheita do fruto da castanheira-do-Brasil. A espécie tem uma ampla distribuição em terras baixas da Amazônia e no chamado Planalto das Guianas, onde ocorre naturalmente em floresta de terra firme. Dentre as espécies florestais arbóreas mais comumente utilizadas em programas de reflorestamento na região Amazônica, a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B.) tem demonstrado ser uma das espécies com maior potencial, em função de seu bom desempenho em crescimento sob diversas condições edafoclimáticas. O estabelecimento de plantios florestais, seja para fins comerciais ou restauração, depende de uma série de fatores, sendo a qualidade das mudas fundamental para o sucesso inicial. Diante do exposto buscou-se investigar as respostas de crescimento e ecofisiologia de mudas de castanheira-do-brasil sob deficiência hídrica, por meio da associação de variáveis biométricas aos processos fisiológicos relacionados com mecanismos de utilização da água. Tendo como objetivo geral: analisar o crescimento de *B. excelsa* sob efeito da suspensão hídrica; e específicos: determinar o crescimento vegetativo das plantas de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica; determinar os processos fisiológicos e bioquímicos situados na folha do vegetal sob deficiência hídrica, tais como: Fotossíntese (A); Condutância estomática (Gs); Carbono interno (Ci); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Transpiração (E) e concentrações de carboidratos e aminoácidos. Na qual foram testadas as hipóteses: de que pode haver desaceleração do crescimento das plantas sob indução da deficiência hídrica, devido ao desvio de energia para diminuição da transpiração; o desempenho fotossintético de plantas jovens de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica é reduzido. O crescimento em diâmetro e acúmulo de massa seca total de *B. excelsa* foram reduzidos aos 9 dias de déficit hídrico. As plantas toleraram o estresse hídrico por nove dias, atribuindo-se esse comportamento, principalmente, à eficiente regulação estomática pela planta. Os indicadores de trocas gasosas (A, gs, E e Ci) e bioquímicos das plantas de *B. excelsa* decrescem fortemente sob 9 dias de déficit hídrico.

**Palavras-chaves:** déficit, fisiologia, desenvolvimento

## Abstract

The Brazil nut tree is known as (*Bertholletia excelsa* Bonpl. - Lecythidaceae) is a large tree that can reach 50m in height. It is important both ecologically as it contributes to the dynamics of the forest and succession, and socially, thousands of families in Brazil, Bolivia and Peru survive from the harvest of the fruit of the Brazil nut tree. The species has a wide distribution in lowland Amazonia and called Guiana Highlands, which occurs naturally in upland forest. Among the arboreal forest species most commonly used in reforestation programs in the Amazon region, the chestnut-the-Brazil (*Bertholletia excelsa* HB) has proved to be one of the species with the greatest potential, due to its good performance in growth in various soil and climatic conditions. The establishment of forest plantations, either for commercial or restoration purposes, depends on a number of factors, and the quality of seedlings key to initial success. In this light we sought to investigate the growth responses and physiological ecology of the Brazil nut tree seedlings under water stress by associating biometric variables to physiological processes related to water use mechanisms. With the overall goal: to analyze the growth of *B. excelsa* under the influence of water suspension; and specific: to determine the vegetative growth of the Brazil nut tree, submitted to water stress; determine the physiological and biochemical processes located in the plant leaf under water stress, such as photosynthesis (A); Stomatal conductance (Gs); Internal carbon (C); Photosynthetically active radiation (PAR); Transpiration (E) and concentrations of carbohydrates and amino acids. In which hypotheses were tested: that there may be slowing the growth of plants under induction of water stress due to the power shift to decreased sweating; the photosynthetic performance of young plants of the Brazil nut tree, submitted to water deficit is reduced. The diameter growth and accumulation of total dry matter of *B. excelsa* were reduced to 9 days of water deficit. The plants tolerate water stress for nine days, attributing this behavior, mainly to stomatal efficient regulation by the plant. Indicators of the gas exchange (A, gs, E and C) and biochemical plants of *B. excelsa* strongly decreased in 9 days of water deficit.

**Keywords:** deficit, physiology, development

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

UR	Umidade relativa do ar (%)
T	Temperatura do ar (°C)
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol}$ fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
AP	Altura da planta
D	Diâmetro a altura do coleto
A	Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol}$ $\text{CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
gs	Condutância estomática ao vapor de água ( $\text{mol}$ $\text{H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
E	Taxa transpiratória ( $\text{mmol}$ $\text{H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$C_i$	Concentração de $\text{CO}_2$ nos espaços intercelulares ( $\mu\text{mol}$ $\text{CO}_2$ $\text{mol}^{-1}$ )
MSR	Massa seca de raiz
MSF	Massa seca da folha
MSC	Massa seca do caule
MSPa	Massa seca da parte aérea
MST	Massa seca total

## SUMÁRIO

Resumo .....	5
Abstract.....	6
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Revisão de literatura.....</b>	<b>10</b>
1.1.1 Características botânicas e ecológicas das <i>Bertholletia excelsa</i> Humboldt & Bonpland (Castanheira-do-brasil) .....	10
1.1.2 Crescimento e comportamento silvicultural de Castanheira-do-brasil.....	11
1.1.3 Déficit hídrico.....	12
<b>2. RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE PLANTAS JOVENS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.) SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Material e métodos.....</b>	<b>15</b>
2.2.1. Localização e caracterização da área experimental .....	15
2.2.2. Instalação, tratamento e delineamento experimental.....	15
2.2.3. Microclima.....	16
2.2.4. Trocas gasosas foliares .....	17
2.2.5. ‘Status’ hídrico da planta.....	17
2.2.6. Medidas de crescimento .....	17
2.2.7. Determinação da biomassa seca .....	18
2.2.8. Análise bioquímica .....	18
2.2.9. Delineamento experimental e análise estatística .....	18
<b>2.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>19</b>
2.3.1. Microclima.....	19
2.3.2. Trocas gasosas foliares .....	20
2.3.3. ‘Status’ hídrico da planta.....	24
2.3.4. Medidas de crescimento .....	25
2.3.5. Análise bioquímica.....	27
2.3.5.1. Concentrações de amido .....	27
2.3.5.2. Concentrações de carboidratos solúveis totais.....	28
2.3.5.3. Concentrações de sacarose.....	29
2.3.5.4. Concentrações de proteínas solúveis totais.....	30
2.3.5.5. Concentrações de aminoácidos solúveis totais .....	31
2.3.5.6. Concentrações de Prolina.....	32
<b>2.4 Conclusões .....</b>	<b>34</b>
<b>Referências .....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valores médios em temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação, durante os dias de experimento. ....	19
Figura 2: Média da radiação fotossinteticamente ativa no interior da casa de vegetação durante os dias de experimento. ....	20
Figura 3: Média do déficit de pressão de vapor do ar no interior da casa de vegetação durante os dias de experimento. ....	20
Figura 4: Trocas gasosas para as plantas irrigadas (controle) e sob déficit hídrico (déficit), a) fotossíntese; b) transpiração; c) concentração interna de CO <sub>2</sub> e d) condutância estomática. ....	22
Figura 5: Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) durante os dias de experimento. ....	25
Figura 6: Concentração de amido em folhas de plantas de irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	28
Figura 7: Concentração de carboidratos solúveis totais em folhas de plantas irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	29
Figura 8: Concentração de sacarose em folhas de plantas irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	30
Figura 9: Concentração de proteínas solúveis totais em folhas de plantas de irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	31
Figura 10: Concentração de aminoácidos em folhas de plantas irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	32
Figura 11: Concentração de prolina em folhas de plantas de irrigadas e não irrigadas aos nove dias de experimento. ....	34

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil possui cerca de 30 milhões de hectares de áreas de pastagens em algum estágio de degradação, com baixíssima produtividade para alimentação animal. O uso correto de tecnologias e de boas práticas agropecuárias torna possível reinseri-los ao processo produtivo. (Ministério da Agricultura, 2015).

No contexto do aumento da preocupação com os problemas ambientais, os órgãos competentes, cobram do governo e das empresas privadas a realização efetiva de políticas públicas, de desenvolvimento sustentável e recuperação ambiental de áreas degradadas através de medidas compensatórias de recuperação da cobertura vegetal. Desse modo, aprimora-se as técnicas de recuperação que promoverão alternativas de renda diversificada a população rural diminuindo assim o êxodo rural, logo haverá, a possibilidade de reabilitação de áreas anteriormente utilizadas para produção agrícola e/ou para pastagens (RODRIGUES et al., 2008; BARRETO et al., 2014).

Entre os principais problemas enfrentados na incorporação de áreas antropizadas ao processo produtivo e/ou na reabilitação das funções ecológica, está à recuperação das características edáficas locais. Segundo Hartemink *et al.* (2008), com a remoção da cobertura vegetal ocorrem alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, propiciando sua compactação, aumento da lixiviação, redução da quantidade de matéria orgânica e o favorecimento de modificações na dinâmica dos nutrientes.

Uma forma de reverter este quadro é através da aplicação da técnica de enriquecimento de florestas secundárias, também conhecidas como capoeiras, com espécies de valor econômico-ecológico, auxiliando assim na melhoria dos recursos naturais e promovendo a sustentabilidade econômica e ecológica destas áreas (VIEIRA & GARDNER, 2012).

As florestas secundárias desenvolvem um importante papel ecológico nos processos de recuperação e restauração da floresta, que deve ser analisado ao se realizar um enriquecimento por aumentar a produção de matéria orgânica, atraindo à macro e microfauna, auxiliando a recomposição físico-química dos solos, controlando a radiação no sub-bosque, favorecendo no controle de pragas e doenças, etc (NUNES, 2011; VIEIRA & GARDNER, 2012). Assim, um dos requisitos primordiais ao sucesso dos projetos de enriquecimentos está na escolha adequada do período de introdução das espécies florestais de valoração, visando o equilíbrio das condições ambientais das

florestas à sua necessidade fisiológica, reduzindo a competição entre as mesmas, favorecendo o desenvolvimento mútuo do novo arranjo florestal (NUNES, 2011).

Na Amazônia as espécies para enriquecimento possuem baixa a disponibilidade de informações referentes ao seu comportamento silvicultural e fisiológico, prejudicando o sucesso dos projetos, uma vez que o conhecimento das características das espécies é um dos principais requisitos para implantação de qualquer atividade, por auxiliar na escolha do local de acordo com as condições climáticas e de sítios favoráveis ao crescimento e estabelecimento da espécie.

A ausência de informações específicas na maioria das vezes ocasiona a generalização das técnicas silviculturais e de manejo para a condução das florestas plantadas. Um exemplo disso é o que acontece com a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) espécie frequentemente utilizada em atividades de reflorestamento, devido ao seu comportamento ecológico peculiar e importância socioeconômica, ocupando papel fundamental nos processos de recuperação de áreas degradadas (SALOMÃO *et al.*, 2006, TONINI *et al.*, 2008).

Ainda são restrita as informações sobre seu comportamento fisiológico, desenvolvimento de muda em viveiro, resistência a escassez de água, entre outras, apesar de já existirem vários exemplos documentados de plantações experimentais bem sucedidas tanto em plantios agroflorestais (SCOLES *et al.*, 2011), como em monocultura (FERNANDES & ALENCAR, 1993; TONINI *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2008; SCOLES *et al.*, 2011).

Pesquisas sobre déficit hídrico, em diferentes espécies vegetais, têm sido realizadas por décadas, a fim de se entender os mecanismos de tolerância (GONÇALVES *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010; MAR *et al.*, 2013). Os resultados dessas pesquisas têm sido aplicados em diferentes projetos de manejo de plantios florestais e podem aperfeiçoar as técnicas silviculturais de espécies como a castanheira-do-brasil.

Com base no exposto, esta pesquisa teve como pressuposto as seguintes questões:

- H1: Há desaceleração do crescimento das plantas sob deficiência hídrica?
- H2: Há redução do desempenho fotossintético de plantas jovens de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica?

