

**ATUAÇÃO DO BRASSINOSTERÓIDE NO CRESCIMENTO DE  
MAMOEIRO SOBRE DÉFICIT HÍDRICO**

**JENEILSON ALVES DA SILVA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**FEVEREIRO DE 2017**

**ATUAÇÃO DO BRASSINOSTERÓIDE NO CRESCIMENTO DE  
MAMOEIRO SOBRE DÉFICIT HÍDRICO**

**JENEILSON ALVES DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias / Área de Concentração: Agrobioenergia Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

**Orientador: Prof. D.Sc. Josemir Moura Maia**  
**Coorientador: Prof. D.Sc. Alberto Soares de Melo**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**FEVEREIRO DE 2017**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S586a Silva, Jeneilson Alves da.

Atuação do brassinosteróide no crescimento de mamoeiro sobre déficit hídrico [manuscrito] / Jeneilson Alves da Silva. - 2017.

77 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa".

"Co-Orientação: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Departamento de Engenharia Agronômica".

1. Carica papaya (L.). 2. Mamão. 3. Osmorregulação. 4. Estresse hídrico. 5. Irrigação. I. Título.

21. ed. CDD 634.651

# ATUAÇÃO DO BRASSINOSTERÓIDE NO CRESCIMENTO DE MAMOEIRO SOBRE DÉFICIT HÍDRICO

**JENEILSON ALVES DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias / Área de Concentração: Agrobioenergia Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2017

Banca examinadora:



---

**Prof.ª Liziane Maria de Lima (D.Sc. Ciências Biológicas) – UEPB/EMBRAPA**



---

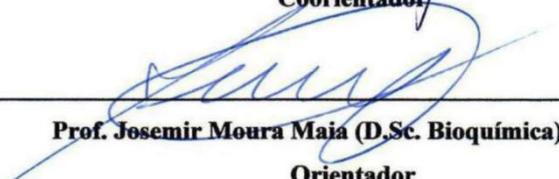
**Prof. Franciscleudo Bezerra da Costa (D.Sc. Fisiologia Vegetal) - UFCG**



---

**Prof. Alberto Soares de Melo (D.Sc. Recursos Naturais) - UEPB**

**Coorientador**



---

**Prof. Josemir Moura Maia (D.Sc. Bioquímica) - UEPB**

**Orientador**

*Ofereço à minha mãe*

*Essa mulher é o melhor livro que li na minha vida,  
é a melhor universidade que já estudei, é o melhor  
assunto de dissertação sobre o qual eu poderia  
escrever, é a melhor tese de doutorado!*

*A minha mãe é a morfologia da vida,  
é o formato de tudo que é vivo para mim...*

*Fábio de Melo*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre tem me guiado nos caminhos da reta sabedoria, proporcionando momentos agradáveis de conhecimento e hoje dando-me condições para obter o título de mestre em ciências agrárias.

A minha mãe, Maria José, que me deu a vida, e pelo esforço de me educar e renunciar muitas vezes dos seus sonhos, para que eu pudesse realizar o meu. A minha família pela paciência demonstrada. A minhas irmãs, Zélia Alves, Marineide Alves, Léia Alves e Débora Alves pelo ânimo e força que muito ajudou ao longo deste tempo.

Ao meu amor, amiga, companheira Yamaní, que tanto me acalmou, me ouviu, ao longo dessa jornada. Obrigado por tudo!

Ao professor e Orientador Josemir Moura Maia, por ter depositado sua confiança e dedicação em mim durante esses dois anos, pela sua serenidade, ensinamentos que jamais serão esquecidos, cada conquista será mais sua do que minha. Sem o seu apoio, esforço, ensinamento e paciência nada disso seria possível. Muito obrigado!

Ao professor e Coorientador Alberto Soares de Melo, por sempre está presente me dando dicas e força para realização dos trabalhos.

A todos os colegas de turma de agrárias que sempre estiveram presentes, dando apoio e força na caminhada. Especialmente a Uéliton que foi fundamental para minha aprovação no exame de proficiência da língua inglesa. Obrigado!!

Aos amigos do LAPROV, principalmente, a Poti, Lucas, Joilma, Paulinho e Dayara que foram importantes na condução de todo o trabalho. Obrigado por toda ajuda no experimento, sem vocês tudo teria sido muito mais difícil.

Aos colegas de residência Cléverton, Janduí, Antônio, Jucelino e Maílson que me acolheram com todo amor e carinho em sua cidade e proporcionaram momentos agradáveis durante todo esse tempo, que jamais serão esquecidos.

A professora Lisiane Bezerra que tanto me ajudou em todas as análises, por ter sido tão solícita, atendendo-me sempre com sorriso e disposição e que tanto contribuiu para o meu aprendizado.

A Universidade Estadual da Paraíba e a todos que fazem o programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

A todos os professores por todos ensinamentos divididos, dúvidas sanadas e momentos compartilhados.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo, fundamental para realização do trabalho.

Quero agradecer e manifestar o meu apreço à todos que colaboraram, direta ou indiretamente para realização de mais essa etapa da minha vida.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Objetivo geral</b> .....	17
<b>1.2. Objetivos específicos</b> .....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>2.1. Aspectos botânicos e econômicos do mamoeiro</b> .....	18
<b>2.2. Condições edafoclimáticas</b> .....	18
<b>2.3. Irrigação do mamoeiro</b> .....	19
<b>2.4. Estresse hídrico em plantas</b> .....	20
<b>2.5. Acúmulo de solutos no ajustamento osmótico</b> .....	21
<b>2.6. Pigmentos fotossintéticos</b> .....	21
<b>2.7. Os fitormônios e sua importância na resposta à seca</b> .....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
<b>3.1. Caracterização do local da pesquisa</b> .....	24
<b>3.2. Delineamento experimental</b> .....	25
<b>3.3. Atributos físicos e químicos do solo</b> .....	25
<b>3.4. Instalação e condução do experimento</b> .....	26
<b>3.5. Irrigação e tratamentos culturais</b> .....	27
<b>3.6. Preparo e aplicação do Brassinosteróide (BR)</b> .....	28
<b>3.7. Variáveis analisadas</b> .....	28
<b>3.7.1. Componentes de crescimento</b> .....	28

3.7.2. Indicadores do status hídrico .....	29
3.7.2.1. Conteúdo relativo de água (CRA) .....	31
3.7.2.2. Percentual de umidade (%U) .....	31
3.7.3. Características bioquímicas .....	31
3.7.3.1. Proteínas solúveis totais (PST) .....	31
3.7.3.2. Açúcares solúveis totais (AST) .....	32
3.7.3.3. Açúcares redutores (AR) e não-redutores (ANR) .....	32
3.7.3.4. Aminoácidos livres totais (AALT) .....	32
3.7.3.5. Prolina (PRO) .....	33
3.7.3.6. Glicina-betaína (GB) .....	33
3.7.3.7. Clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e carotenoides .....	34
<b>3.8. Análise estatística.....</b>	<b>34</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1. Componentes de crescimento .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2. Características do status hídrico .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3. Características bioquímicas.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Teor de pigmentos fotossintéticos .....</b>	<b>53</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização física do solo na camada de 0-20 cm. Catolé do Rocha-PB, 2016 .....	25
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química do solo na camada de 0-20 cm. Catolé do Rocha-PB, 2016 ....	25
<b>Tabela 3.</b> Caracterização química da água de poço amazonas, utilizada para o manejo de irrigação na cultura do mamoeiro. Catolé do Rocha, 2016.....	27
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância referente aos parâmetros de crescimento em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016 .....	36
<b>Tabela 5.</b> Resumo da análise de variância referente ao status hídrico em plantas de mamoeiro aos 90 DAT cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016 .....	44
<b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância referente aos características bioquímicas em plantas de mamoeiro aos 90 DAT cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016 .....	47
<b>Tabela 7.</b> Resumo da análise de variância referente aos pigmentos fotossintéticos; clorofila total, clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e carotenoides aos 90 DAT em plantas de mamoeiro cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016.....	53

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa com destaque do município onde foi conduzido o estudo. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	24
<b>Figura 2.</b> Arranjo dos vasos na área experimental. Catolé do Rocha - PB, 2016 .....	26
<b>Figura 3.</b> Adubação em planta de mamoeiro. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	27
<b>Figura 4.</b> Aplicação do brassinosteróide em mamoeiro, dentro da câmara de pulverização (A), utilizando um pulverizador manual (B). Catolé do Rocha, PB, 2016.....	28
<b>Figura 5.</b> Esquema representativo da preparação do material vegetal pós coleta para a realização das análises bioquímicas. AST: Açúcares solúveis totais; AR: Açúcares redutores; ANR: Açúcares não-redutores; AALT: Aminoácidos livres totais; Prolina; Glicina-betaína; Proteínas; Clorofila total, <i>a</i> , <i>b</i> e Carotenoides.....	30
<b>Figura 6.</b> Altura (A; B) e diâmetro do caule (C; D) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. .	37
<b>Figura 7.</b> Área foliar (A; B) e número de folhas (C; D) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. .	39
<b>Figura 8.</b> Volume da raiz (A; B) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	40
<b>Figura 9.</b> Raízes de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016 .....	41
<b>Figura 10.</b> Massa seca do caule (A; B) e da raiz (C; D) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. .	43
<b>Figura 11.</b> Conteúdo relativo de água (A; B) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	45
<b>Figura 12.</b> Percentual de umidade da folha (A; B), caule (C; D) e raízes (E; F) em plantas de mamoeiro sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. ....	46

<b>Figura 13.</b> Conteúdo de açúcares solúveis totais (A; B), açúcares redutores (C; D) e não-redutores (E; F) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. ....	49
<b>Figura 14.</b> Concentração de proteínas solúveis totais (A; B) e aminoácidos livres totais (C; D) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	51
<b>Figura 15.</b> Concentração de prolina (A; B) e glicina-betaína (C; D) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	52
<b>Figura 16.</b> Concentração de clorofila total (A; B), clorofila <i>a</i> (C; D) e <i>b</i> (E; F) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016. ....	54
<b>Figura 17.</b> Concentração de carotenoides (A, B) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha - PB, 2016.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS

%U – Percentual de umidade	<i>g</i> – Giros
AALT – Aminoácidos livres totais	GB – Glicina-betaína
AF – Área foliar	I – Irrigação
ANAVA – Análise de variância	LAPROV – Laboratório de tecnologias da
ANR – Açúcares não-redutores	produção vegetal
AP – Altura de planta	MF – Massa fresca
AR – Açúcares redutores	MS – Massa seca
AST – Açúcares solúveis totais	MSC – Massa seca do caule
BR – Brassinosteróide	MSR – Massa seca da raiz
CAR – Carotenoide	NC – Nervura central
CE – Condutividade elétrica	NF – Número de folhas
CRA – Conteúdo relativo de água	P.A. – Puro para análise
CT – Classificação textural	pH – Potencial hidrogeniônico
DAE – Dias após a emergência	PRO – Prolina
DAT – Dias após o transplante	PS – Porosidade do solo
DBC – Delineamento de blocos casualizados	PST – Proteínas solúveis totais
DC – Diâmetro do caule	RAS – Relação de absorção de sódio
dS – Decisiemens	SBCS – Sistema brasileiro de classificação de solos
DS – Densidade do solo	TRIS – Tris (hidroximetil) aminometano
Eq – Equação	V/V – Volume por volume
ET <sub>0</sub> – Evapotranspiração de referência	VR – Volume da raiz