Desta forma, este trabalho objetivou:

- Determinar o crescimento vegetativo das plantas de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica;

Determinar os processos fisiológicos e bioquímicos situados na folha do vegetal sob deficiência hídrica, tais como: Fotossíntese (A); Condutância estomática (gs); Carbono interno (Ci); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Transpiração (E) e Concentrações de: amido, carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais, sacarose e prolina

## 1.1. Revisão de literatura

### 1.1.1 Características botânicas e ecológicas das *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland (Castanheira-do-brasil)

A *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland é a espécie mais conhecida entre as 197 espécies que compõem a família das Lecythidaceae, principalmente pela importância econômica (SANTOS *et al.*, 2006).

Esta espécie possui vários nomes populares: castanheira, castanheira-do-brasil, eraí (índios Caruchis), iniá (índios Chipayas) e tocary (índios Parecis); Brazil nut, Pará nut (inglês), noix du Brésil, noix de Pará, chatâigne du Brésil (francês), nuez del Brasil (espanhol), paranuss (alemão) e noce del Brasile (italiano) (SANTOS *et al.*, 2006).

A castanheira-do-brasil pode ser considerada como uma espécie clímax exigente em luz, pertencendo ao grupo ecológico das pioneiras de longa vida, ou heliófila, por precisar de condições altas de luz para alcançar o tamanho de adultos, mas é capaz de persistir por longos períodos sob o dossel, em contraposição a maioria das pioneiras que não resistem às condições de sombreamento (SCOLES *et al.*, 2011).

Apresenta rusticidade, crescimento relativamente rápido podendo atingir altura de até 50 m e diâmetro a altura do peito de 2 m, possui fuste retilíneo, cilíndrico, sem sapopemas e desprovido de ramos até a copa, casca escura e fendida, ramos encurvados nas extremidades (SALOMÃO *et al.*, 2006). Em áreas de plantio realiza desrama natural de galhos (COSTA *et al.*, 2009).

O aumento da produção de ouriços e, conseqüentemente, de amêndoas, é diretamente proporcional ao tamanho e idade da árvore, até um determinado ponto (ZUIDEMA & BOOT, 2002). Suas sementes tem comportamento recalcitrante, sendo intolerantes à dessecação e a baixas temperaturas, o que dificulta o armazenamento (BONJOVANI & BARBEDO, 2008; CAMARGO, 2000).

O fruto da castanha pode pesar de 500g a 1.500g. A amêndoa presente no interior da semente é utilizada como alimento e considerada uma das proteínas vegetais das mais completas, possuindo alto valor nutritivo (COSTA *et al.*, 2009). Segundo Scoles & Gribel (2012), a dispersão dos frutos da castanheira começa com a queda dos

ouriços maduros durante os primeiros meses do ano no auge da estação chuvosa. A segunda fase, disseminação horizontal das sementes, pode ocorrer pela rolagem dos ouriços no solo ou pela atividade de acumulação e predação de roedores caviomorfos da família Dasyproctidae (SCOLES & GRIBEL, 2012).

As florestas com a presença de *B. excelsa* cobrem uma superfície de aproximadamente 325 milhões de hectares. Sua área de abrangência inclui a Venezuela, a Colômbia, o Peru, a Bolívia e as Guianas. No entanto, as formações mais densas ocorrem no Brasil, na região amazônica, incluindo-se os Estados de Roraima, Rondônia, Acre, Amazonas, Pará (TONINI, 2011).

### 1.1.2 Crescimento e comportamento silvicultural de Castanheira-do-brasil

A castanheira-do-brasil é uma das espécies mais promissoras para o desenvolvimento da sustentabilidade em áreas rurais, em virtude de seus produtos ofertados como as amêndoas, sendo seu principal produto, proporcionando também a comercialização de outros subprodutos como óleos, farelo ou torta, leite de castanha.

Pimentel *et al.* (2007) ressaltam o grande potencial silvicultural da castanheira-do-brasil para reflorestamentos com fins madeireiros, por apresentar fuste retilíneo com desrama natural de galhos em plantios, podendo ser aproveitada para serraria ao final de vida útil do castanhal.

Em condições ambientais adequadas a taxa de sobrevivência da castanheira-do-brasil é considerada alta, exceto nas etapas iniciais da vida, quando sua semente ainda tem endosperma que serve de alimento para cutias (SCOLES *et al.*, 2011).

Zuidema e Boot (2002), ao estudarem a dinâmica populacional de *B. excelsa* na fase de plântula, em florestas naturais na Bolívia, constataram alta probabilidade de sobrevivência das mesma, chegando a 100% de sobrevivência de plantas que apresentaram altura  $\geq$  a 70 cm.

De acordo com Salomão *et al.* (2006), a castanheira-do-brasil em reflorestamentos heterogêneos com finalidade de restauração de áreas degradadas pela mineração, apresenta comprovada adaptabilidade e excelente crescimento.

O adequado crescimento e a produção volumétrica da castanheira-do-brasil em plantios artificiais estão associados à ausência de problemas fitossanitários, boa forma do fuste, desrama natural em espaçamentos menores e crescimento relativamente

rápido, tornando-a uma das espécies nativas mais promissoras para programas de reflorestamento, (COSTA et al., 2009; SALOMÃO et al., 2014).

### 1.1.3 Déficit hídrico

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno, que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (CERQUEIRA et al., 2015). A redução do teor de água na planta, a diminuição do potencial hídrico foliar e a perda de turgor, fechamento dos estômatos e diminuição do crescimento celular constituem respostas de uma planta submetida ao estresse hídrico (JALEEL et al., 2009). O monitoramento do estresse hídrico é essencial para determinar o impacto no desenvolvimento e na produtividade das espécies florestais.

Há crescente interesse em estudar a capacidade de recuperação das plantas após um evento de estresse hídrico, pois as culturas em campo são afetadas por flutuações da disponibilidade de água, tanto pela alternância de chuva e períodos de seca ou como resultado da frequência de irrigação (BONDADA & SHUTTHANANDAN, 2012; SAPETA et al., 2013).

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, geralmente aumentando a resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO<sub>2</sub> para a realização do processo de fotossíntese (NOGUEIRA et al., 2001). Outros processos também são afetados como a produção de ácido abscísico, abscisão foliar e ajustamento osmótico (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Com o déficit hídrico, a atividade fotossintética declina paralelamente à diminuição do volume celular e, portanto, concomitantemente ao declínio da turgescência (MORAIS et al., 2003).

A relação direta entre a redução da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> sob condições de déficit hídrico, tem sido demonstrada, em razão do fechamento estomático, gerando decréscimos na assimilação do CO<sub>2</sub> e no rendimento quântico do fotossistema 2 (BAKER, 1991). Também tem sido relatado que sob estresse hídrico severo, além das restrições estomáticas no suprimento de CO<sub>2</sub>, podem ocorrer limitações em componentes não estomáticos, com danos nos centros de reação do fotossistema 2 (ANGELOPOULOS et al., 1996).

A manutenção da turgescência é feita pela diminuição do potencial osmótico resultante do acúmulo de diferentes solutos no simplasma. Além disso, as plantas submetidas a um estresse hídrico podem escapar da redução no potencial hídrico e manter o turgor pela redução na elasticidade de suas paredes celulares (SAITO & TERASHIMA, 2004).

O ajustamento osmótico tem sido utilizado como critério de seleção para tolerância ao estresse por falta de água em espécies como: *Eucalyptus grandis* (LEMCOFF et al., 1994), *Citrus sinensis* (MEDINA et al., 1999), *Coffea canephora* (ALMEIDA & MAESTRI, 1996) e *Theobroma cacao* (ALMEIDA et al., 2002).

Plantas expostas à deficiência hídrica moderada geralmente reduzem o crescimento da parte aérea antes que o das raízes, resultando em incremento na relação entre raiz com parte aérea (BONDADA & SHUTTHANANDAN, 2012). Esse estresse moderado reduz o crescimento foliar antes de reduzir a taxa fotossintética, resultando em excesso de carboidratos para as raízes. A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em consequência, na redução da área foliar (SCHURR, 1998).

Normalmente espera-se que plantas submetidas a um estresse apresentem características como baixas taxas de crescimento e de fotossíntese, elevada razão raiz/parte aérea, menor capacidade de aquisição de recursos e de renovação de tecidos. Estes fatores juntos conferem as plantas maiores resistência para se desenvolverem em ambientes extremos (LAMBERS & PORTER 1992; CHAPIN et al. 1993; RAMOS et al., 2004).

## **2. RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS DE PLANTAS JOVENS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA.**

### **2.1. Introdução**

Castanheira-do-brasil é uma árvore de grande porte que pode alcançar 50m de altura (HAUGAASEN et al., 2010). É importante tanto em termos ecológicos, uma vez que é uma espécie dominante, que contribui para a dinâmica da floresta e de sucessões, e socialmente, uma vez que milhares de famílias no Brasil, Bolívia e Peru sobrevivem a partir da colheita de seus frutos (SUJII et al., 2013).

Seu fruto é um pixídio lenhoso, globoso, extremamente duro, com tamanho e peso variável (500g a 1.500g) que recebe o nome de ouriço e possui sementes ricas em gorduras e proteínas de boa qualidade. A espécie tem uma ampla distribuição em terras baixas da Amazônia e no chamado Planalto das Guianas, onde ocorre naturalmente em floresta de terra firme (HAUGAASEN et al., 2012).

Seus frutos são a base de uma importante indústria extrativa na região Amazônica (AZEVEDO, 2014). Praticamente toda a produção mundial de castanheira-do-brasil vem de pequenas comunidades extrativistas, o que o coloca a espécie em uma posição privilegiada em mercados que valorizam a questão social e ambiental (SUJII et al., 2013).

Embora a sua madeira seja de excelente utilização, seu corte é proibido por lei (Instrução Normativa IBDF n° 001/80, segundo Código Florestal – Lei Federal n°4771) e a espécie é classificada como vulnerável na Red List of Threatened Species (IUCN, 2010), sendo a sua principal ameaça atribuída à perda de habitat por desflorestamento (SUJII et al., 2013). Deste modo, é necessário conhecer a silvicultura dessa espécie, e de forma específica a produção de mudas, buscando a otimização dos processos produtivos e, assim, conseguir reflorestar áreas degradadas com esta espécie.

Dentre as espécies florestais mais comumente utilizadas em programas de reflorestamento na região Amazônica, a castanheira-do-brasil tem demonstrado ser uma das espécies com maior potencial, em função de seu bom desempenho em crescimento sob diversas condições edafoclimáticas, da baixa utilização de insumos no estabelecimento dos plantios e das excelentes características silviculturais como alta taxa de sobrevivência, baixo percentual de árvores bifurcadas com fustes longos e retos (COSTA et al., 2009; SCOLES et al., 2011).

O estabelecimento de plantios florestais, seja para fins comerciais ou restauração, depende de uma série de fatores, sendo a qualidade das mudas fundamental para o sucesso inicial (GASPARIN et al., 2014). Isso pode ser alcançado controlando fatores externos e observando os parâmetros morfológicos, realizando análises de

crescimento sob diferentes condições de fertilização, luminosidade, substratos variados e fornecimento de água para as plantas.

Mudas de castanheira-do-brasil em plantios jovens demonstram significativa tolerância ao estresse hídrico, sendo necessário um período de até 58 dias de supressão da irrigação para reduzir ao mínimo as taxas de trocas gasosas, indicando a alta plasticidade fisiológica da espécie em campo (GOMES, 2012; FERREIRA et al., 2012), apresentando boa aptidão para composição de plantios florestais face ao adequado desempenho dos mecanismos fotossintéticos e estratégias de alta capacidade para fotoproteção sob condições de elevada irradiância (MORAIS et al., 2007; TONINI, 2011).

Diante do exposto buscou-se investigar as respostas de crescimento e ecofisiologia de castanheira-do-brasil sob suspensão hídrica, por meio da associação de variáveis biométricas aos processos fisiológicos relacionados aos mecanismos de utilização da água, tendo como objetivo geral analisar o crescimento de *B. excelsa* sob efeito da suspensão hídrica; e específicos determinar o crescimento vegetativo das plantas de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica; determinar os processos fisiológicos e bioquímicos situados na folha do vegetal sob deficiência hídrica, tais como: fotossíntese (A); condutância estomática (Gs); carbono interno (Ci); radiação fotossinteticamente ativa (RFA); transpiração (E) e concentrações de: amido, carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais, sacarose e prolina. Neste sentido foram testadas as hipóteses: de que pode haver desaceleração do crescimento das plantas sob deficiência hídrica; o desempenho fotossintético de plantas jovens de castanheira-do-brasil, submetidas à deficiência hídrica e reduzido.

## 2.2. Material e métodos

### 2.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação com cobertura plástica de 70% de luz solar (1°27'17''S; 48°26'18''W), pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), situada no município de Belém, Pará, sendo desenvolvido entre os meses de maio a julho de 2015.

### 2.2.2. Instalação, tratamento e delineamento experimental.

Plantas jovens de castanheira-do-brasil com um ano de idade, oriundas de produtor certificado, que apresentavam uniformidade de tamanho (aproximadamente 100 cm de altura), foram transplantadas para vasos de plástico (30cm de altura x 25cm altura) com capacidade para 10 kg, contendo substrato de solo do tipo latossolo, ao qual foi submetida a análise química (Tabela 1).

Tabela 1: Análise química do substrato

PH		C.Org.	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
H <sub>2</sub> O	KCl	g dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	m molc dm <sup>-3</sup>				
5,86	3,8	17	29	2,8	0,5	2,0	1,0	14	49

Durante 45 dias as plantas foram irrigadas, diariamente, até a capacidade de campo, e aclimatadas à luz (máximo = 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e à temperatura ( $30\pm 8^\circ\text{C}$ ). Após o período de aclimação, as plantas foram subdivididas em dois grupos: plantas irrigadas (tratamento controle) e não irrigadas (tratamento de déficit hídrico). Os indivíduos do tratamento controle, receberam irrigação, diariamente, as 8 e 16h, durante todo o período experimental (9 dias) e as plantas do tratamento com déficit hídrico tiveram sua irrigação completamente suspensa até a resposta fotossintética alcançar valores próximos ou iguais a 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , observado aos 9 dias de estresse.

As medições do microclima, trocas gasosas, status' hídrico da planta, crescimento e biomassa foram realizadas durante os dias de experimento (0, 5 e 9 dias) sendo as plantas destruídas para as coletas de biomassa.

### 2.2.3. Microclima

As condições microclimáticas dentro da casa de vegetação foram monitoradas durante o período de aplicação dos tratamentos (9 dias), utilizando uma estação microclimatológica composta por um sensor quântico S-LIA-M003, um sensor combinado de temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (UR, %) Hobo (Onset Computer, Massachusetts, EUA). Todos os sensores foram programados para realizarem leituras em intervalos de 60 minutos. Utilizou-se o programa HOBOWare para Windows, software de comunicação dos sensores OnSet – Hobo, para transferir os dados para o computador, exportando os mesmos para o programa Excel. Considerando o período de leitura entre as 6:00 e as 18:00 horas calculou-se os valores médios diários do período diurno das características descritivas do ambiente.

#### 2.2.4. Trocas gasosas foliares

Medições pontuais de trocas gasosas foram realizadas 45 dias após a aclimação das plantas entre 9 e 11 h em folhas totalmente expandidas e completamente maduras com um analisador de gás infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), o CO<sub>2</sub> atmosférico no interior da câmara foliar e a temperatura do bloco da câmara foram mantidos constantes durante as medições com valores de 1000  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 380 a 400  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 26 a 27 °C, respectivamente. O ar de referência foi coletado a aproximadamente 2 m de altura do solo e homogeneizado em um gal\u00e3o de 5 L antes de alcan\u00e7ar a câmara de assimila\u00e7\u00e3o.

A taxa fotossint\u00e9tica l\u00edquida por unidade de \u00e1rea foliar ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condut\u00e2ncia estom\u00e1tica ao vapor d' \u00e1gua ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a taxa transpirat\u00f3ria ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a concentra\u00e7\u00e3o interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), foram calculadas usando os valores das varia\u00e7\u00f5es das concentra\u00e7\u00f5es de CO<sub>2</sub> e de vapor de H<sub>2</sub>O no interior da câmara, medidos pelo analisador de gases por infravermelho do sistema port\u00e1til de fotoss\u00edntese.

#### 2.2.5. 'Status' h\u00eddrico da planta

O potencial h\u00eddrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi determinado entre 9 e 11h, utilizando-se uma bomba de press\u00e3o tipo Scholander. A determina\u00e7\u00e3o consistiu na coleta de amostras de folhas completamente expandidas e com bom estado fitossanit\u00e1rio, as quais foram colocadas na câmara da bomba de press\u00e3o, onde, em seguida, foi aplicada press\u00e3o at\u00e9 ocorrer a exsuda\u00e7\u00e3o pelo corte feito no pec\u00edolo da folha, para a leitura da press\u00e3o aplicada. As leituras foram realizadas ap\u00f3s a aclima\u00e7\u00e3o das plantas e quando as respostas fotossint\u00e9ticas apresentavam valores pr\u00f3ximos de zero ( $A \approx 0$ ).

#### 2.2.6. Medidas de crescimento

Foram realizadas coletas destrutivas de plantas. Em cada coleta foram feitas avalia\u00e7\u00f5es da altura da parte a\u00e9rea (AP), determinada utilizando r\u00e9gua graduada (cm) a partir do substrato at\u00e9 a gema apical; di\u00e2metro do coleto (D), medido com o aux\u00edlio de um paqu\u00edmetro digital, ao n\u00edvel do substrato; o n\u00famero de folhas (NF) foi contado todas as folhas desenvolvidas e; \u00e1rea foliar (cm<sup>2</sup>), atrav\u00e9s da digitaliza\u00e7\u00e3o de todas as folhas

abertas de cada planta em scanner de mesa e utilizando o programa Image Tool para o cálculo da área total em cm<sup>2</sup>.

#### 2.2.7. Determinação da biomassa seca

Em cada coleta destrutiva todas as plantas foram divididas em raiz, caule e folhas acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar a 75 °C até peso constante. Em seguida, foram pesadas em balança semi-analítica para obtenção da biomassa seca das diferentes partes da planta.

#### 2.2.8. Análise bioquímica

As análises bioquímicas foram realizadas nas folhas das plantas aos 9 dias de experimento, sendo determinado as seguintes variáveis:

Concentrações de amido: A determinação das concentrações de amido foram realizadas utilizando-se o método de Dubois et al., (1956).

Teores de carboidratos solúveis totais (CST): foi determinado segundo o método colorimétrico descrito por Dubois et al. (1956).

Teores de sacarose: para a determinação dos teores de sacarose foi utilizado o método de Van Handel (1968).

Concentrações de prolina: O método utilizado para a obtenção das concentrações de prolina foi segundo Bates et al., (1973).

Concentrações de proteínas solúveis totais: O método utilizado para a obtenção das concentrações de proteínas solúveis totais foi segundo Bradford (1976).

Concentrações de aminoácidos solúveis totais: O método utilizado para a obtenção das concentrações de aminoácido Solúveis Totais foi segundo Peoples et al., (1989).

#### 2.2.9. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: plantas irrigadas e não irrigadas, com 9 plantas cada, considerando cada planta como uma repetição, sendo estes tratamentos repetidos em 3 tempos (0, 5 e 9 dias), totalizando 27 plantas por tratamento.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, tendo-se considerado o delineamento de blocos ao acaso em arranjo fatorial 2x3 (dois regimes hídricos e três tempos de avaliação: 0; 5 e 9 dias, após os 45 dias de aclimação). Tendo como programa utilizado o JMP 4.0.

## 2.3. Resultados e discussão

### 2.3.1. Microclima

As trocas gasosas das plantas são fortemente influenciadas em função das alterações que ocorrem nas condições climáticas onde as plantas estão sendo cultivadas. Em função disto, durante todo o período das avaliações foram registradas as variações da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), umidade relativa do ar ( $UR_{ar}$ ), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor.

O microclima foi caracterizado por meio de amostragem com medições entre as 06 e 18 h, com variações da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), da temperatura do ar ( $T$ , °C) e da umidade relativa do ar (UR, %) dentro da casa de vegetação durante o período experimental (Figura 1). A  $T$  média para o período do experimento foi de 34,6 °C, mas foram registrados temperatura máxima de até 44,8 °C as 12 h e mínima de 25,7 °C dentro da casa de vegetação.

No período experimental foram registrados valores mínimos de 37 % para UR as 12:00 horas, atingindo máxima de 88,9 % as 06:00 horas.

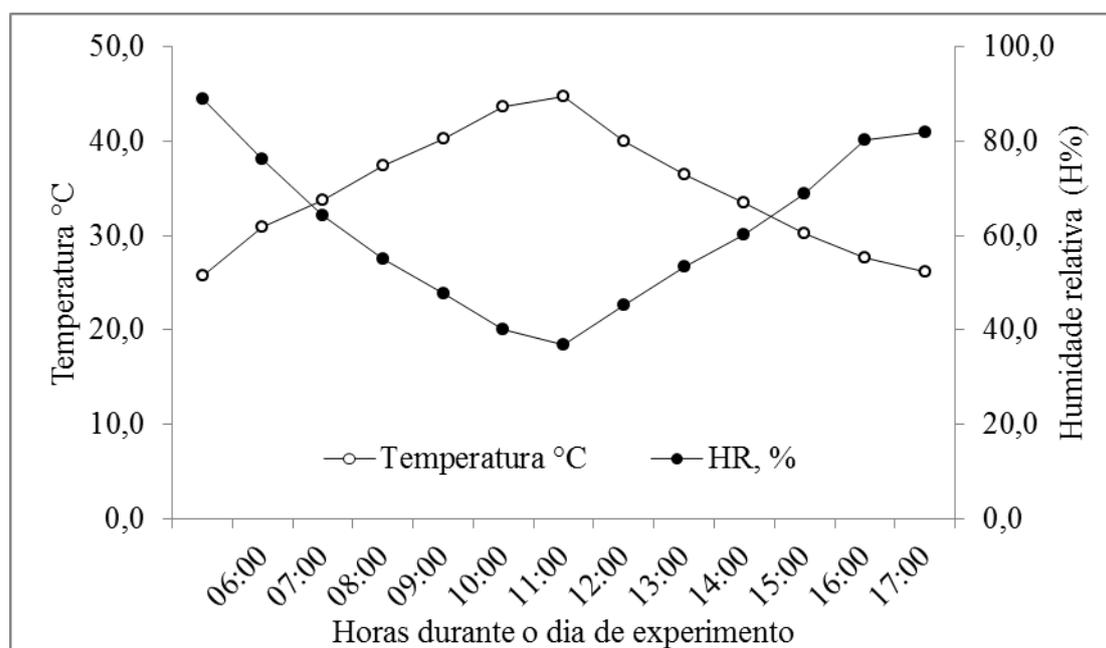


Figura 1: Valores médios de temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação, durante os dias de experimento.