## RESUMO

SILVA, JENEILSON ALVES, M.Sc. Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão, fevereiro 2017. **Atuação do brassinosteróide no crescimento de mamoeiro sobre déficit hídrico**. Campina Grande, PB, 2017. Pg. 77. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. D.Sc. Josemir Moura Maia, Coorientador: Prof. D.Sc. Alberto Soares de Melo.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mamão (*Carica papaya* L.). Na região Nordeste concentram-se mais da metade da produção nacional. Todavia, um dos principais fatores limitantes da produtividade dessa cultura nessa região é a irregularidade das chuvas. Nesse contexto, objetivou-se com esse estudo avaliar a ação do brassinosteróide diante das características de crescimento e mecanismos osmóticos no mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido em campo experimental na Universidade Estadual da Paraíba, município de Catolé do Rocha-PB, utilizando sementes da cultivar Hawaii. Foram testadas cinco lâminas de irrigação (60; 80; 100; 120 e 140% da evapotranspiração de referência) e três concentrações de brassinosteróide (0; 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>), utilizando delineamento em blocos ao acaso, no esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições. Aos 120 dias após emergência foram analisadas as características de crescimento e bioquímicas, sendo submetidos à análise de variância pelo teste F, até ( $p \leq 0,05$ ) e para os fatores quantitativos foram realizadas análises de regressão polinomial. Foi constatado que o brassinosteróide influenciou no crescimento do mamoeiro, principalmente, nos meristemas secundários. O conteúdo de aminoácidos livres foi reduzido e houve um aumento no teor de proteínas solúveis com o incremento da irrigação e aplicação do hormônio. Assim, o mamoeiro pode ser irrigado durante a fase vegetativa, adotando 80% da evapotranspiração de referência, quando tratado com a dose de 0,5 mg L<sup>-1</sup> de BR, fato esse verificado principalmente pela análise das características de crescimento do diâmetro de caule, área foliar, massa seca do caule e volume de raiz. Como também pelo aumento de carboidratos não-redutores, proteínas solúveis e o teor de clorofilas.

**Palavras-chave** – *Carica papaya* (L.); osmorregulação; estresse hídrico; irrigação.

## ABSTRACT

SILVA, JENEILSON ALVES, M.Sc. Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão, fevereiro 2017. **Brassinosteroid performance in the growth of papaya on water deficit.** Campina Grande, PB, 2017. Pg. 77. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. D.Sc. Josemir Moura Maia, Coorientador: Prof. D.Sc. Alberto Soares de Melo.

Brazil is one of the world's largest producers of papaya (*Carica papaya* L.). In the Northeast region, more than half of the national production is concentrated. Nevertheless, one of the main limiting factors of the productivity of this culture in this region is the irregularity of the rains. In this context, the objective of this study was to evaluate the brassinosteroid action under the growth characteristics and osmotic mechanisms in the papaya cultivated under irrigation slides. The experiment was conducted in an experimental field at the State University of Paraíba, Catolé do Rocha-PB municipality, using seeds of the cultivar Hawaii. Were tested five irrigation slides (60, 80, 100, 120 and 140% of reference evapotranspiration) and three brassinosteroid concentrations (0, 0.5 and 1.0 mg L<sup>-1</sup>) using a randomized block design, In the 5 x 3 factorial scheme, with four replicates. At 120 days after emergence, the growth and biochemical characteristics were analyzed, being analyzed by F test until ( $p \leq 0.05$ ) and for the quantitative factors polynomial regression analyzes were performed. It was observed that the brassinosteroid influenced the growth of papaya, mainly in the secondary meristem. It was observed that the brassinosteroid influenced the growth of papaya, mainly in the secondary meristem. The content of free amino acids was reduced and there was an increase in soluble protein content with increased irrigation and application of the hormone. Thus, papaya can be irrigated during the vegetative phase, adopting 80% of the reference evapotranspiration when treated with the dose of 0.5 mg L<sup>-1</sup> of BR, a fact verified mainly by the analysis of the growth characteristics of stem

diameter, leaf area, dry stem mass and root volume. As well as the increase of non-reducing carbohydrates, soluble proteins and the chlorophyll content.

**Keywords** - *Carica papaya* (L.); Osmoregulation; hydric stress; irrigation.

## 1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) pertence à família *Caricaceae* e é uma das culturas mais importantes e amplamente distribuídas nos países tropicais e subtropicais (USDA, 2015). O Brasil destaca-se mundialmente como sendo o segundo maior produtor de mamão, com participação de 1,5 mil toneladas numa área de 30.445 ha, superado apenas pela Índia (FAO, 2014; IBGE, 2015).

No Brasil é cultivado praticamente em quase todo o território e quantitativamente as regiões Sudeste e Nordeste são as mais expressivas, juntas produzem 95,5% da produção nacional, destacando-se os estados da Bahia e Espírito Santo como os principais produtores. Particularmente no estado da Paraíba, a cultura do mamoeiro, tem alcançado produtividade em torno de 39,9 t ha<sup>-1</sup> numa área total de 772 ha (IBGE, 2015). Ao se tratar da região Nordeste, mais de 60% do seu território é ocupado por áreas com clima semiárido caracterizado por haver baixas precipitações pluviométricas e altas taxas de evaporação, que ocasionam déficit hídrico, fator que limita o crescimento e o desenvolvimento das culturas (MEDEIROS et al., 2012).

A água é o principal constituinte das plantas e uma pequena redução na disponibilidade de água no solo pode afetar drasticamente seu metabolismo (TAIZ e ZEIGER, 2013). A importância da água para o mamoeiro relaciona-se tanto à sua falta quanto ao seu excesso. Quanto ao estresse por seca, as alterações morfológicas mais comuns são a redução da área foliar e o fechamento estomático. A restrição hídrica também favorece a produção de flores masculinas e estéreis, o que diminui a produção de frutos (DAMASCENO JUNIOR et al., 2008). Nesse sentido, a deficiência hídrica é um dos estresses abióticos mais limitantes ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas (Melo et al., 2010), pois afeta as relações hídricas nas plantas e modifica seu metabolismo. Assim, os efeitos do déficit hídrico sobre os

vegetais são evidentes em todos os seus estádios fenológicos, e podem variar em função da severidade e duração do estresse (FAROOQ et al., 2009).

No entanto, as plantas desenvolveram mecanismos para evitar os efeitos osmóticos do estresse hídrico. Entre eles se destaca os solutos orgânicos, incluindo açúcares, prolina e glicina-betaína. Esses solutos além do ajustamento osmótico, desempenham um papel na estabilização de enzimas/proteínas (BOHNERT e JENSEN, 1996; LISAR et al., 2012). Sabe-se também, que vários hormônios estão envolvidos na modulação da resposta das plantas ao estresse, com destaque para os brassinosteróides (BR). Este composto atua como indutor de resistência e promove, inibe ou modifica os processos fisiológicos das plantas submetidas à deficiência hídrica (SHARMA et al., 2007; GONÇALVES, 2015).

O BR é um tipo de fitormônio com influência significativa na promoção do crescimento e está associado a vários processos fisiológicos, dentre eles a melhora da resposta a diversos estresses abióticos, devido ao fato de estar envolvido na ativação dos mecanismos de proteção contra estresses oxidativos e na alteração estrutural e permeabilidade das membranas celulares. Ele é eficiente em incrementar a resistência, principalmente a altas temperaturas, seca e salinidade (VARDHINI, 2012).

Devido à grande importância do mamoeiro no cenário nacional e mundial, torna-se evidente que se busquem meios necessários à maior tolerância ao déficit hídrico dessa cultura. Na atualidade, inúmeras pesquisas relatam os efeitos benéficos do brassinosteróide em algumas culturas de importância econômica, a exemplo da cultura da soja, milho, sorgo, dentre outras. De acordo com Zhang et al. (2008), o BR aplicado no início da floração em plantas de *Glycine max* L. submetidas a estresse hídrico, aumentou a tolerância à seca e as perdas de rendimento foram minimizadas. Também foi identificado que a aplicação exógena de BR aliviou os efeitos negativos da seca em milho (*Zea mays*), reforçando as atividades enzimáticas antioxidantes e os teores de proteínas, água e prolina (ANJUM et al., 2011).

Pelo exposto, acredita-se que o BR tem grande potencial para ser utilizado no mamoeiro, minimizando os efeitos dos estresses abióticos. No entanto, a maioria dos resultados obtidos até o momento são oriundos de outros países ou em condições muito diferentes das encontradas no semiárido brasileiro. Assim, devido à carência de resultados de pesquisa com o mamoeiro no que tange sua tolerância à seca, tornam-se necessários estudos que levem em conta os aspectos de crescimento e bioquímicos da frutífera em destaque, em diferentes regimes hídricos, utilizando de recursos como o fitormônio BR que, possivelmente, possa contribuir com a maior eficiência do uso da água no cultivo e na viabilidade dessa cultura no ambiente de semiárido.

### **1.1. Objetivo geral**

Avaliar a ação do brassinosteróide no crescimento e aspectos bioquímicos durante a fase vegetativa de plantas de mamoeiro cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação no semiárido paraibano.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sob componentes de crescimento em plantas de mamoeiro durante a fase vegetativa tratadas com brassinosteróide.
- Analisar os efeitos de níveis de brassinosteróide sob componentes de crescimento em plantas de mamoeiro durante a fase vegetativa em diferentes lâminas de irrigação.
- Determinar o teor de osmoprotetores (Açúcares solúveis totais, Redutores e Não-redutores; Aminoácidos livres; Prolina e Glicina-betaína) em plantas de mamoeiro submetida a lâminas de irrigação e tratamento com brassinosteróide.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos botânicos e econômicos do mamoeiro

O mamoeiro pertence à classe *Eudicotyledoneae*, ordem *Brasicales*, família *Caricaceae* e gênero *Carica* (USDA, 2015). O fruto do mamoeiro é descrito por Badillo (1993) como ovóide, esférico, polpa alaranjada ou avermelhada. As sementes são pequenas, 5 a 7 mm, sarcotesta mucilaginosa, com numerosas protuberâncias, em formas de cristas meridianas agudas e irregulares. O embrião é reto, com cotilédones ovóides e achatados, circundados por endosperma carnoso. A germinação é relativamente rápida (duas a três semanas) e epígea.