A RFA (Figura 2) nos dias de medição do experimento apresentou média de 467,0  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  atingindo valores m\u00e1ximos de 923,9  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e m\u00ednimos de 7,4  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

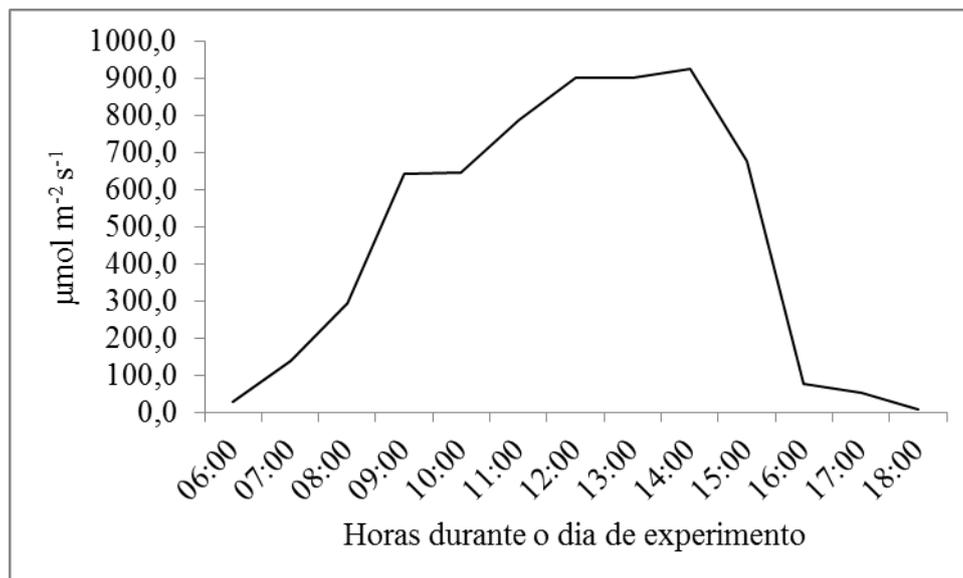


Figura 2: Valores Médios da radiação fotossinteticamente ativa no interior da casa de vegetação durante os dias de experimento.

Os valores máximos para o Déficit de vapor de pressão do ar (DPVA), foram de 6,0 kPa e mínimos de 0,4 kPa (Figura 3) para os dias de experimento.

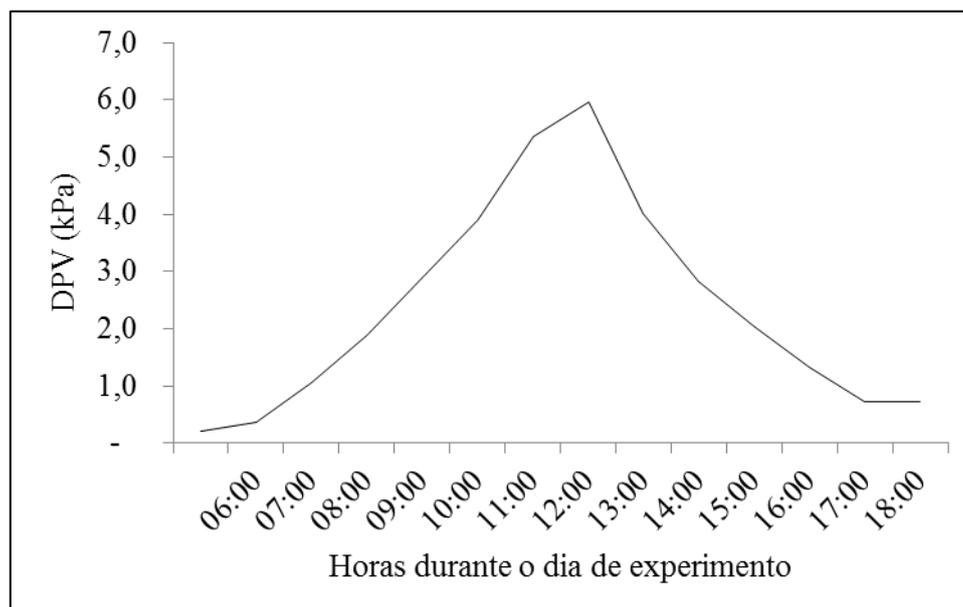


Figura 3: Valores médios do déficit de pressão de vapor do ar no interior da casa de vegetação durante os dias de experimento.

### 2.3.2. Trocas gasosas foliares

As variáveis de trocas gasosas fotossíntese ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), e transpiração ( $E$ ) foram significativamente reduzidas com a suspensão da disponibilidade

de água no solo (Figura 4), tendo aumento apenas para concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), havendo interação estatística significativa da suspensão hídrica (Tabela 2). Os valores de A diminuíram de 4,85 para 0,39  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em média, acompanhando a redução em gs de 0,12 para 0,02  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em E de 1,60 para 0,45  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  enquanto Ci aumentou de 236,97 para 376,58  $\text{mmol mol}^{-1}$ .

Tabela 2: Valores médios de fotossíntese (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) das plantas controle (tratamento irrigado) e plantas sob déficit hídrico (não irrigada).

Regime hídrico	Tempo (dias)	A	Gs	Ci	E
Controle (irrigada)	0	4,58 Aa	0,11 Aa	247,72 Aa	1,48 Aa
	5	4,86 Aa	0,10 Aa	248,75 Aa	1,69 Aa
	9	4,21 Aa	0,15 Aa	185,91 Aa	2,75 Aa
Déficit (não irrigada)	0	4,85 Aa	0,12 Aa	236,97 Aa	1,60 Aa
	5	2,51 Bb	0,07 Bb	266,22 Bb	0,99 Bb
	9	0,39 Bc	0,02 Bc	376,58 Bc	0,45 Bc

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna diferem significativamente entre os tratamentos e médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre os dias de experimento, ao nível de 5% de probabilidade.

Após todas as plantas partirem de um mesmo patamar de fotossíntese (A) [4,58 a 4,85  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] (Figura 4a) houve redução nos valores de A das plantas sob déficit, até atingir 0,39  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o mesmo ocorreu em E de 1,60 para 0,45  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 4b), fato este ocorrido aos nove dias de experimento, o que representou uma redução de 92% na A e 72% na E, quando comparado com as plantas controle. Maes (2009) encontrou em plantas jovens de *Jatropha curcas* valores de A e E que chegaram próximos a zero com a aplicação do estresse hídrico. Gonçalves et al., (2009) verificaram reduções em 88 e 89% na taxa fotossintética e transpiração respectivamente, após 21 dias de deficiência hídrica em plantas de andiroba comparadas com plantas irrigadas diariamente.

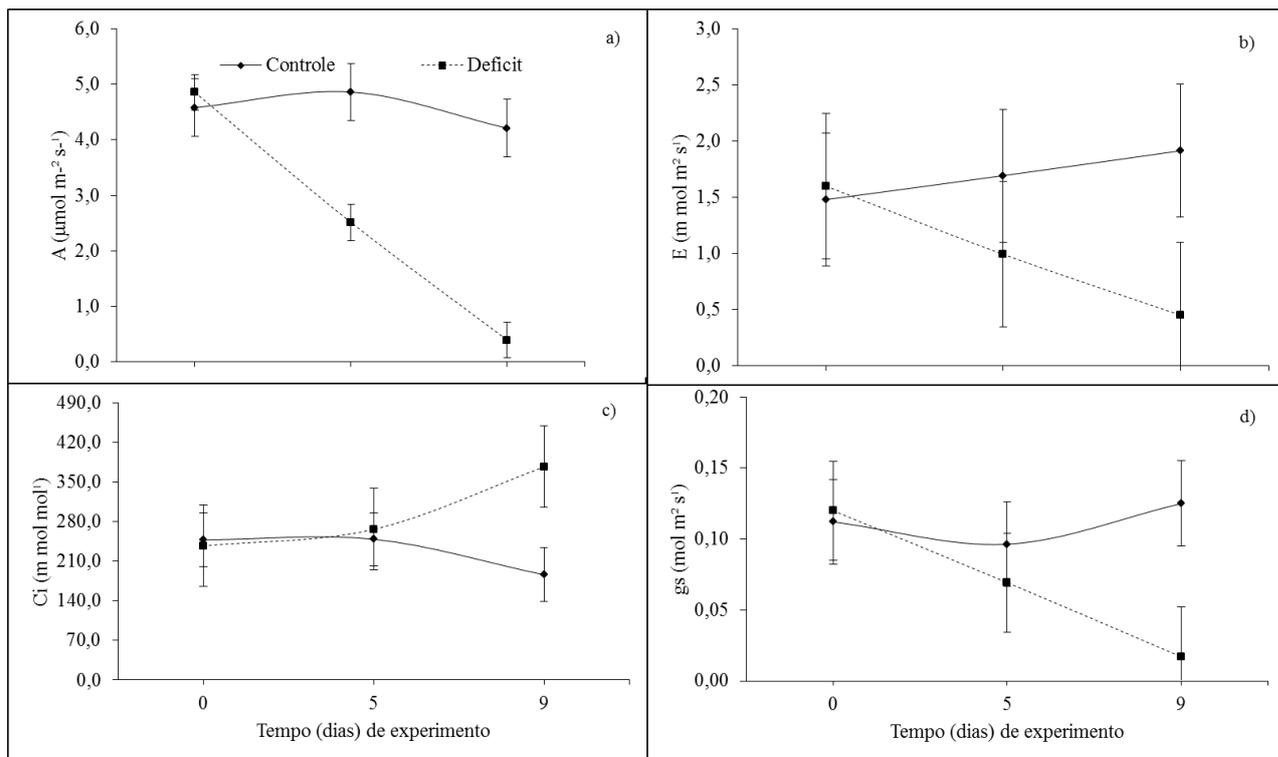


Figura 4: Trocas gasosas das plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico), a) fotossíntese; b) transpiração; c) concentração interna de  $\text{CO}_2$  e d) condutância estomática.

Em condições de déficit hídrico as plantas normalmente apresentam um decréscimo paralelo de A e gs. Um rápido fechamento estomático pode estar associado a uma rápida adaptação das plantas ao estresse hídrico (ROZA, 2010). Sensibilidade de gs a redução da disponibilidade hídrica também foi encontrada por Maes et al. (2009) com valores semelhantes aos encontrados no presente estudo (próximos de  $0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em plantas sob déficit.

As taxas fotossintéticas e de condutância estomática das plantas sob déficit hídrico, foram influenciadas pelo DPV, sendo estas taxas (Figura 4) reduzidas com o aumento do DPV (Figura 3).

A umidade do ar afeta o déficit de pressão de vapor (DPV), ao qual o estômato é sensível (PEREIRA et al., 2006). Notadamente o DPV, é fundamental para prever o crescimento de plantas e para uma seleção mais precisa de espécies destinadas à plantios em áreas com condições ambientais adversas (SOUZA FILHO et al., 2005), principalmente onde ocorre déficit hídrico, uma condição frequente em regiões tropicais, e notadamente no Brasil.

A resposta da condutância estomática em relação ao DPV é um importante fator em relação à quantidade de água utilizada pela planta (SOUZA FILHO et al., 2005; PEREIRA et al., 2006). De acordo com o estudo realizado por Shirke e Pathre (2004),

há um declínio relevante na condutância e portanto na fotossíntese líquida sob altos valores de DPV, podendo ser o fator que mais causa estresse ao meio dia na fotossíntese líquida e na condutância estomática. Sendo este comportamento similar ao observado por este estudo, em que as plantas sob déficit hídrico tiveram a fotossíntese, condutância estomática foram reduzidas com o aumento do DPV.

Embora o fechamento estomático seja uma resposta comum ao estresse hídrico e a altos valores de déficit de pressão de vapor (DPV), espécies diferentes podem apresentar comportamentos distintos de sensibilidade e taxas de resposta. De acordo com os trabalhos realizados por Tatagiba et al. (2007) e Otto et al. (2013), em clones de eucalipto, aos quais alcançaram valores distintos de condutância estomática, e ambos tiveram suas condutâncias reduzidas na época seca, demonstrando que o eucalipto exerce controle estomático eficiente em condições de suprimento hídrico no solo limitado.

Sob déficit hídrico, a redução do potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) leva a um maior fechamento estomático a fim de reduzir a perda de água por transpiração. Porém, a redução na  $g_s$  aumenta a resistência ao influxo de  $CO_2$  nas folhas, contribuindo para a diminuição de  $A$  (NASCIMENTO, 2009). A redução nas variáveis de trocas gasosas ( $A$ ,  $g_s$  e  $E$ ) também foi registrada em outras espécies submetidas ao déficit hídrico, tais como em café (DEUNER et al., 2011), pinhão-mansão (SILVA et al., 2011), citrus (BRITO et al., 2012) e andiroba (GONÇALVES et al., 2009).