O Brasil é o segundo maior produtor de mamão com mais de 1,4 milhão de toneladas anual, numa área da ordem de 30,3 mil hectares de área cultivada (FAO, 2014; IBGE, 2015). O mamão é cultivado em quase todos os estados da federação. Na região Nordeste concentram-se 57% da área de cultivo do País, correspondendo em torno de 64% da produção nacional. O estado da Paraíba, notadamente do mamoeiro do grupo “Solo”, vem merecendo destaque, com produtividade em torno de 39,9 t ha<sup>-1</sup> numa área de 772 ha (IBGE, 2015). Os principais fatores limitantes para essa cultura agrícola na região Nordeste, especificamente na área semiárida, são a escassez e a irregularidade das chuvas (LIMA et al., 1999).

### 2.2. Condições edafoclimáticas

O mamoeiro é uma planta tropical que se adapta mais adequadamente em regiões de clima quente e úmido. A temperatura média ideal para o cultivo se situa em torno de 20 °C, umidade relativa do ar entre 60 e 85% e altitude de até 200 metros (OLIVEIRA et al., 1994).

Marin et al. (1995) afirmaram que solos profundos, bem drenados, ricos em matéria orgânica, com textura arenosa argilosa e pH variando entre 5 e 7, contribuem para o bom desenvolvimento da cultura. Quanto ao consumo de água pelo mamoeiro, Coelho et al. (1999) informaram que varia de 2 a 4 mm dia<sup>-1</sup> até 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup>. Essa informação é compatível com as contidas em Oliveira et al. (1994), ao afirmarem que o consumo anual da cultura varia de 1200 e 3125 mm.

Contudo, para se obter alta produtividade e boa qualidade dos frutos do mamoeiro, é necessário um conjunto de fatores, como luz, temperatura, solo, CO<sub>2</sub>, água e nutrientes. A ação conjunta desses fatores influenciará nas taxas de crescimento e de produtividade, garantindo o desenvolvimento e a qualidade dos frutos (MARTINS e COSTA, 2003).

Alguns autores observaram a ação do déficit hídrico nas trocas gasosas e nas relações hídricas do mamoeiro (MARLER e MICKELBART, 1998; GOMES et al., 2013). Nesses trabalhos foram observadas uma rápida queda da condutância estomática quando as plantas de mamoeiro foram submetidas ao déficit hídrico. Além disso, Gomes et al. (2013) observaram ainda que o mamoeiro não apresentou redução no teor relativo de água, indicando uma manutenção do status hídrico da folha nessas condições.

### **2.3. Irrigação do mamoeiro**

Uma das características morfológicas mais sensíveis à deficiência hídrica é o crescimento celular. Quando o conteúdo de água em um tecido ou célula está abaixo do conteúdo mais alto, exibido no estado de maior hidratação, a planta se encontra em déficit hídrico, que pode provocar vários efeitos sobre o crescimento, principalmente no consumo de assimilados das folhas em expansão e na fotossíntese, que em geral, é proporcional a área foliar, prejudicando tanto o crescimento inicial das plantas como os estádios mais tardios, refletindo em limitações na área foliar e no número de folhas, além de acelerar a senescência e a abscisão das folhas e afetar o número e as taxas de crescimento dos ramos e o crescimento do caule (TAIZ e ZEIGER, 2013). Sousa et al. (2002) ressaltaram que a utilização adequada da água em cultivos irrigados, entre outros fatores, tem condicionado aos produtores a garantia da produção.

O cultivo do mamão responde, significativamente, à irrigação suplementar nas regiões com precipitações inferiores a 1.500 mm por ano, ou mesmo com precipitações superiores, mas distribuídas irregularmente. Em regiões com precipitações anuais inferiores a 1.000 mm, o uso da irrigação é fundamental ao cultivo racional e econômico do mamoeiro (BERNARDO et al., 1996). Em regiões onde ocorrem veranicos prolongados, a cultura não apresenta rendimentos satisfatórios sem o uso da irrigação (COELHO et al., 2003).

Sabe-se, entretanto, que no Nordeste brasileiro o recurso água é limitado em condições distintas do ano e a distribuição das chuvas, na maioria dos estados, não supre adequadamente as necessidades hídricas das culturas, durante todo o período, necessitando-se de irrigação como forma de aumentar a expressão produtiva e atender as exigências hídricas do mamoeiro (DOOREMBOS, 1994).

#### **2.4. Estresse hídrico em plantas**

O estresse hídrico é um fator externo que exerce uma influência desvantajosa para a planta (TAIZ e ZEIGER, 2013). Com o estresse ocorre uma defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo e com isso tem-se um desvio significativo das condições ótimas, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis em princípio, mas podem se tornar permanente (NASCIMENTO et al., 2011).

Comumente espera-se que plantas submetidas a um estresse apresentem características como baixas taxas de crescimento e de fotossíntese, menor capacidade de assimilação de recursos e de renovação de constituição dos tecidos. Entretanto, esses fatores juntos determinam que as plantas busquem em seu aparato fisiológico e bioquímico mecanismo que lhes confirmem resistência para se desenvolverem em ambientes extremos (ASHRAF e HARRIS, 2013).

O estresse hídrico é considerado um dos fatores limitantes para o desenvolvimento das plantas, com isso os vegetais desenvolvem mecanismos para tolerar a deficiência hídrica no solo (ALVARENGA et al., 2011). No entanto as plantas desenvolveram mecanismos complexos para evitar os efeitos osmóticos do estresse hídrico, sendo um deles o ajustamento osmótico (Rhein et al., 2011; Taiz e Zeiger, 2013), tornando possível a manutenção da absorção de água e da pressão de turgescência da célula, o que contribui para a manutenção de processos fisiológicos, tais como: abertura estomática, fotossíntese, alongamento e divisão celular. Representando assim um importante mecanismo de aclimação das plantas as condições de baixa disponibilidade hídrica (SERRAJ e SINCLAIR, 2002).

A capacidade das plantas de se ajustar osmoticamente para suportar situação de deficiência hídrica é muito variável tanto entre espécies, como entre cultivares de uma mesma espécie. A primeira resposta de todas as plantas a uma deficiência hídrica aguda é o fechamento dos seus estômatos para prevenir a perda de água. Essa ação fornece prevenção às plantas contra a desidratação nociva, mas, em contrapartida resulta em reduções na absorção de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese (OZFIDAN et al., 2013).

## 2.5. Acúmulo de solutos no ajustamento osmótico

Inúmeras substâncias possuem função osmoprotetora, os quais compartilham a propriedade de permanecerem invariáveis em pH neutro e serem altamente solúveis em água, contribuindo dessa forma para o ajustamento osmótico celular (HASEGAWA et al., 2000).

Os solutos orgânicos são compostos bastante solúveis, de baixo peso molecular e que não apresentam toxicidade quando em elevadas concentrações no interior das células (ASHRAF e FOOLAD, 2007). A primeira função desses solutos é evitar a perda de água, mantendo a turgescência e o gradiente de absorção de água pela célula (LISAR et al., 2012). Entre os compostos orgânicos, a prolina, a glicina-betaína e os carboidratos são os solutos orgânicos mais comumente acumulados em plantas em condições de estresse (ASHRAF et al., 2011). Esses solutos além do ajustamento osmótico, desempenham um papel na estabilização de enzimas/proteínas e na proteção da integridade da membrana (BOHNERT e JENSEN, 1996).

A prolina livre é um “ $\alpha$ -aminoácido”, que possui um grupo amino ligado a dois átomos de carbono e sua principal característica como osmoprotetor deve-se à redução do potencial osmótico da célula, mantendo equilíbrio hídrico entre o vacúolo e o citoplasma (KAVI KISHOR et al., 2005; ASHRAF et al., 2011). Vários trabalhos evidenciam que o acúmulo de prolina livre constitui-se em um critério para estudos de tolerância à seca, sendo este osmoprotetor utilizado como indicador bioquímico-fisiológico de estresse hídrico (DIAS, 2014; COSTA, 2016).

A glicina-betaína é um composto de amina quaternária. Seu acúmulo ocorre nos cloroplastos e sua concentração é correlacionada com o nível de tolerância da planta (BRAY et al., 2000; KHOLOVA et al., 2010). Conforme Sakamoto e Murata (2000), algumas plantas acumulam quantidades significativas de glicina-betaína em resposta à alta salinidade, frio e a seca. As plantas quando submetidas às condições de estresse hídrico necessitam diminuir o potencial osmótico intracelular para tolerar tal condição. Esse osmólito participa como osmoprotetor, estabilizando a estrutura das proteínas e da membrana celular. O principal papel da glicina-betaína é o de proteção das células vegetais por meio da preservação do balanço osmótico, da estabilização da estrutura de proteínas e da proteção do aparato fotossintético (CHA-UM et al., 2006).

## 2.6. Pigmentos fotossintéticos

As clorofilas são moléculas complexas ajustadas para as funções de absorção de luz e transferência de energia. São construídas por uma rota de síntese em que se empregam moléculas

simples para a montagem de moléculas complexas. A clorofila *a* é essencial para a produção de oxigênio, é o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica, enquanto os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (TAIZ e ZEIGER, 2013). A clorofila *b* é considerada pigmento acessório, quando essa molécula absorve a luz, a energia é transferida para a molécula de clorofila *a*, que então, a transforma em energia química durante a fotossíntese (RAVEN et al., 1999; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Os carotenoides são encontrados em todos os organismos fotossintéticos e desempenham papel essencial na fotoproteção. Tal mecanismo, atua liberando o excesso de energia antes que possa danificar o organismo. O oxigênio singlete formado a partir da reação de clorofilas excitadas e o oxigênio molecular, encontra-se altamente reativo, danificando muitos componentes celulares, principalmente os lipídeos, sendo os carotenoides responsáveis pela ação protetora por não possuir energia suficiente para formar o oxigênio singlete, retornando à sua forma inicial perdendo energia na forma de calor (TAIZ e ZEIGER, 2013).

## **2.7. Os fitormônios e sua importância na resposta à seca**

Hormônio vegetal é um composto orgânico sintetizado em uma parte da planta e translocado para outra parte. Vários hormônios estão envolvidos na modulação da resposta das plantas ao estresse, incluindo os brassinosteróides (BR), estes, são um tipo de fitormônios esteróides com influência significativa que promove o crescimento (VARDHINI, 2012; BAJGUZ e PIOTROWSKA-NICZYPORUK, 2014). Segundo Gomes (2011), estas substâncias têm efeitos biológicos em baixas concentrações, sendo sintetizadas em diferentes órgãos das plantas. Esses hormônios são eficientes em aumentar a resistência a altas temperaturas e seca.

A aplicação exógena do brassinosteróide foi testada em diferentes culturas agrícolas com a finalidade de compreender os mecanismos de ação deste composto em diferentes estádios de desenvolvimento de diferentes espécies. Em plantas de pepino (*Cucumis sativus*) tratadas com BR, foi verificada resistência das plantas à seca (PUSTOVOITOVA et al., 2001). Em soja (*Glycine max* L.), aplicação de BR no início da floração em plantas submetidas a estresse hídrico, aumentou a tolerância à seca e as perdas de rendimento foram minimizadas (ZHANG et al., 2008). Aplicação exógena de BR aliviou os efeitos negativos da seca em milho (*Zea mays*), reforçando as atividades enzimáticas antioxidantes e os teores de proteínas, água e prolina (ANJUM et al., 2011). Também a aplicação de BR melhorou a tolerância à seca em arroz (*Oryza sativa*) associado à maior potencial de água dos tecidos, aumento da síntese de metabólitos e aumento da capacidade do sistema antioxidante (FAROOQ et al., 2010). Na cultura do mamão

(*Carica papaya* L.), Gomes et al. (2013) utilizando seca e irrigação, relataram aumento na área foliar e massa seca da planta com a aplicação exógena do BR.