Os valores obtidos da condutância estomática ( $g_s$ ) foram de  $0,12 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $0,02 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  sob controle e déficit hídrico, respectivamente, mostrando que houve diferenças significativas entre os tratamentos (Figuras 4d). Essa redução significativa da condutância estomática em plantas sob déficit hídrico está relacionado à diminuição do potencial hídrico foliar.

Conforme relatado por Martinazzo et al. (2013), a diminuição da condutância estomática ( $g_s$ ) é uma das primeiras respostas ao estresse ambiental, contudo se esta condição continuar por um longo período, os mecanismos envolvidos são mais complexos do que simplesmente a redução de ( $g_s$ ), implicando em limitações bioquímicas da taxa de fotossíntese e do crescimento da planta (ROZA, 2010; MARTINAZZO et al., 2013).

A variação proporcional de  $A$  e  $g_s$ , possibilita que a concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) se mantenha constante com o intuito de otimizar as trocas gasosas. O aumento de  $A$  está diretamente relacionado à diminuição da limitação estomática. Quando valores de

$C_i$  aumentam com o aumento de  $g_s$ , a limitação estomática seria o fator principal da limitação do desempenho fotossintético, uma vez que quanto maior a abertura estomática maior a difusão de  $CO_2$  para a câmara subestomática (SANTOS et al., 2013). No presente estudo foram encontrados aumentos de  $C_i$  (236,97 para 376,58  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) no tratamento de suspensão hídrica (Figura 4c).

Quando ocorre aumento na concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) com diminuição de  $g_s$ , em condições de deficiência hídrica, o decréscimo de “A” indica que esta limitação é devida não somente ao aumento da resistência estomática, mas, também, ao efeito do estresse hídrico sobre a “A”, visto que um alto valor de  $C_i$ , associado aos baixos valores de  $g_s$ , indicaria um decréscimo na eficiência de carboxilação (ROZA, 2010; SANTOS et al., 2013). Alguns autores atribuem a manutenção aproximadamente constante de  $C_i$ , durante o estresse hídrico, a valores desuniformes de  $g_s$  ao longo do mesofilo, no entanto, esta heterogeneidade não é comum a todas as espécies, principalmente quando o estresse é imposto lentamente (MAES et al., 2009; ROZA, 2010; SANTOS et al., 2013; ).

Roza (2010) sugere que o aumento de  $C_i$ , sob baixa disponibilidade hídrica, pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de  $CO_2$ . Fatores não estomáticos, como redução da atividade e concentração da enzima Ribulose 1-5 bifosfato carboxilase/ oxigenase (Rubisco), fotoinibição, taxa de transferência de elétrons e redução da eficiência fotoquímica de FS 2, em condições de estresse hídrico podem prejudicar a fotossíntese (DEUNER et al., 2011; BRITO et al., 2012; MARTINAZZO et al., 2013). Comportamento semelhante foi observado por Maes (2009) em *Jatropha curcas* quando submetidas a estresse hídrico. Em *Attalea funifera* também foram observados aumento de  $C_i$  em baixos valores de  $g_s$  (NASCIMENTO, 2009).

### 2.3.3. ‘Status’ hídrico da planta

No tratamento com deficiência hídrica, o potencial hídrico foliar diminuiu drasticamente para -1,82 MPa, quando comparado com as plantas irrigadas que foi de -0,24 MPa, indicando que 9 dias de suspensão da irrigação foi suficiente para a reduzir o status hídricos (Figura 5). Esses resultados corroboram com os encontrados por GONÇALVES et al., (2009), que verificaram reduções no potencial hídrico em mais de

quatro vezes, após 21 dias de deficiência hídrica em plantas de andiroba sem irrigação comparadas com plantas irrigadas diariamente.

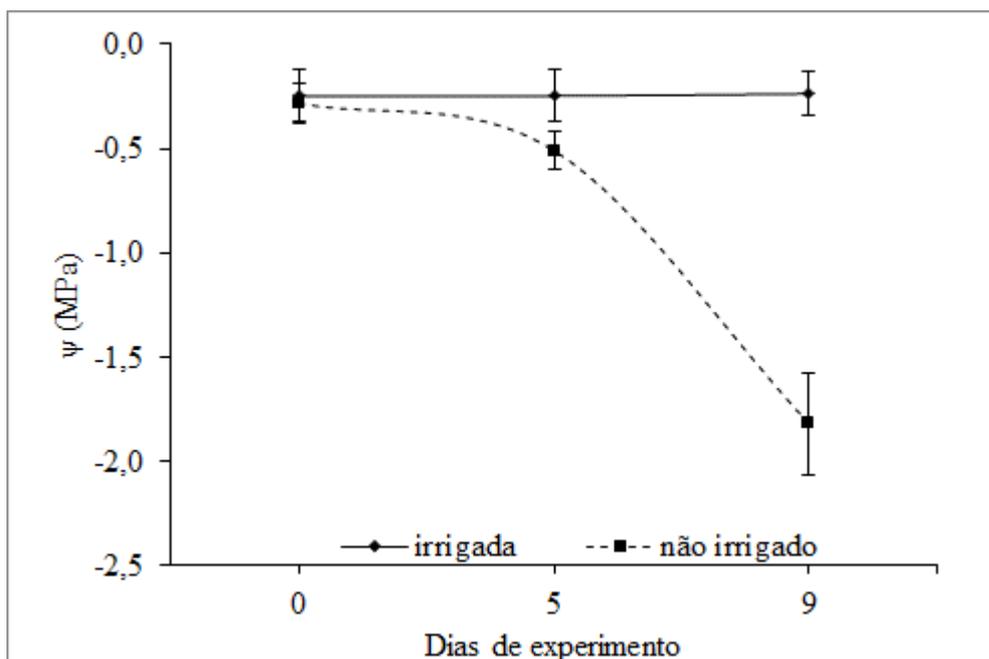


Figura 5: Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) das plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) durante os dias de experimento.

#### 2.3.4. Medidas de crescimento

De acordo com a análise de variância das variáveis D, AP e NF, verificou-se efeito significativo apenas para D e NF, ao qual foi observado aos 9 dias de experimento um número médio de 16,98 de diâmetro e 35,50 de folhas das plantas que foram irrigadas superior as não irrigadas (16,44 mm e 29,71) (Tabela 3). A redução do número de folhas verdes tem sido relatada em plantas com deficiência hídrica e é atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER et al., 2008; PINCELLI, 2010). Entretanto, a manutenção de folhas verdes pode ser um indicativo de tolerância à seca. De fato, a senescência foliar e a paralisação do surgimento de novas folhas são respostas ao estresse promovido por deficiência hídrica dependentes do genótipo, e o número de folhas verdes pode ser usado como indicador do efeito desse estresse (PINCELLI & SILVA, 2012).

Tabela 3: Teste de médias das variáveis: Diâmetro do Coleto (D); Altura de Plantas (AP); Número de Folhas (NF); Área Foliar (AF); Massa Seca de Folha (MSF); Massa Seca de Caule (MSC); Massa Seca de Raiz (MSR); Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca Total (MST) das plantas controle (tratamento irrigado) e sob déficit hídrico (tratamento não irrigado)

IRRIGADO									
Tempo (dias)	D(mm)	AP (cm)	NF	AF (cm <sup>2</sup> )	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
0	16,67 Aa	112,00 Aa	34,22 Aa	3704,40 Aa	22,01 Aa	67,46 Aa	69,62 Aa	89,47 Aa	159,09 Aa
5	16,79 Aa	112,12 Aa	34,22 Aa	3584,40 Aa	23,01 Aa	68,46 Aa	70,62 Aa	91,47 Aa	162,09 Aa
9	16,98 Aa	112,73 Aa	35,50 Aa	3393,60 Aa	24,59 Aa	70,05 Aa	72,20 Aa	94,64 Aa	166,84 Aa
NÃO IRRIGADO									
Tempo (dias)	D (mm)	AP (cm)	NF	AF (cm <sup>2</sup> )	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)
0	16,17 Aa	111,89 Aa	47,22 Aa	3711,60 Aa	22,07 Aa	45,10 Aa	73,70 Aa	67,17 Aa	140,87 Aa
5	16,29 Bb	112,01 Aa	47,22 Aa	3561,60 Bb	23,07 Aa	46,10 Bb	74,70 Aa	69,17 Bb	143,87 Bb
9	16,44 Bc	108,09 Aa	29,71 Bc	3522,00 Bc	24,66 Aa	46,68 Bc	76,29 Aa	71,34 Bc	147,63 Bc

Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna diferem significativamente entre os tratamentos e médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre os dias de experimento, ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de D das plantas irrigadas e não irrigadas aos 9 dias de experimento foram de 16,98 e 16,44 milímetros (Tabela 3) respectivamente, mostrando que a falta de água na planta limitou seu crescimento em diâmetro. Para a variável altura (AP), constatou-se valores médios aos 9 dias de experimento de 112,73 e 108,09 centímetros (Tabela 3) nos indivíduos que foram irrigados e não irrigados respectivamente.

Avaliações biométricas, como por exemplo, altura, são importantes em pesquisas com disponibilidade hídrica, pois o crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, porém esse crescimento pode ser diferencial entre espécies e representar graus de tolerância entre as cultivares (MEIRA et al., 2013).

A perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em consequência, na redução da área foliar (JALEEL et al., 2009; ROZA, 2010). Efeito este encontrado também por outros autores em: *Jatropha curcas* (ACHTEN et al., 2010) (reduções na altura de 90 cm para 50 cm), cultivares de *Hevea brasiliensis*, com redução de 59,6% da altura das plantas sob déficit em relação as plantas controle (CONFORTO, 2008).

Houve redução significativa da MSC e MST (Tabela 3), demonstrando que a suspensão hídrica limitou o alongamento celular das plantas de castanheira-do-brasil. SCHWIDER, et al. (2013) observaram que o acúmulo de massa seca total de eucalipto é reduzido em ambientes que apresentam baixa disponibilidade de água.

A redução da disponibilidade hídrica pode implicar em reduções no acúmulo de matéria seca tanto da parte aérea como das raízes. Sendo constatado, pelo presente estudo apenas redução de massa seca da parte aérea.

A massa seca de raiz foi moderadamente aumentada (Tabela 3) com a suspensão hídrica das plantas, embora a produção de matéria de massa seca das raízes das plantas que sofreram suspensão hídrica, não tenham apresentado interação significativa, podendo a não significância está relacionada ao curto período de tempo em que as plantas apresentaram estresse fisiológico, não sendo este tão expressivo na parte vegetativa, devido ao lento crescimento da espécie pois, segundo Salomão et al. (2014), as espécies de castanheira-do-brasil apresentam incremento médio anual em diâmetro maior que 3 cm e incremento médio anual em altura de 2 m.

### 2.3.5. Análise bioquímica

#### 2.3.5.1. Concentrações de amido

As concentrações de amido nas folhas de castanheira–o-do-brasil foram 64,48 e 63,30 mmol de GLU/g de resíduo, para as plantas irrigadas e não irrigadas respectivamente (Figura 6).

A redução das concentrações de amido nas folhas sob a suspensão hídrica está provavelmente relacionada com a diminuição da fotossíntese e a degradação do amido através das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase, formando novos açúcares como a sacarose com intuito de ajuste osmótico e/ou transporte para outros drenos preferenciais e/ou a inativação da enzima chave na síntese de amido pela a ADP-glicose pirofosforilase (MARTINEZ et al., 2004; CRUZ et al., 2008; OLIVEIRA-NETO, 2008; SILVA et al., 2010).

Segundo MARTINEZ et al., (2004), aumentos no conteúdo de carboidratos em plantas sob estresse, estão associados à diminuição do conteúdo de amido da célula, além da queda da capacidade de fotossíntese que paralisará o crescimento celular e reduzirá a síntese de sacarose para exportação.