Apesar dos exemplos mencionados, são escassos os trabalhos relatando os efeitos dos BRs, em especial o epibrassinolídeo, na cultura do mamoeiro na região semiárida do Brasil, onde a ocorrência de períodos longos de déficit hídrico é frequente, tornando-se necessário pesquisar meios de manutenção da produtividade dessa cultura e sua tolerância à seca.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização do local da pesquisa

A pesquisa foi realizada no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, município de Catolé do Rocha, PB. A cidade está situada a 6° 21' de latitude S e 37° 48' de longitude O, a uma altitude de 250 m (Figura 1). O clima da região é do tipo BSw'h', segundo classificação de Köppen, caracterizando-se por ser semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação.

A temperatura média anual do referido município é de 27 °C e precipitação média é de 870 mm, com período chuvoso concentrado entre os meses de fevereiro a maio (INMET, 2016). O solo local é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (SANTOS et al., 2006).



**Figura 1.** Mapa com destaque do município onde foi conduzido o estudo. Catolé do Rocha, PB, 2016. (Fonte: Embrapa solos do Nordeste, 1972).

### 3.2. Delineamento experimental

O estudo compreendeu a combinação dos fatores Irrigação (I) e Brassinosteróide (BR). O fator I foi constituído de cinco lâminas de irrigação de acordo com a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), (60; 80; 100; 120 e 140%) e o fator BR foi constituído de três concentrações do hormônio Brassinosteróide (0; 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>) adaptado de Gomes et al. (2013), utilizando delineamento em blocos ao acaso (DBC), no esquema fatorial 5 x 3 com quatro repetições. A parcela foi constituída por 2 plantas totalizando 120 unidades experimentais. Cada unidade foi constituída de um vaso de material polimérico sintético com volume de 20 L de substrato padronizado na cor alumínio.

### 3.3. Atributos físicos e químicos do solo

O solo utilizado como substrato para o enchimento dos vasos foi classificado como Neossolo Flúvico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (SANTOS et. al., 2006). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo, na camada de 0-20 cm, onde foram enviadas e analisadas em laboratório para determinação dos atributos físicos (Tabela 1) e químicos (Tabela 2).

**Tabela 1.** Caracterização física do solo na camada de 0-20 cm. Catolé do Rocha-PB, 2016.

Granulometria			Umidade		Porosidade	DS	DP	CT	
Areia	Silte	Argila	Natural	0,33 atm	15,0 atm				
-----%-----						-----g/cm <sup>3</sup> -----			
93,18	6,04	0,48	0,65	4,38	2,36	44,88	1,50	2,72	Areia

DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partículas; CT = Classificação Textural.

**Tabela 2.** Caracterização química do solo na camada de 0-20 cm. Catolé do Rocha-PB, 2016.

CE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	C	MO	N <sub>2</sub>	pH
mmhos/cm	-----meq/100g de solo-----					mg/100g	-----%				(1:2,5)
0,09	0,04	0,19	0,00	0,00	1,64	0,60	3,57	0,09	0,15	0,01	7,51

CE = Condutividade Elétrica; MO = Matéria Orgânica. Laboratório de Irrigação e Salinidade - UFCG.

### 3.4. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos, sob condições de campo, no período compreendido entre os meses de maio a dezembro de 2016, sendo distribuídos em uma área de aproximadamente 400 m<sup>2</sup>, com espaçamento de 1,0 m entre os vasos (Figura 2).



**Figura 2.** Arranjo dos vasos na área experimental. Catolé do Rocha-PB, 2016. Foto: J. A. Silva.

O preparo do substrato para a germinação do mamoeiro foi realizado utilizando-se o solo local + esterco bovino curtido, numa proporção de 1:1 e acondicionados em vasos descartáveis com capacidade de 350 cm<sup>3</sup>. As sementes utilizadas na semeadura foram da cultivar Hawaii, certificadas e com taxa de germinação de 74% e pureza de 99,9% da marca comercial ISLA<sup>®</sup>. O semeio foi realizado utilizando 3 sementes/vaso, com início da germinação a partir de 7 dias. A necessidade hídrica da cultura foi suprida de forma manual, com água fornecida por meio de um regador duas vezes ao dia até atingirem o tamanho ideal para transplante.

Os vasos definitivos do mamoeiro foram preparados com uma camada de brita para facilitar a drenagem do excesso de água e preenchidos apenas com solo local, nesse primeiro instante foi realizada uma irrigação até o ponto de drenagem. Aos 30 dias após a emergência (DAE) as mudas foram transplantadas para os vasos definitivos.

A partir das análises químicas do solo, foram aplicados fósforo e nitrogênio na forma de fosfato monoamônico (MAP) e potássio na forma de cloreto de potássio (KCl). A adubação foi feita em cobertura (Figura 3), fracionados em três aplicações aos 30, 45, 60 e 90 DAE de acordo com recomendações técnicas (OLIVEIRA, et al, 2004).



**Figura 3.** Adubação em plantas de mamoeiro. Catolé do Rocha, PB, 2016. Foto: J. A. Silva.

### 3.5. Irrigação e tratos culturais

A água utilizada na irrigação foi captada de um poço amazonas próximo ao setor experimental. Antes da instalação do experimento, foi coletada amostras de água e enviada para análise em laboratório (Tabela 3). A irrigação foi realizada diariamente de forma manual com auxílio de uma proveta graduada utilizando 100% da  $ET_0$  e, aos 60 dias após o transplante (DAT) foram diferenciadas as lâminas de irrigação de acordo com os tratamentos adotados. Os dados da  $ET_0$  foram coletados diariamente em um tanque classe A contido na Estação Agrometeorológica automatizada, próximo à área experimental.

**Tabela 3.** Caracterização química da água de poço amazonas, utilizada para o manejo de irrigação na cultura do mamoeiro. Catolé do Rocha, 2016.

pH	CE	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	RAS
	dS m <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----								mmolc L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
7,3	0,75	23	15,6	40	0,02	39	5,7	38,5	Ausente	

Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Os tratos culturais constaram de controle das ervas invasoras de forma manual, à medida em que surgiam. Já para o manejo de pragas e doenças foram feitas aplicações preventivas de fungicida e acaricida de acordo com recomendações técnicas (SANCHES e DANTAS, 1999).

### 3.6. Preparo e aplicação do Brassinosteróide (BR)

O hormônio utilizado foi um análogo do brassinosteróide ( $C_{28}H_{48}O_6$ ) (epibrassinolide) da marca comercial SIGMA<sup>®</sup>, dissolvido em etanol para obter a solução estoque e posteriormente diluído em água destilada para as concentrações de acordo com os tratamentos adotados (YUAN et al., 2010). O hormônio foi aplicado aos 60 DAT por meio de pulverizações na parte abaxial e adaxial das folhas até o ponto de escorrimento (Figura 4A), com o auxílio de um pulverizador manual durante dois dias consecutivos às 17 h (Rodríguez et al., 2006), dentro de uma câmara plástica para evitar contaminação das plantas adjacentes no momento da aplicação (Figura 4B). As plantas que não receberam o hormônio foram pulverizadas apenas com água destilada.



**Figura 4.** Aplicação do brassinosteróide em mamoeiro, dentro da câmara de pulverização (A), utilizando pulverizador manual (B). Catolé do Rocha, PB, 2016. Foto: J. A. Silva.

### 3.7. Características Analisadas

#### 3.7.1. Componentes de crescimento

As avaliações referentes aos componentes de crescimento na cultura do mamoeiro foram analisadas aos 90 DAT conforme resultados obtidos através da altura da planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), volume radicular (VR) e área foliar (AF).

A altura da planta, obtida em cm, foi medida com auxílio de uma régua, tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada. A contagem das folhas foi feita considerando-se aquelas completamente expandidas e em estado funcional na planta. O diâmetro do caule foi realizado com o auxílio de um paquímetro digital considerando a uma altura aproximada de 2 cm do solo, entre a superfície do substrato e a primeira folha.

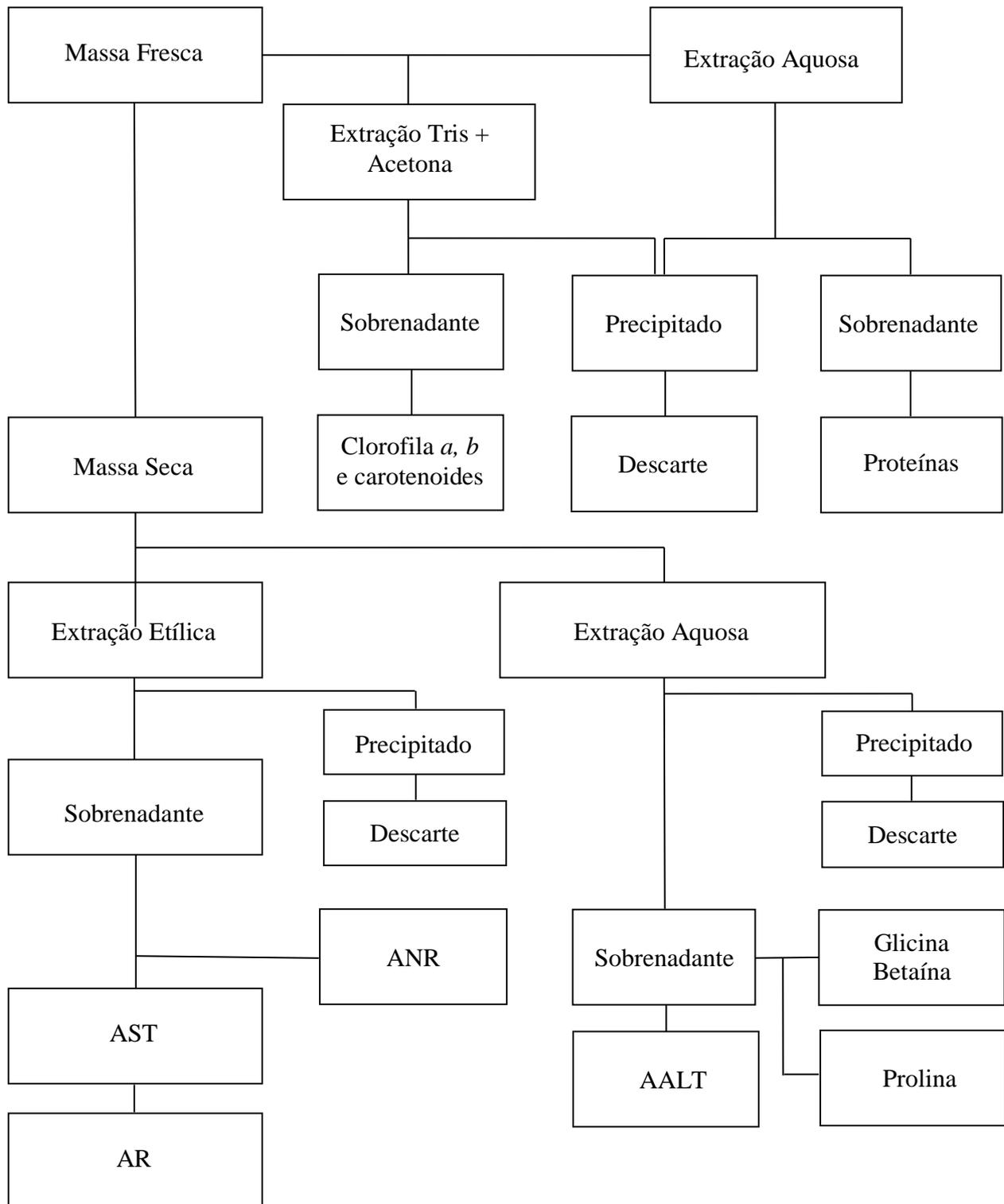
O volume radicular foi determinado com auxílio de uma proveta graduada de 500 mL contendo um volume conhecido de água, sendo a resposta obtida a partir da diferença direta do volume de raízes, pela equivalência de unidades (BASSO, 1999). Já a área foliar foi determinada por meio da equação proposta por Posse et al. (2009) e o resultado obtido em m<sup>2</sup>, posteriormente transformado para cm<sup>2</sup> (Equação 1). A área foliar total foi determinada multiplicando-se os valores da área de cada folha pelo número de folhas de cada planta.