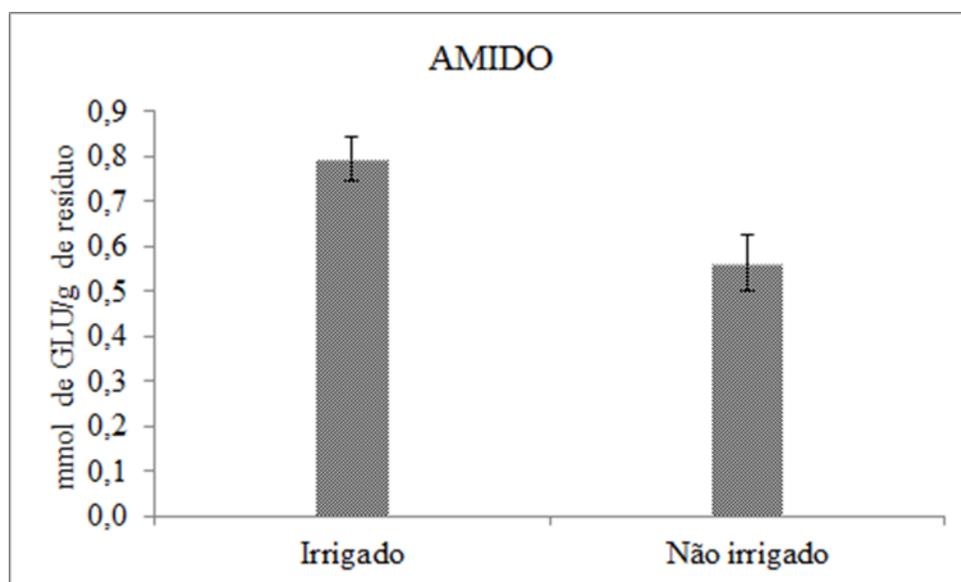


Figura 6: Concentração de amido em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

#### 2.3.5.2. Concentrações de carboidratos solúveis totais

No que concerne aos teores de carboidratos solúveis totais, os resultados revelaram um aumento para as plantas sob deficiência hídrica. Na Figura 7, os valores comprovam que os carboidratos para as folhas nas plantas controle foram de 1,01 mmol de GLU/ g de resíduo, e sob déficit hídrico 1,11 mmol de GLU/ g de resíduo. Estes aumentos observados em plantas sob estresse estão associadas ao fato de que com a desidratação, ocorre diminuição do conteúdo de amido na célula, além de queda na

capacidade de fotossíntese que paralisará o crescimento celular e reduzirá a síntese de sacarose para exportação, fazendo com que aumentem os teores de carboidratos totais (MARTINEZ et al., 2004).

Resultados semelhantes foram encontrados por SOUSA et al., (2012) em cultivares de plantas de pinhão-manso relatando que a redução dos níveis de sacarose foi relativamente bem relacionada com os níveis de fotossíntese, a despeito da frequente redução desse açúcar pelo decréscimo na migração para outros tecidos a partir das folhas.

Nas plantas sob deficiência hídrica, o aumento dos carboidratos solúveis totais está relacionado ao processo de ajustamento osmótico dessas plantas, reduzindo seus potenciais osmóticos no sentido de manter a planta hidratada e de, conseqüentemente, retardar a desidratação dos seus tecidos (OLIVEIRA NETO, 2008; SOUZA et al., 2013).

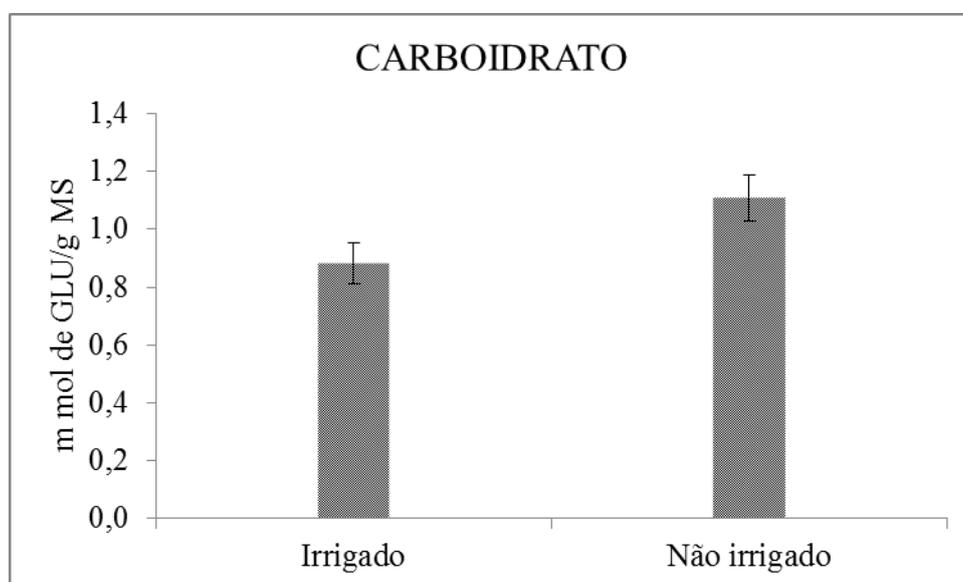


Figura 7: Concentração de carboidratos solúveis totais em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

#### 2.3.5.3. Concentrações de sacarose

As concentrações de sacarose na folha foram 69,90 e 100,39 mg sacarose / g MS nos tratamentos controle e déficit hídrico, respectivamente (Figura 8). Resultados similares foram encontrado por Sanches (2012), ao qual houve alteração significativa nos teores de sacarose das plantas sob déficit hídrico. O mesmo foi constatado por Silva et al. (2012) ao estudarem as resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico, sendo observados valores de 16,98 e 24,45 mg g MS<sup>-1</sup> nos tratamentos controle e déficit hídrico, respectivamente.

Assim como os demais açúcares, a sacarose, pode se ligar às moléculas de água na folha com a finalidade de manter o nível de água da folha, bem como e induzir um ajustamento osmótico na planta e, por isso, apresentou um aumento quanto ao estresse hídrico (SANCHES, 2012). O aumento das concentrações de açúcares resulta na maior parte da hidrólise do amido, que requer atividade de enzimas hidrolíticas. As plantas recuperadas do estresse e as sementes de muitas plantas superiores são bons exemplos para a ligação do acúmulo de hidratos de carbono (sacarose) com a aquisição da tolerância ao estresse (SILVA et al., 2012).

Tem sido observada em diversos estudos uma forte correlação entre o aumento na atividade das enzimas responsáveis pela hidrólise do amido e o acúmulo de açúcares em plantas submetidas à baixa disponibilidade de água. Quando polissacarídeos de reserva são mobilizados, o produto da hidrólise, frequentemente, é a sacarose, principal açúcar de transporte em plantas. Para que órgãos em crescimento (drenos) possam metabolizar essa sacarose, torna-se necessária sua degradação (CRUZ et al., 2008; OLIVEIRA NETO, 2008; SOUZA et al., 2013).

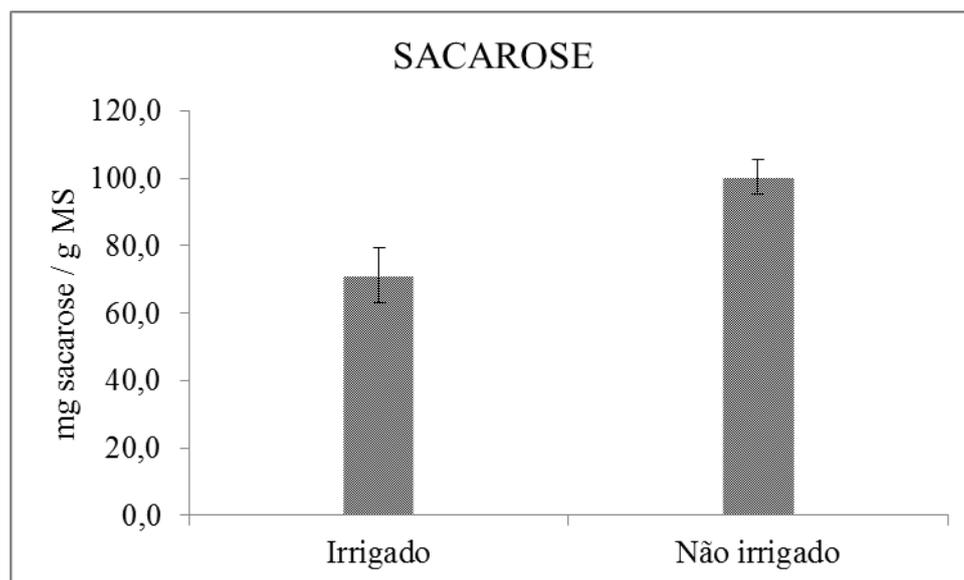


Figura 8: Concentração de sacarose em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

#### 2.3.5.4. Concentrações de proteínas solúveis totais

As concentrações de proteínas solúveis totais nas folhas foram reduzidas significativamente nas plantas sob deficiência hídrica, em comparação ao controle, (Figura 9), sendo elas: 11,95 e 9,21 mg de Proteína/ g MS, nas plantas controle e sob deficiência hídrica, respectivamente. A deficiência hídrica promove uma restrição na

absorção de água diminuindo a turgescência celular, retardando o crescimento da planta (Tabela 3) e aumentando a síntese de enzimas proteolíticas que quebram as proteínas de reserva das plantas e reduz à síntese de proteínas, indicando que a deficiência afeta todos os processos bioquímicos na tentativa de manter os níveis de água na folha, assim como o balanço osmótico celular (LECHINOSKI et al., 2007; SOUZA et al., 2014). Além disso, algumas proteínas envolvidas na interação hidrofílica com macromoléculas celulares são sintetizadas “de novo” visando estabilizar o metabolismo e atuar na recuperação dos danos ocasionados pelo estresse hídrico (LECHINOSKI et al., 2007; SOUZA et al., 2014).

Vários são os trabalhos (LECHINOSKI et al., 2007; SANTOS et al., 2010; SOUZA et al., 2014) que comprovam que a planta sob deficiência hídrica tem seus teores de proteínas solúveis totais reduzidos. Esses autores observaram diminuição acentuada em até 97% dos teores de proteínas durante os dias em que as plantas foram expostas há deficiência hídrica.

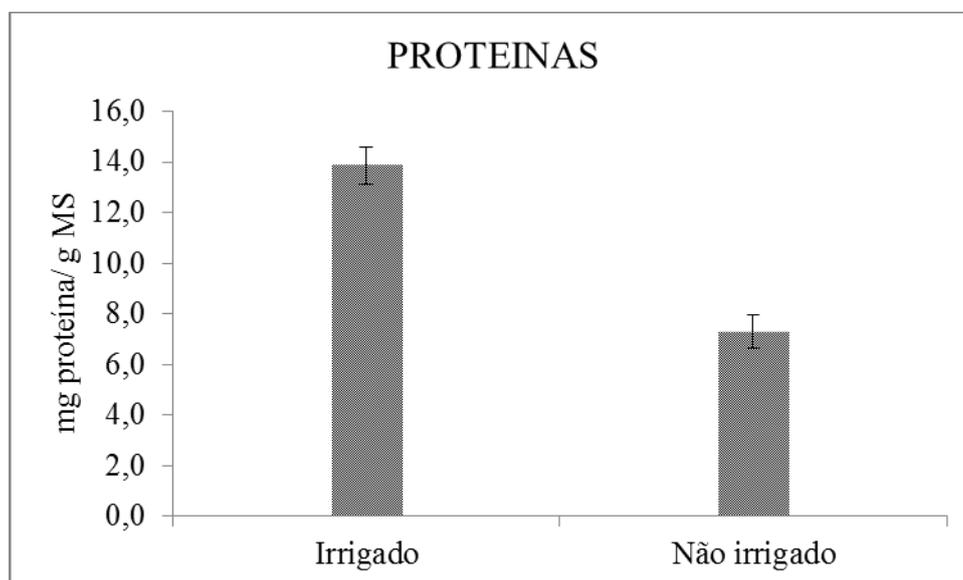


Figura 9: Concentração de proteínas solúveis totais em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

#### 2.3.5.5. Concentrações de aminoácidos solúveis totais

As concentrações de aminoácido solúveis totais apresentaram aumento nas plantas submetidas ao estresse hídrico (Figura 10). As concentrações de aminoácidos solúveis totais nas folhas foram de: 47,77 e 80,01  $\mu\text{mol}$  de AA/g MS, nas plantas controle e sob deficiência hídrica, respectivamente. De acordo com Melo et al. (2007), o

aumento no teor de aminoácido livre pode contribuir para a tolerância das plantas ao déficit hídrico, por meio de um aumento no potencial osmótico e mantendo o potencial hídrico do citoplasma em equilíbrio com o potencial hídrico vacuolar.

O acúmulo de aminoácidos pode ser decorrente da restrição da síntese de proteínas, bem como aos distúrbios provocados pela deficiência hídrica nos tecidos do floema, reduzindo a translocação para outros órgãos (OLIVEIRA et al., 2013), sendo assim, o acúmulo de aminoácidos pode ser considerado como um sinal de tolerância das plantas sob diferentes estresses ambientais. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2013) trabalhando com plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico; Carvalho (2005) trabalhando com plantas de paricá (*Schizolobium amazonicum*, Huber Ducke) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*]) e Ferrari et al. (2015) avaliando déficit hídrico no metabolismo da soja, em que ambos foram verificados o aumento de aminoácidos sob suspensão hídrica.

Os altos teores de aminoácidos nas folhas se devem provavelmente à alta atividade do metabolismo do nitrogênio, em contrapartida, nas plantas sem irrigação, o aumento se deve principalmente à atividade das enzimas proteolíticas quebrando as proteínas em aminoácidos, além da diminuição da síntese das mesmas (OLIVEIRA NETO, 2008).

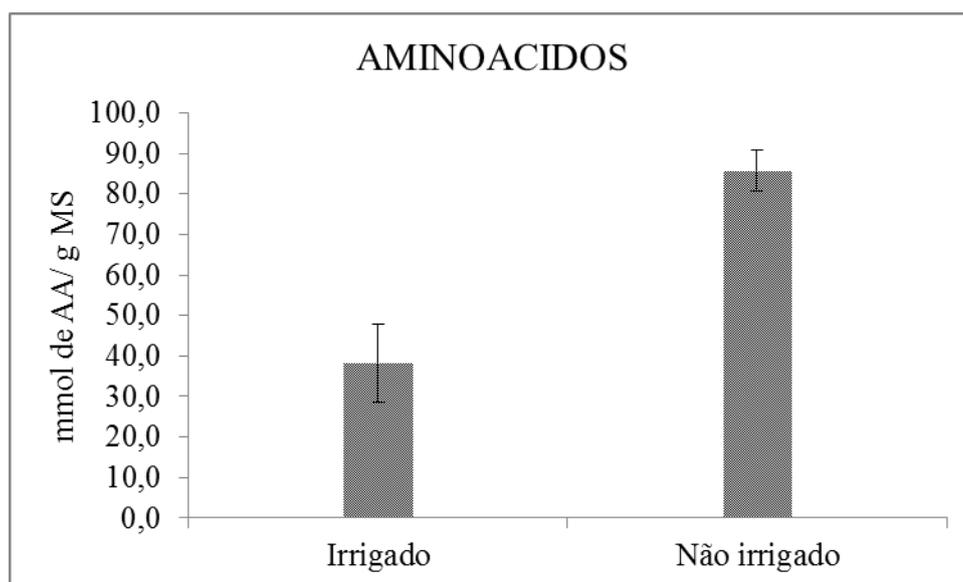


Figura 10: Concentração de aminoácidos em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

#### 2.3.5.6. Concentrações de Prolina

As concentrações de prolina nas folhas foram de: 1,34 e 2,54  $\mu\text{mol Pro.g}^{-1}$ , nas plantas controle e sob deficiência hídrica, respectivamente (Figura 11).

Nas plantas sob deficiência hídrica, o aumento dos teores de prolina pode estar relacionado ao aumento da atividade das enzimas proteolíticas promovendo uma disponibilidade maior de aminoácidos livres (Figura 10) como a prolina (Figura 11), no sentido de proteger os tecidos vegetais contra esse estresse por servirem como reserva de nitrogênio, osmo-soluto e protetor hidrofóbico de enzimas e estruturas celulares (Melo et al., 2007; OLIVEIRA NETO, 2008; PÉREZ-PÉREZ et al., 2009).

Para tolerar os efeitos dos estresses ambientais, as plantas utilizam o mecanismo de ajustamento osmótico, processo pelo qual o potencial hídrico pode diminuir sem que haja redução da turgescência das células vegetais, permitindo a continuidade de processos fisiológicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (TROVATO et al., 2008; OLIVEIRA NETO, 2008). Este mecanismo capacita a célula a acumular compostos, denominados solutos compatíveis ou osmoprotetores, que preservam a integridade celular, principalmente de proteínas, enzimas e membranas, e promovem a redução do potencial hídrico durante os períodos de estresse osmótico proporcionados em condições de maior deficiência hídrica (MARIJUAN & BOSCH, 2013).

Em condições de estresse, o metabolismo de aminoácidos é amplamente alterado, com isso a síntese de proteínas é diminuída e a proteólise aumentada (MONTEIRO et al., 2014). Por conseguinte, ocorre a indução da biossíntese de prolina promovida pelo incremento de metabólicos como poliaminas, amônia, arginina, ornitina, glutamina e glutamato (CVIKROVÁ et al. 2013). O aumento dos teores de prolina pode ativar várias funções celulares: ajustamento osmótico reserva de carbono e nitrogênio utilizado no crescimento para restabelecimento após estresse, desintoxicação do excesso de amônia, estabilizador de proteínas e membranas e eliminadores de radicais livres (ALEMAN, 2011).

Amorim et al. (2011) verificaram que a deficiência hídrica além de reduzir a produção, afeta os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Castro et al. 2007, ao qual avaliaram os teores de prolina livre em *Tectona grandis* L.f sob estresse hídrico, em que os teores de prolina nas folhas foram aumentados quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico.

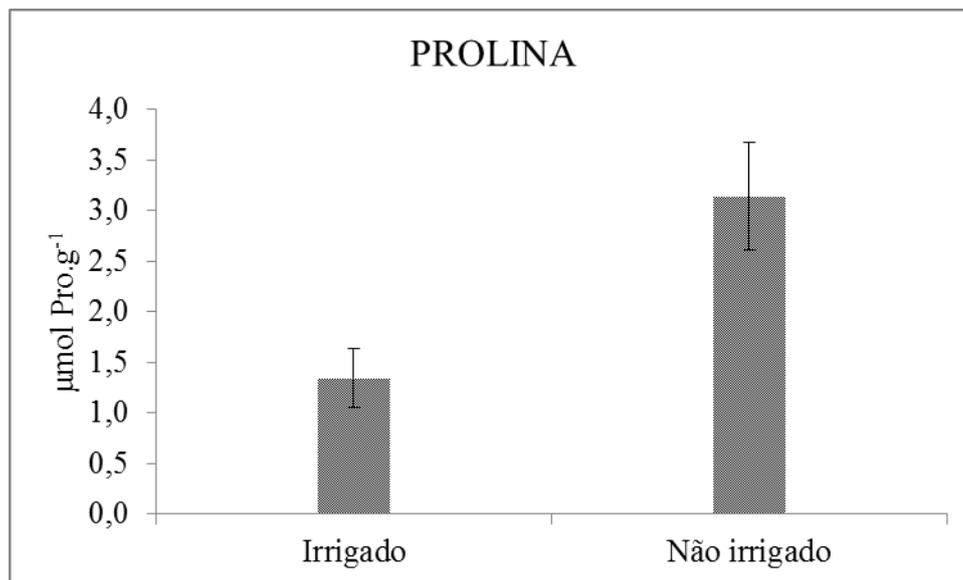


Figura 11: Concentração de prolina em folhas de plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (déficit hídrico) aos nove dias de experimento.

## 2.4 Conclusões

1. A condição de deficiência hídrica por nove dias afetou adversamente o crescimento, potencial hídrico foliar, os indicadores de trocas gasosas (A, gs e E), concentração de amido e concentração de proteínas solúveis totais.
2. A condição de deficiência hídrica por nove dias, ao contrário, aumentou a concentração interna de CO<sub>2</sub>, as concentrações de carboidratos solúveis totais, aminoácidos solúveis totais, sacarose e prolina.
3. Assim, plantas jovens de *B. excelsa* podem ser recomendadas para cultivos em condições de deficiência hídrica por nove dias.

## Referências

- ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; REUBENS, B.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; VERCHOT, L.; MUYS, B. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 667–676, 2010.
- ALEMAN, C. C. **Manejo de irrigação em diferentes fases de desenvolvimento da *Calendula officinalis* L.** 2011. 71 f. tese (Doutorado em ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2011.

- ALMEIDA, A-A. F.; BRITO, R. C. T.; AGUILAR, M. A. G.; VALLE, R. R. Water relations' aspects of *Theobroma cacao* L. clones. **Agrotropica**, v. 14, n.2 p. 35-44, 2002.
- ALMEIDA, A-A. F.; MAESTRI, M. Characteristics of slow chlorophyll fluorescence emission in four *Coffea arabica* genotypes submitted to water stress. **Photosynthetica**, v. 32, n.2, p. 161-169., 1996.
- AMORIM, A. V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. de. Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1014-1020, 2011.
- ANGELOPOULOS, K.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 8, p. 1093-1100, 1996.
- AZEVEDO, G. F. da C. Photosynthetic parameters and growth in seedlings of *Bertholletia excelsa* and *Carapa guianensis* in response to pre-acclimation to full sunlight and mild water stress. **Acta Amazonica**. v. 44, n.1 p. 67-77, 2014.
- BAKER, N. R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, v. 81, n.4, p. 563-70, 1991.
- BARRETO, N. F.; ARAUJO, G. R. de M.; CARVALHO, L. S. de; COSTA, G. S. Caracterização e análise das áreas degradadas do Assentamento Santo Amaro. **Vértices**, v.16, n.3, p. 97-104, 2014.
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M. da; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.100-107, 2011.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. e Teare, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Short communication: Plant and Soil**. v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

- BONDADA, B.; SHUTTHANANDAN, J. Understanding differential responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf and fruit to water stress and recovery following re-watering. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, n.9, p.1232-1240, 2012.
- BONJOVANI, M.R.; BARBEDO, C.J. Sementes recalcitrantes: intolerantes a baixas temperaturas? Embriões recalcitrantes de *Inga vera* Willd. subsp. affinis (DC.) T. D. Penn. toleram temperatura sub-zero. **Revista Brasileira de Botânica**, v.31, p.345-356, 2008.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.
- BRITO, M.; SOARES, L.; FERNANDES, P.; LIMA, G.; SÁ, F.; MELO, A. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.857-865, 2012.
- CAMARGO, F. F.; COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V. de; ROA, R. A. R.; RODRIGUES, N. B.; SANTOS, L. V. dos; FREITAS, A. C. A. de. Variabilidade genética para caracteres morfométricos de matrizes de castanha-do-brasil da Amazônia Matogrossense. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 4, p.705-710, 2010.
- CAMARGO, I.P. de; CASTRO, E.M. de; GAVILANES, M.L. Aspectos da anatomia e morfologia de amêndoas e plântulas de castanheira-do-brasil. **Revista Cerne**, v.6, n. 2, p.11-18, 2000.
- CARVALHO, C. J. R. de. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. parahyba var. amazonicum] e *Schizolobium parahyba* [Schizolobium parahybum] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, vol.29, n.6, p. 907-914, 2005.
- CASTRO, D. da S.; SANTOS, A. O. dos; LOBATO, A. K. da S.; GOUVEA, D. D. S.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; CUNHA, R. L. M. da; COSTA, R. C. L. da. Concentrações de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas Teca

- (*Tectona grandis* L.f) Submetida ao Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 921-923, 2007.
- CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de déficit hídrico e reidratação. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 211-217, 2015.
- CHAPIN, F. S.; AUTUNM, K.; PUGNAIRE, F. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. **American Naturalist**, v. 142, p. 78-92, 1993.
- CONFORTO, E. de C. Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira ("RRIM 600" e "GT 1") crescidas em campo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 679-684, 2008.
- CORDEIRO, Y.E.M.; PINHEIRO, H.A.; SANTOS FILHO, B.G. dos; CORRÊA, S.S.; DIAS FILHO, M.B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v.258, p.1449 1455, 2009.
- COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 843-850, 2009.
- CRUZ, M. do C. M. da; SIQUEIRA, D. L. de; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SANTOS, D. dos. Teores de carboidratos em tangerineira 'ponkan' e limeira ácida 'tahiti' submetidas ao estresse hídrico. **Ceres**, v. 55, n. 4, p. 305-309, 2008.
- CVIKROVÁ, M.; GEMPERLOVÁ, L.; MARTINCOVÁ, O.; VANKOVÁ, R. Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline over producing tobacco plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 7-15, 2013.
- DEUNER, S.; ALVES, J. D.; ZANANDREA, I.; GOULART, P. de F. P.; SILVEIRA, N. M.; HENRIQUE, P. de C.; MESQUITA, A. C.. Stomatal behavior and

components of the antioxidative system in coffee plants under water stress. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 77-85, 2011.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analitical Chemistry**, v. 28, n.3, p.350-356, 1956.