$$AF = [0.4945 \times NC^{(0.0733 \ln DAE + 1.8486)}] \times 10^{-4} \quad (1)$$

Onde (AF) = Área foliar, (NC) = Nervura central da folha e (DAE) = Idade planta.

### 3.7.2 Indicadores do *status* hídrico

As plantas foram coletadas e separadas em folhas, caules e raízes. Após a separação, uma parte das folhas foi utilizada para determinação do conteúdo relativo de água (CRA) e percentual de umidade (%U); outra parte foi imediatamente congelada para quantificação dos teores de proteínas e pigmentos fotossintéticos. O restante do material foi desidratado em estufa de circulação forçada do ar na temperatura de 65 °C por 48 horas e após a secagem foi moído e peneirado. O pó resultante deste processo foi utilizado para a determinação dos demais osmólitos. O diagrama dos procedimentos realizados na preparação dos extratos para as análises bioquímicas está descrito na Figura 5.



**Figura 5:** Esquema representativo da preparação do material vegetal pós coleta para a realização das análises bioquímicas. AST: Açúcares solúveis totais; AR: Açúcares redutores; ANR: Açúcares não-redutores; AALT: Aminoácidos livres totais; Prolina; Glicina-betaína; Proteínas; Clorofila total, *a*, *b* e Carotenoides.

### **3.7.2.1. Conteúdo Relativo de Água (CRA)**

Para avaliar o conteúdo relativo de água (CRA) foi utilizada a metodologia descrita por Cairo (1995). Partes de folhas foram imediatamente pesadas em balança analítica. O valor obtido foi denominado de massa fresca ( $MF_1$ ). Após essa etapa, o material foi transferido para recipientes, contendo 250 mL de  $H_2O$  deionizada e mantido em repouso, com iluminação e temperatura ambiente (25 °C), durante 6 horas. Após o tempo decorrido, as partes foram secas em papel toalha e posteriormente pesadas, para quantificar a massa túrgida ( $MF_2$ ). Para determinar o valor da massa seca, as partes da planta foram transferidas para sacos de papel e colocados em estufa a 75 °C, com ventilação forçada de ar, por um período de 48 horas. Em seguida, foram pesadas e o valor obtido denominado de massa seca (MS). O conteúdo relativo de água foi calculado através da fórmula:  $CRA = (MF_1 - MS) / (MF_2 - MS) \times 100$ .

### **3.7.2.2. Percentual de umidade (%U)**

O percentual de umidade (%U) foi determinado segundo Slavick (1979). Foram coletadas e pesadas partes de folhas, caules e raízes para determinação de massa fresca (MF). Em seguida foram secas em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C até peso constante e pesadas para aferição de massa seca (MS) em balança de precisão de 0,0001 g. Para o cálculo utilizou a relação contida na fórmula:  $\%U = [(MF - MS) / MF] \times 100$ .

### **3.7.3. Características bioquímicas**

#### **3.7.3.1. Proteínas Solúveis Totais (PST)**

Para a extração de proteínas, amostras de 0,3 g de folhas frescas foram maceradas em almofariz dentro de gelo seguido da adição de tampão Tris-HCl 100 mM pH 8,0. Em seguida o extrato foi centrifugado a 14.000 g em temperatura a 4 °C durante 30 minutos. Para a quantificação retirou-se 100 uL do extrato e adicionou 2,5 mL do reagente de Bradford. Em seguida a solução foi agitada manualmente e delicadamente para evitar a desnaturação de proteínas e realizou-se leitura em espectrofotômetro a 595 nm de absorbância. O conteúdo de proteínas solúveis foi determinado conforme Bradford, (1976) e estimado com base em curva padrão utilizando albumina de soro bovino P.A.

### 3.7.3.2. Açúcares Solúveis Totais (AST)

A determinação do conteúdo de carboidratos foi realizada segundo protocolo de Dubois et al. (1956), o método de extração foi constituído em transferir 50 mg de massa seca para tubos de ensaio de 15 mL com tampa rosqueável. Adicionado 5 mL de etanol a 80% e incubado em banho maria a 100 °C por 1 hora. Passado esse tempo, foi coletado o sobrenadante, filtrado através de algodão e armazenado em congelador até a quantificação. Para a mensuração foi aplicado 0,5 mL do extrato em tubo de ensaio e adicionado 0,5 mL de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico. A determinação de AST foi realizada em espectrofotômetro a 490 nm e a concentração ( $\text{mg g}^{-1}$  MS) a partir de curva padrão de glicose.

### 3.7.3.3. Açúcares Redutores (AR) e Não-redutores (ANR)

Os carboidratos não-redutores foram determinados de acordo com PASSOS, (1996). O método de extração foi o mesmo utilizado na determinação dos AST. Para a quantificação foi necessária a preparação do reagente antrona segundo Morris (1948); Yemm e Willis (1954), onde o 0,1 g de antrona desidratada foi adicionada a 50 mL de ácido sulfúrico 90% (reação no escuro); e do reagente KOH 30%, onde foi pesado 30 g de KOH e diluído em 100 mL em água destilada. Para a determinação foi pipetado para tubos de ensaio 0,9 mL da amostra mais 0,1 mL de KOH 30% e incubadas a 100 °C por 10 minutos. Após o resfriamento foi adicionado 2,5 mL do reagente antrona. Após esse procedimento foi realizado a leitura em espectrofotômetro a 620 nm. A concentração de ANR ( $\text{mg g}^{-1}$  MS) foi determinada a partir de curva padrão de sacarose. Para a quantificação dos açúcares redutores foi realizado a subtração da quantidade de açúcares solúveis totais pela quantidade de açúcares não-redutores.

### 3.7.3.4. Aminoácidos Livres Totais (AALT)

O extrato foi obtido utilizando 50 mg da massa seca de folhas para 5 mL de água destilada, em tubos hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100 °C por 1 hora. Foi coletado o sobrenadante, filtrado e armazenado em *freezer* para posterior dosagem de osmorreguladores. A concentração de AALT foi determinada segundo o método descrito por Peoples et al. (1989) com algumas modificações. Alíquotas de 100  $\mu\text{L}$  do extrato foram colocadas em tubos de ensaio acrescidas de 400  $\mu\text{L}$  de água destilada. Em seguida foram adicionados 250  $\mu\text{L}$  de solução de Tampão Citrato a 200 mM (pH = 5,0) e 250  $\mu\text{L}$  de reagente de

ninhidrina. Os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e levados ao banho-maria a 100 °C por 15 minutos. Logo após, a reação da solução foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Por fim, foram adicionados à solução 1,5 mL de Etanol a 50% (v/v). Após nova agitação em vórtex, os tubos permaneceram por 20 minutos em temperatura ambiente para posterior leitura em espectrofotômetro a 570 nm de absorbância. A concentração de AALT (mg g<sup>-1</sup> MS) foi determinada a partir de curva padrão de glutamina.

### 3.7.3.5. Prolina (PRO)

Para a extração do extrato foi realizado o mesmo procedimento dos AALT. A concentração de prolina foi determinada segundo metodologia descrita por BATES et al. (1973). Em tubos de ensaio foram colocadas alíquotas de 1 mL do extrato e adicionado 1 mL do reagente de ninhidrina ácida, mais 1 mL de ácido acético glacial (98%). Após homogeneização os tubos foram hermeticamente fechados, agitados em vórtex e levados ao banho-maria por 1 hora a 100 °C. Logo após, a reação foi interrompida imediatamente com banho de gelo. Em seguida, foram adicionados à solução 2 mL de Tolueno (97%) e os tubos foram agitados em vórtex por 20 segundos. O cromóforo contendo tolueno foi aspirado da fase aquosa e realizado a leitura em espectrofotômetro a 520 nm, utilizando tolueno como padrão. A concentração de prolina (mg g<sup>-1</sup> MS) foi determinada a partir de curva padrão de L-prolina.

### 3.7.3.6. Glicina-betaína (GB)

O extrato foi obtido utilizando 25 mg da massa seca de folhas para 2 mL de água destilada, em tubos falcon e agitados no shacker por 4 horas a 25 °C. Em seguida, foram centrifugadas e o sobrenadante foi coletado e armazenado para posterior dosagem. Os compostos quaternários de amônio foram mensurados como equivalentes a GB de acordo com GRIEVE e GRATAN, (1983). Para quantificação, 250 µL de extrato + 250 µL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2N foram colocadas em tubos falcon no banho de gelo por 1 hora. Em seguida foi adicionado 200 µL de reagente (KI-I<sub>2</sub>) e as amostras foram mantidas a 4 °C por 16 horas. Em seguida, os tubos foram centrifugados a 10.000 x g por 15 min a 0 °C, fazendo 2 lavagens com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N. O sobrenadante foi cuidadosamente aspirado e os cristais foram dissolvidos em 1,2-dicloroetano e misturados vigorosamente. Após 2 horas de repouso, as absorbâncias foram mensuradas a 365 nm e para os cálculos foi utilizada uma curva padrão de glicina-betaína. Os resultados foram expressos em mg glicina-betaína g<sup>-1</sup> MS.

### 3.7.3.7. Clorofila *a*, *b* e carotenoides

O teor de clorofila total foi determinado segundo ARNON, (1949). Para a análise, folhas frescas foram pesadas e maceradas em almofariz a frio, na presença de solução acetona / tampão Tris (pH 7,8), na proporção de 8:2 (v/v), (SIMS e GAMON, 2002). O macerado foi centrifugado a 5.000 x g e o sobrenadante coletado. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 470, 537, 647 e 663 nm de absorbância. Os teores de clorofila total, *a*, *b* e carotenoides foram obtidos por meio das seguintes equações:

$$\text{Clorofila total} = 20,2 * A_{647} + 8,02 * A_{663}$$

$$\text{Clorofila } a = 0,01373 * A_{663} - A_{537} * 0,000897 - 0,003046 * A_{647}$$

$$\text{Clorofila } b = 0,02405 * A_{647} - A_{537} * 0,004305 - 0,005507 * A_{663}$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(A_{470} - (17,1 * (\text{Clorof } a + \text{Clorof } b) - 9,479 * \text{Antocianinas}))}{119,26}$$

Os resultados de clorofila total foram expressos em  $\mu\text{g g}^{-1}$  MS enquanto que os demais foram expressos em  $\text{mmol g}^{-1}$  MS, posteriormente convertidos para  $\text{mmol g}^{-1}$  MS.

### 3.8. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) pelo teste F. Para os fatores quantitativos foram realizadas análises de regressão polinomial com desdobramento de médias e para os dados qualitativos foi aplicado o teste de Tukey  $p \leq 0,05$  utilizando o software estatístico SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2000).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Componentes de crescimento

O estresse hídrico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento de diversas espécies. No presente estudo, pode-se verificar, diferença estatística significativa ( $p \leq 0,01$ ) nas características de crescimento do mamoeiro em função das diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Conforme a Tabela 4 observou-se efeito nos dois fatores estudados: irrigação (I) e brassinosteróide (BR) sobre a altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) área foliar (AF), volume da raiz (VR), massa seca do caule (MSR) e raiz (MSR), exceto no fator (BR) sobre o número de folhas. Por outro lado, verificou-se significância ( $p \leq 0,01$ ) nas interações entre os fatores (I x BR), apenas na massa seca do caule (MSC), denotando-se dependência do efeito de um fator sobre o outro nessa característica. Os coeficientes de variação ficaram entre 4,17 e 14,70, sendo considerado baixo e médio, respectivamente, em se tratando de ensaios em nível de campo (PIMENTEL-GOMES, 1990).

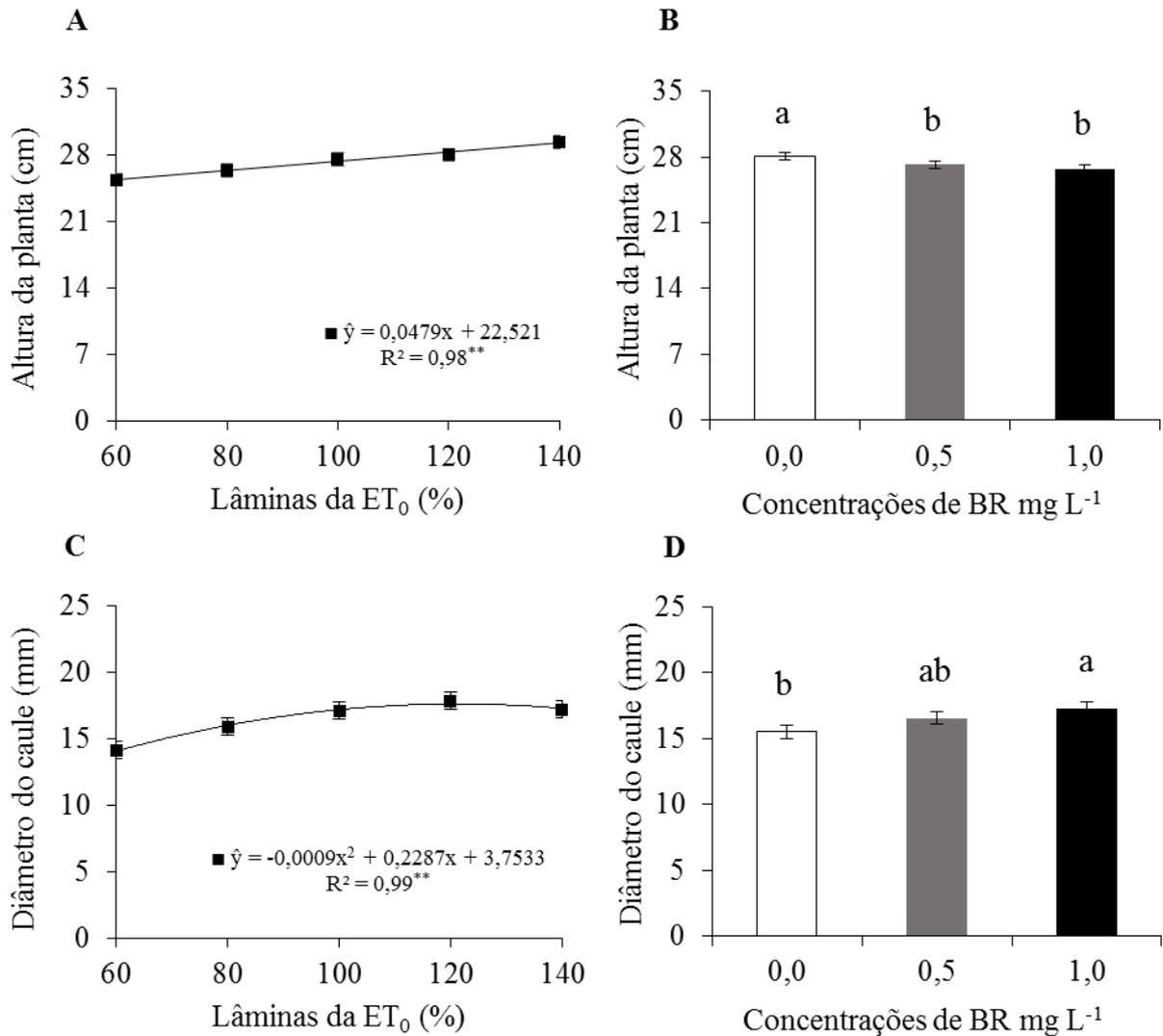
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente as características de crescimento em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios						
		AP	DC	NF	AF	VR	MSR	MSC
Irrigação (I)	4	27,93**	25,58**	43,80**	195198,10**	1294,42**	9,73**	4,79**
Linear	1	110,17**	77,44**	174,05**	774586,86**	5154,06**	37,66**	18,58**
Quadrática	1	0,002 <sup>ns</sup>	23,89**	0,33*	3589,37 <sup>ns</sup>	9,31**	0,30*	0,22**
Brass. (BR)	2	9,69**	15,16**	1,46 <sup>ns</sup>	24437,14**	216,85**	0,87**	0,42**
Int. (I x BR)	8	1,61 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	2308,93 <sup>ns</sup>	13,91 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,08**
Resíduo	42	1,29	0,99	0,47	1778,42	36,06	0,07	0,01
CV (%)		4,17	6,07	10,89	13,30	14,70	8,39	5,14
Médias		27,31	16,44	6,31	316,96	40,85	3,17	2,28
DMS		0,88	0,77	0,53	32,41	4,62	0,20	0,09

\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ); CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; AP = altura de planta; DC= diâmetro do caule; NF = número de folhas; AF = área foliar; VR = volume da raiz; MSR = massa seca da raiz e MSC = massa seca do caule.

Ao analisar a altura de planta (AP) do mamoeiro verificou-se que houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade para os fatores isolados (BR e I), sendo o modelo matemático linear o que apresentou melhor ajuste aos dados obtidos para essa característica. A Figura 6A ilustra a linha crescente da altura das plantas em função das lâminas de irrigação. Observou-se, portanto, que com o aumento da disponibilidade hídrica, houve acréscimo na altura de 0,99 cm por aumento unitário de cada lâmina, sendo que na aplicação da lâmina máxima (140%), possibilitou um incremento de 15,6% em relação aos valores encontrados na menor lâmina (60%). Com relação à aplicação do BR, notou-se que o hormônio influenciou negativamente sobre a altura da planta, sendo que quanto maior a dose desse fitormônio aplicado, menor foi a sua altura dentro das lâminas de irrigação. As maiores diferenças entre a dose 0 e 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR foram observadas nas lâminas 60, 80 e 100 % da ET<sub>0</sub>, onde houve um decréscimo na altura de 11,78%, 6,12% e 6,03% respectivamente (Figura 6B). Já para os resultados do efeito das lâminas de irrigação sobre o diâmetro do caule (DC) do mamoeiro, verificou-se que também houve efeitos isolados das lâminas de irrigação e das concentrações de BR. Para o fator irrigação, o modelo matemático quadrático foi o que apresentou melhor ajuste da curva. Observou-se ainda, que o diâmetro do caule das plantas aumentou com o incremento das lâminas de irrigação até o limite ótimo de 121,28% da ET<sub>0</sub> que proporcionou o diâmetro