FERNANDES, N. P.; J. C. ALENCAR. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. 4. Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), dez anos após o plantio. **Acta Amazonica**, v. 23, n. 2-3, p:191-198, 1993.

FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A. C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Nativa**, v.3, n.1, p.67-77, 2015.

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

GASPARIN, E.; AVILA, A. L. de; ARAUJO, M. M.; FILHO, A. C.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GOMES, I. B. **Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* H. B. submetidas à fertilização em plantio homogêneo.** 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2012.

GONÇALVES, J. F. de C.; SILVA, C. E. M. da; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

HARTEMINK, A. E.; VELDKAMP. T.; BAI, Z. Land cover change and soil fertility decline in tropical regions. **Turkinsh Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, p. 195-213, 2008.

- HAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Fruit Removal and Natural Seed Dispersal of the Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa*) in Central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 44, n. 2. p.205–210, 2012.
- HAUGAASEN, J. M.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding rodents in a central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 26, n. 3, p. 251–262, 2010.
- IDESP. Disponível em <<http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/EstatisticaMunicipal/pdf/Belem.pdf>>. Acesso em 28 de julho de 2015.
- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, n. 1, p. 13-26, 2008.
- IUCN 2010. IUCN, Red List of Threatened Species. Version 2010.3. Disponível em <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Acesso em 3 de março de 2015.
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal Agricultural Biology**, v. 11, n. 1, p. 100–105, 2009.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, v. 23, p. 187-261, 1992.
- LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolismo and the role of ATP. *Annals of Botany*, v. 89, n. 7, p. 871-885,2002
- LECHINOSKI, A. L.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. da S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas

de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.927-929, 2007.

LEMCOFF, J. L.; GUARNASCHELL, A. B.; GARAU, A. M.; BASCIALLI, M. E.; GHERSA, C. M. Osmotic adjustment and its use as a selection criterion in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal Forest Research**, v. 24, n. 12, p. 2404-2408, 1994.

MAES, M. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON, R.; MUYS, B. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. saplings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 10, p. 877–884, 2009.

MALTAROLO, B. M.; TEIXEIRA, D. T. de F.; ATAÍDE, W. L. da S.; NOGUEIRA, G. A. dos S.; OLIVEIRA NETO, C. F. de. Avaliação biométrica e metabolismo do carbono em plantas jovens de noni submetidas à deficiência hídrica. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.21, p. 251-265, 2015.

MAR, C. da C.; CONCEIÇÃO, H. E. O. da; SANTOS, A. B. R. dos; VIÉGAS, I. de J. M.; SILVA, F. S. N. da. Produção de massa seca e área foliar do açazeiro sob déficit hídrico. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, n. 2, p. 14-23, 2013.

MARIJUAN, M.P.; BOSCH, S.M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666, 2013.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRAI, P. V. de; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 35-41, 2013.

MARTINEZ, J,P.; LUTTS,S,; SCHANCK,A, BAJJL, M, KINET,L,M, Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halinus* L. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 9, p. 1041–1051, 20 September 2004.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira "Valência" sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

- MEIRA, M. R.; MELO, M. T. P. de; MARTINS, E. R.; PINTO, M. J. da S.; SANTANA, C. S. Crescimento vegetativo, produção de fitomassa e de óleo essencial de *Melissa officinalis* L. sob diferentes lâminas de irrigação. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 779-785, 2013.
- MELO, H. C. de; CASTRO, E. M. de; SOARES, Â. M.; MELO, L. A. de; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, vol.34, n.2, p. 145-153, 2007.
- Ministério da Agricultura. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>>. Acesso em 28 de julho de 2015.
- MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. dos. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.1, p.18-25, 2014.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n. 10, p. 35-40, 2003.
- MORAIS, R. R.; GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JÚNIOR, U. M.; DÜNISCH, O.; SANTOS, A. L. W. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in Amazonian tropical three species. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p. 959-966, 2007.
- MORANDO, R.; SILVA, A. O. da; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A., Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v.3, n. especial, p.114-129, 2014.
- NASCIMENTO, J. L. do. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus – Bahia, 2009.

- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n.1, p. 75-87, 2001.
- NUNES, S. do S. S. **Estimativas de biomassa e carbono e indicadores para restauração de florestas secundárias em Paragominas, Pará**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- OLIVEIRA, L. M. de; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de. Pigmentos fotossintetizantes, aminoácidos e proteínas em plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico. **Agrocossistemas**, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2013.
- OLIVEIRA-NETO, C. F. de. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] moench) submetidas à deficiência hídrica**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, 2008.
- OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013.
- PEOPLES, M. B.; FAIZAH, A. W.; REAKASEM, B.; HERRIDGE, D. F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. **Australian Centre for International Agricultural Research Canberra**. n. 11, p. 76, 1989.
- PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R. da; SOUZA, R. A. de; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006.
- PÉREZ-PÉREZ, J.G.; ROBLES, J.M.; TOVAR, J.C.; BOTÍA, P. Response to drought and salt stress of lemon ‘Fino 49’ under field conditions: water relations,

osmotic adjustment and gas exchange. **Scientia Horticulturae**, v. 122, n. 1, p. 83–90, 2009.

PIMENTEL, D.L.; WAGNER JÚNIOR, A.; SANTOS, C.E.M. DOS; BRUCKNER, C.H. estimativa de viabilidade econômica no cultivo da castanha-do-brasil. **Informações Econômicas**, v.37, n.6, p. 26-36, 2007.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, 2010.

PINCELLI, R. P.; SILVA, M. de A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 546-556, 2012.

RAMOS, K. M. O.; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SOUSA-SILVA, J. C.; FRANCO, A.C. Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C. Smith, em diferentes condições de sombreamento. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, n. 2, p. 351-358, 2004.

RODRIGUES, E. R.; CULLEN JÚNIOR, L.; MOSCOGLIATO, A. V.; BELTRAME, T. P. O uso do sistema agroflorestal taungya na restauração de reservas legais: indicadores Econômicos. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 517-525, 2008.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus – Bahia, 2010.

SAITO, T.; TERASHIMA, I. Reversible decreases in the bulk elastic modulus of mature leaves of deciduous *Quercus* species subjected to two drought treatments. **Plant Cell and Environment**, v. 27, n. 7, p. 863-875, 2004.

SALOMÃO, R. de P.; SANTANA, A. C. de; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N. de A.; PRECINOTO, R. S. Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita. **Boletim do Museu**

- Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 9, n. 2, p. 307-320, 2014.
- SALOMÃO, R.P.; ROSA, N.A., CASTILHO, A., MORAIS, K.A.C. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 65-78, 2006.
- SANCHES, R. F. E. **Relações hídricas e respostas ao déficit hídrico da espécie *Bauhinia forficata* Link: mecanismos de manutenção do status hídrico**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**, v.33, p.34-44, 2010.
- SANTOS, J.U.M.; BASTOS, M.N.C.; GURGEL, E.S.C.; CARVALHO, A.C.M. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland (Lecythidaceae): Aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 103-112, 2006.
- SANTOS, M. R. dos; MARTINEZ, M. A.; DONATO, S. L. R. Gas exchanges of ‘tommy atkins’ mango trees under different irrigation treatments. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1141-1153, 2013.
- SAPETA, H.; COSTA, J. M.; LOURENÇO, T.; MAROCO, J.; VAN DER LINDE, P.; OLIVEIRA, M. M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. **Environmental and Experimental Botany**, v.85, p.76-84, 2013.
- SCHURR, U. Growth physiology: approaches to a spatially and temporally varying problem. **Progress in Botany**, v. 3, p. 355-373, 1998.
- SCHWIDER, Y. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CÔRREA, V. B.; TOLEDO, J. V.; XAVIER, T. M. T. Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16; p. 888-900, 2013.

- SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v.6, n.3, p. 273-293, 2011.
- SCOLES, R.; R. GRIBEL. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 265, n. 1, p. 71-81, 2012.
- SHIRKE, P. A.; PATHRE, U. V. Influence of leaf-to-air vapour pressure deficit (VPD) on the biochemistry and physiology of photosynthesis in *Prosopis juliflora*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 405, p. 2111-2120, 2004.
- SILVA, E.N; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.69, n.3, p.279-85, 2010.
- SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J. D.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIÉGAS, R. A. Crescimento e produção do pinhão-mansão irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 621-629, 2011.
- SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de; BARBOSA, R. R. do N.; COSTA, R. C. L. da; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v. 9, n. 2, p. 113-120, 2012.
- SOUSA, A. E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; GHEYI, H. R.; LIMA NETO, M. C.; LACERDA, C. F. de; SOARES, F. A. L. Trocas gasosas e conteúdo de carboidratos e compostos nitrogenados em pinhão-mansão irrigado com águas residuária e salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p.1428-1435, 2012.
- SOUZA FILHO, J. D. da C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta

- tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 223-229, 2005.
- SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais de uso múltiplo. **Scientia Forestalis**, v.36, n.77, p 7-14, 2008..
- SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. de S.; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; LOBATO, A. K. da S. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 117-128, 2014.
- SOUZA, L.C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. de S.; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA NETO, C. F. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p. 240-249, 2013.
- SOUZA, N. K. dos R.; AMORIM, S. M. C. de. Crescimento e desenvolvimento de *Physalis angulata* Lineu submetida ao déficit hídrico. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 65-72, 2009.
- SUJII, P.S.; BRAGA, E. T. M.; AZEVEDO, V. C. R.; CIAMPI, A. Y. ; MARTINS, K. ; WADT, L. H. O. . Morphological and molecular characteristics do not confirm popular classification of the Brazil nut tree in Acre, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 4018-4027, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Tradução de DIVAN JUNIOR, A. M. et al., 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. dos; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Revista Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.
- TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Revista Cerne**, v. 17, n. 1, p. 123-131, 2011.

- TONINI, H.; OLIVEIRA JR, M. M. C.; SCHWENGBER, D. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. **Ciência Florestal**, v.2, n.18, p. 151-158, 2008.
- TONINI, H. Fenologia da Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do Estado de Roraima. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 123-131, 2011.
- TROVATO, M.; MATTIOLI, R.; COSTANTINO, P. Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. **Rendiconti Lincei**, v.19, p.325-346, 2008.
- Van Handel, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 280-283, 1968.
- VIEIRA, I. C. G.; GARDNER, T. A. Florestas secundárias tropicais: ecologia e importância em paisagens antrópicas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 7, n. 3, 2012.
- ZUIDEMA, P.A.; BOOT, R.G.A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v.18, n. 1, p. 1-31, 2002.