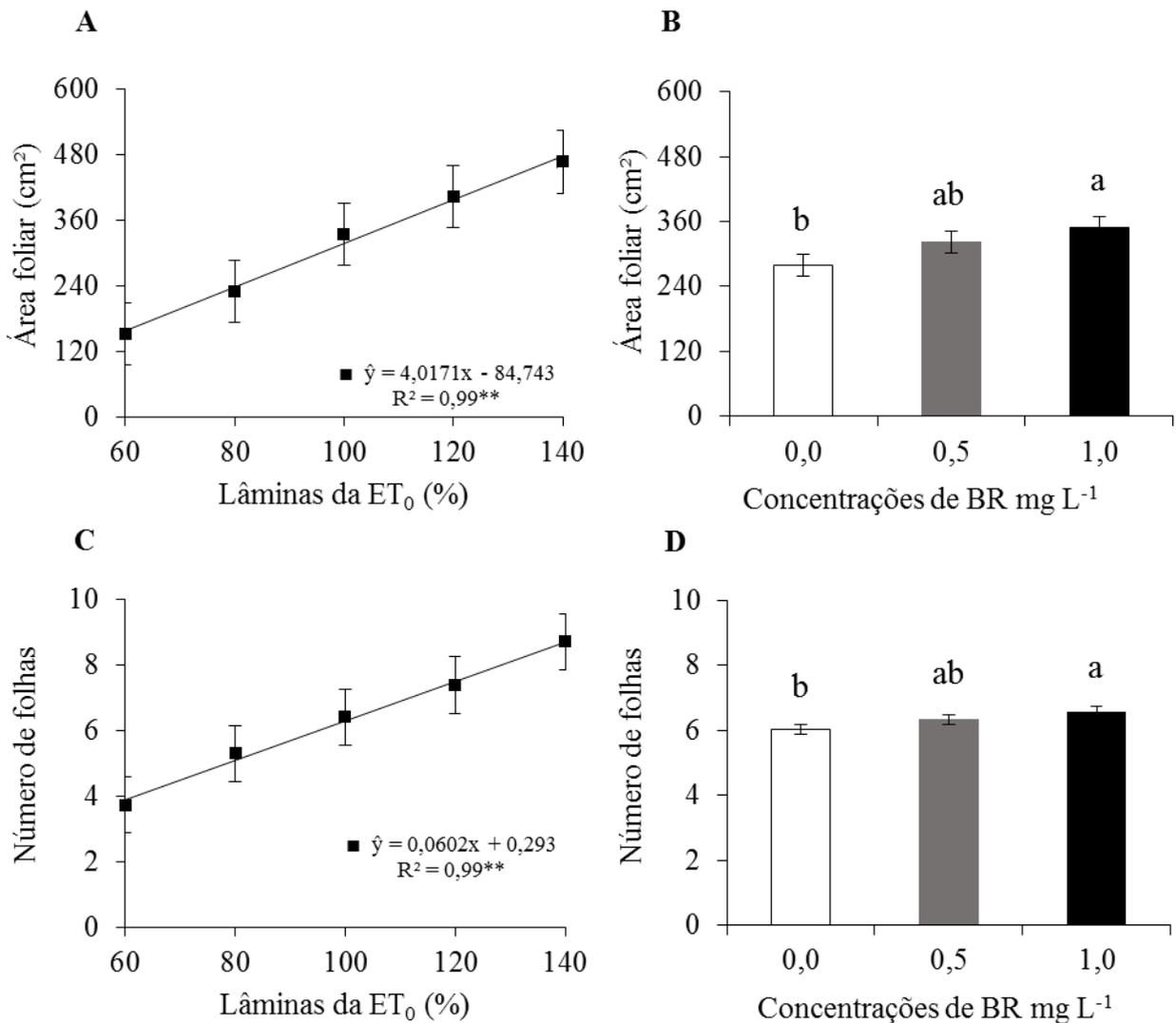
máximo de 18,25 mm (Figura 6C), obtendo assim um acréscimo de 26,24% em relação a menor lâmina (60%). Já para o fator BR, houve diferença significativa entre as médias do diâmetro de caule, onde a dosagem ótima e o diâmetro máximo obtido foram de 1,0 g L<sup>-1</sup> e 17,25 mm, respectivamente (Figura 6D). Comparando esse dado com as plantas que não receberam o BR (0,0 g L<sup>-1</sup>), verificou-se que o hormônio afetou o diâmetro do caule, com aumento significativo de 13,7%, o que correspondeu ao incremento de 2,23 mm de diâmetro por planta.



**Figura 6.** Altura (A; B) e diâmetro do caule (C; D) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

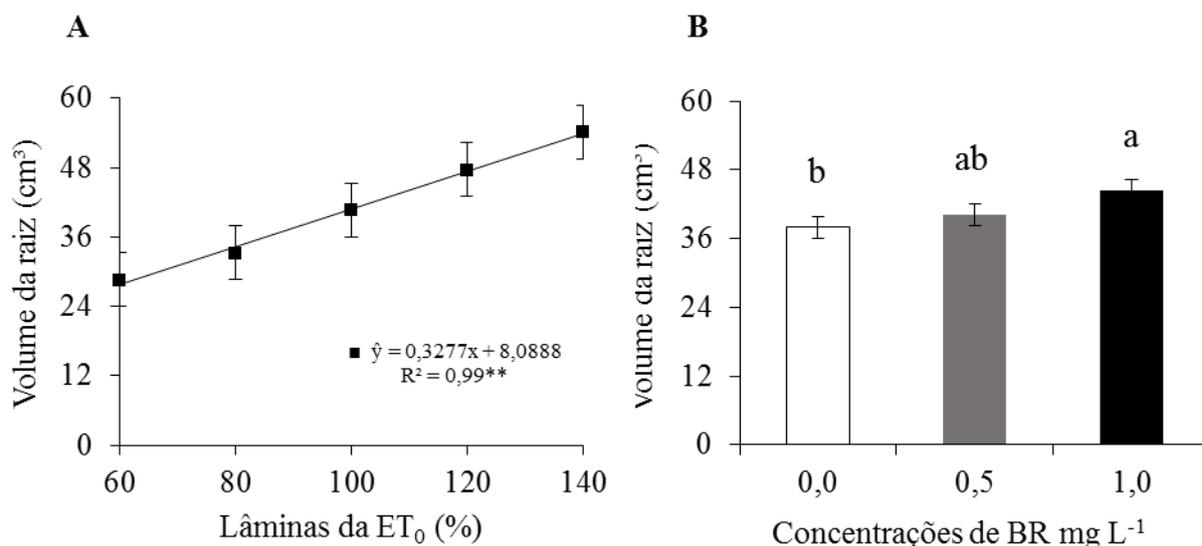
Uma das primeiras respostas das plantas ao estresse hídrico é a redução na taxa de crescimento foliar, conseqüentemente, reduz a fotossíntese. Analisando os resultados obtidos para área foliar (AF), verificou-se que houve efeitos isolados das lâminas de irrigação e das concentrações de brassinosteróide em plantas de mamoeiro. Para o fator lâminas de irrigação, o modelo matemático linear crescente foi o que apresentou melhor ajuste aos dados obtidos para essa característica (Figura 7A).

Observou-se, portanto, que com o aumento crescente da disponibilidade hídrica, houve uma expansão da área foliar, sendo que na lâmina máxima (140% da  $ET_0$ ), possibilitando um incremento de 307,75% em relação aos valores encontrados na menor lâmina (60%). Para o fator BR, a sua aplicação exógena em plantas de mamoeiro promoveu efeito significativo a 1% de probabilidade sobre a área foliar. Observou-se ainda, um aumento dessa característica com a elevação da concentração do brassinosteróide, sendo que as doses 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR, proporcionaram áreas foliares médias de 322,28 e 348,98 cm<sup>2</sup> respectivamente. Tendo em vista que na dose de 1,0 mg L<sup>-1</sup> obteve aumento significativo de 24,78%, o qual correspondeu ao incremento de 85,56 cm<sup>2</sup> por planta (Figura 7B). Já para a característica número de folhas (NF), constatou-se que houve efeitos isolados apenas nas lâminas de irrigação. Observou-se tendência linear crescente com aumento da disponibilidade hídrica (Figura 7C), constatando-se acréscimo de 1,24 folhas, por aumento unitário da irrigação, obtendo-se na lâmina máxima (140% da  $ET_0$ ) 233,4% a mais do valor obtido da lâmina mínima (60%). Logo, para as concentrações do hormônio aplicado via foliar, não houve influência significativa na emissão de novas folhas, porém, a dose de 1,0 mg L<sup>-1</sup> proporcionou aumento de 8,9% no número de folhas em relação ao tratamento que não recebeu aplicação do BR (Figura 7D).



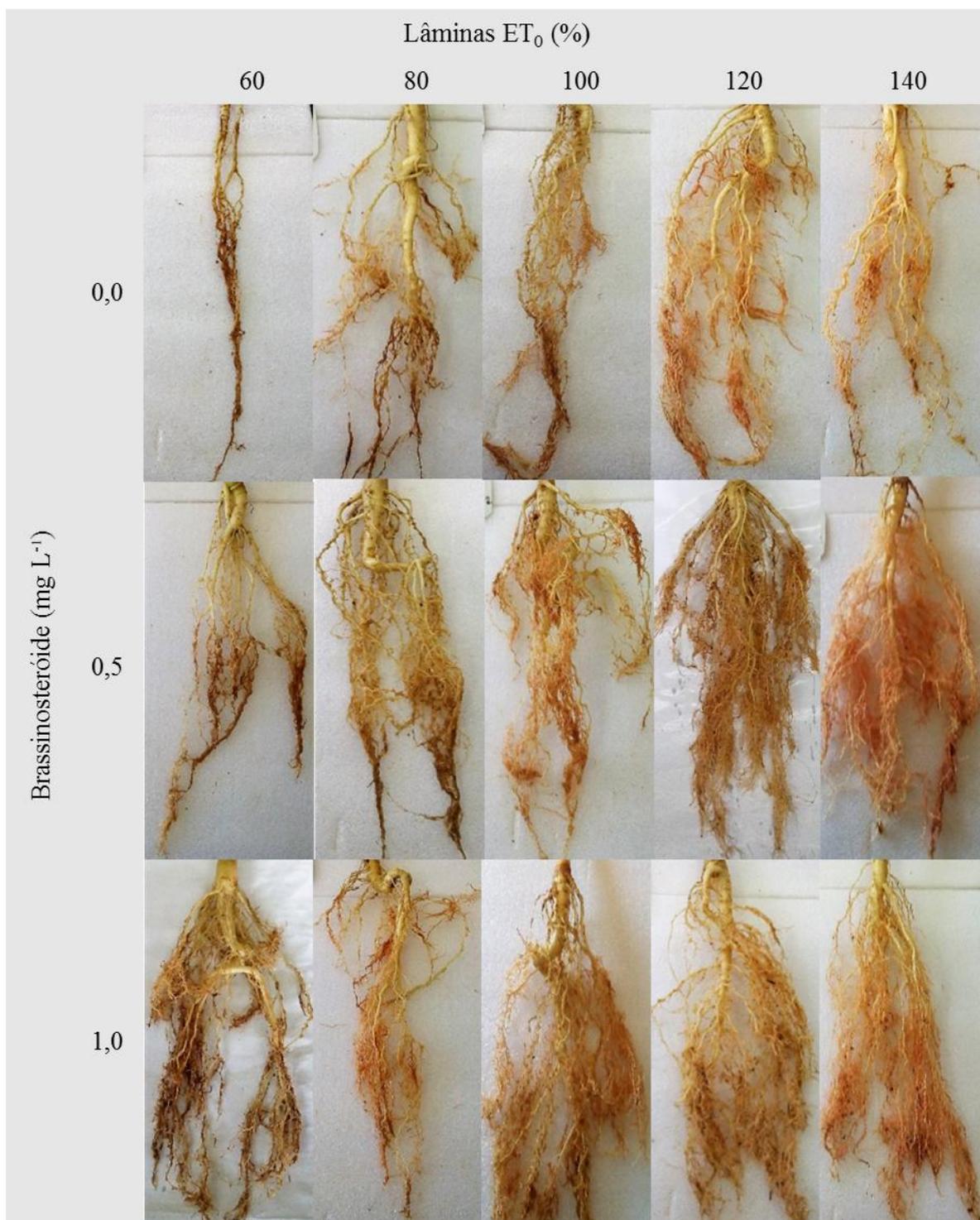
**Figura 7.** Área foliar (A; B) e número de folhas (C; D) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

O volume da raiz foi influenciado pelas lâminas de água no solo ajustando-se ao modelo linear com valores crescentes (Figura 8A). Os valores máximos foram encontrados na maior disponibilidade hídrica (140% da ET<sub>0</sub>) e na concentração de 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR, com 60 cm<sup>3</sup> de volume na raiz, contra 30,08 cm<sup>3</sup> na menor lâmina (60%), verificando-se aumento de 99,5% quando elevou a lâmina de irrigação. Quando comparado as plantas que não foram tratadas com BR (0,0 mg L<sup>-1</sup>) e as que receberam a maior concentração (1,0 mg L<sup>-1</sup>), nota-se aumento de 17,09% (Figura 8B).



**Figura 8.** Volume da raiz (A; B) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

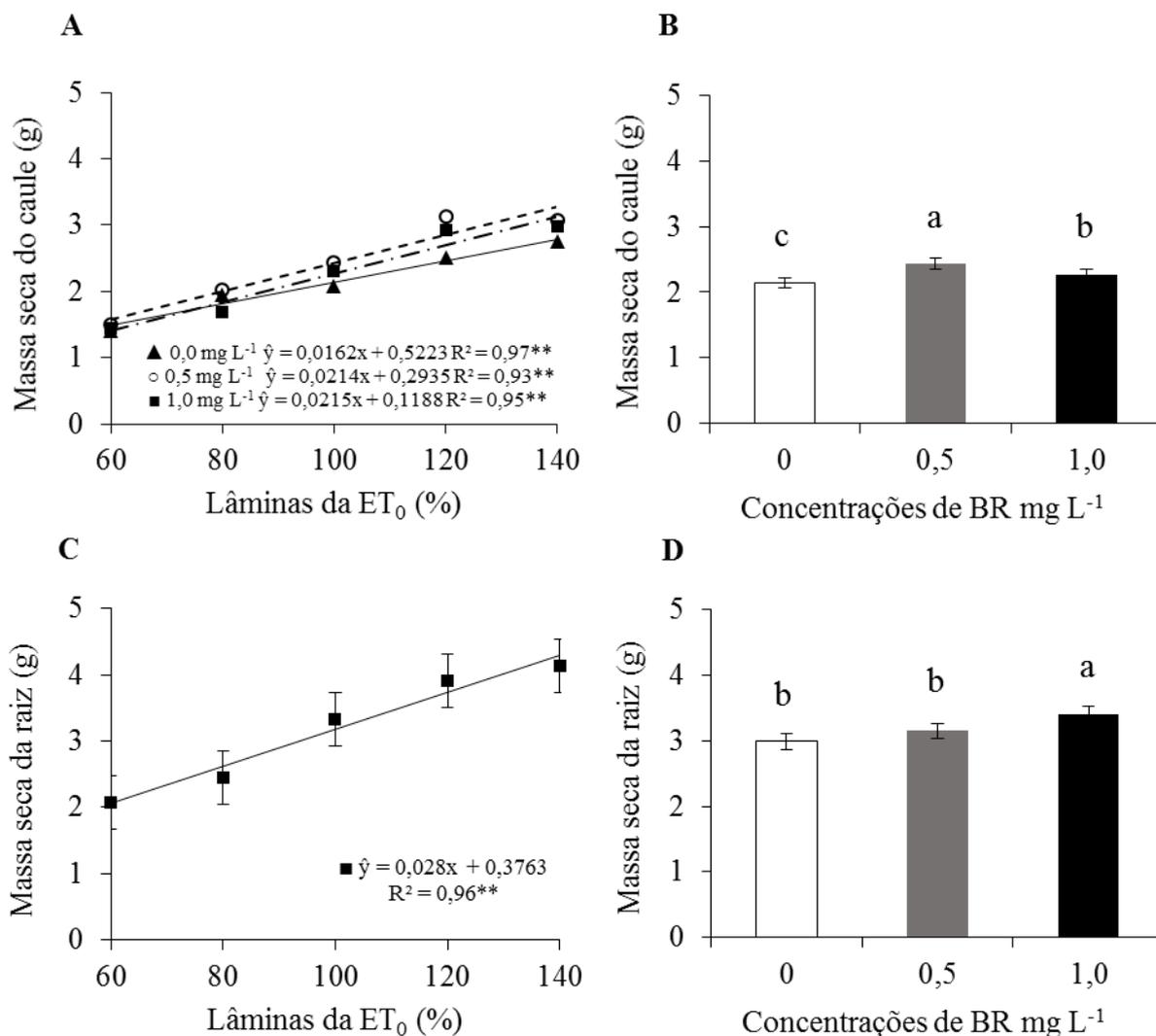
Ao analisar o volume radicular das plantas de mamoeiro (Figura 9), verificou-se o aumento expressivo do crescimento lateral de raízes, com o incremento da disponibilidade hídrica, principalmente, nas lâminas de 100 a 140%. Observou-se, ainda, que na lâmina de 60% da ET<sub>0</sub> quando aplicado as doses de 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR houve um expressivo aumento do volume radicular comparado com as plantas que não receberam o hormônio.



**Figura 9.** Raízes de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016.

A massa seca do caule (MSC) foi influenciada pelas lâminas de água no solo e pelas concentrações do hormônio, causando uma interação entre os fatores e se ajustando ao modelo matemático linear com valores crescentes (Figura 10A). Sendo que os teores máximos de massa seca foram encontrados na concentração de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  do BR e na lâmina 140%, constituindo  $3,10 \text{ g}$  contra  $1,41 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$  na menor lâmina (60%), verificando-se aumento de 119,86% quando elevou a lâmina de irrigação e acréscimo de  $543 \text{ mg}^{-1} \text{ MS}$  por aumento unitário da lâmina.

Quando comparado as plantas que não foram tratadas com BR ( $0,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) e as que receberam a melhor concentração ( $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ), observou-se aumento de 11,85% quando elevou a dose (Figura 10B). Já para a massa seca da raiz (MSR), constatou-se que houve influência pelas lâminas de água no solo, se ajustando ao modelo matemático linear com valores crescentes (Figura 10C). Sendo que os valores máximos foram encontrados na maior disponibilidade hídrica (140% da  $ET_0$ ) e na concentração de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  do BR, com  $4,59 \text{ g}$  de MS contra  $3,71 \text{ g}$  de MS na menor lâmina (60%), constatando-se aumento de 23,72% quando elevou a lâmina de irrigação e acréscimo de  $614 \text{ mg}$  de MS por aumento unitário da lâmina. Quando comparado as plantas que não foram tratadas com BR ( $0,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) e as que receberam a maior concentração ( $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ ), observa-se acréscimo de 13,9% quando elevou a dose (Figura 10D).



**Figura 10.** Massa seca do caule (A; B) e da raiz (C; D) de plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

#### 4.2. Características do status hídrico

O percentual de umidade (%U) corresponde a quantidade de água da planta, levando em consideração o percentual bruto de água presente na planta que, juntamente com o conteúdo relativo de água (CRA) podem ser considerados bons indicadores do status hídrico no vegetal. Analisando os dados referentes ao status hídrico do mamoeiro aos 90 DAT, observou-se na Tabela 5 que houve efeito significativo dos dois fatores estudados: irrigação (I) e brassinosteróide (BR) sobre o conteúdo relativo de água em folhas (CRA) e percentual de umidade em folhas (%UF), caule (%UC) e raiz (%UR). Por outro lado, observou-se que não

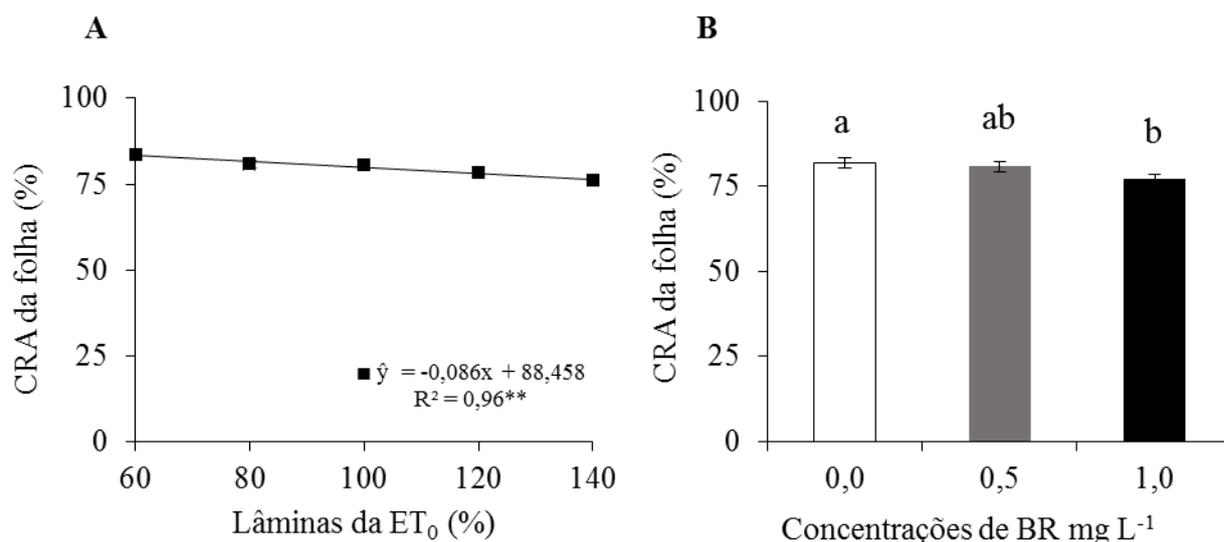
houve significância ( $p > 0,05$ ) na interação entre os fatores (I x BR). Os coeficientes de variação ficaram entre 0,52 e 2,34, sendo considerado baixo, em se tratando de ensaios em nível de campo (PIMENTEL-GOMES, 1990).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância referente ao status hídrico em plantas de mamoeiro aos 90 DAT cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016.

Fontes de variação	G.L.	Quadrados Médios			
		CRA	%UF	%UC	%UR
Irrigação (I)	4	92,38**	71,44**	3,02**	9,52**
Linear	1	355,18**	280,32**	11,77**	9,18**
Quadrática	1	0,64 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Brass. (BR)	2	129,78**	21,98**	2,81**	2,79**
Int. (I x BR)	8	1,38 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	3,49	3,17	0,24	0,48
CV (%)		2,34	2,25	0,52	0,76
Médias		79,85	79,22	94,16	92,18
DMS		1,44	1,37	0,38	0,54

\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ); CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; CRA = conteúdo relativo de água em folhas; VE = vazamento de eletrólitos em folhas; %UF = percentual de umidade em folhas (%UC) caules e (%UR) raízes.

O conteúdo relativo de água (CRA) corresponde à quantidade de água de um tecido, num dado instante, comparada com a máxima quantidade de água que ele irá reter (CAIRO, 1995). Partindo desse pressuposto, verificou-se na Figura 11A o ajustamento do modelo matemático linear com valores decrescentes. Na medida em que foi aumentado os níveis de água no solo, ocorreu um decréscimo no CRA da folha do mamoeiro, chegando a 9,66% de redução na maior lâmina de água aplicada. Com relação ao fator BR, notou-se que sua aplicação influenciou sobre o CRA na folha, sendo que quanto maior a dose desse fitormônio aplicado, menor foi o CRA. As maiores diferenças foram observadas entre a dose 0 e 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR, onde houve um decréscimo no CRA de 6,3% Figura 11B.

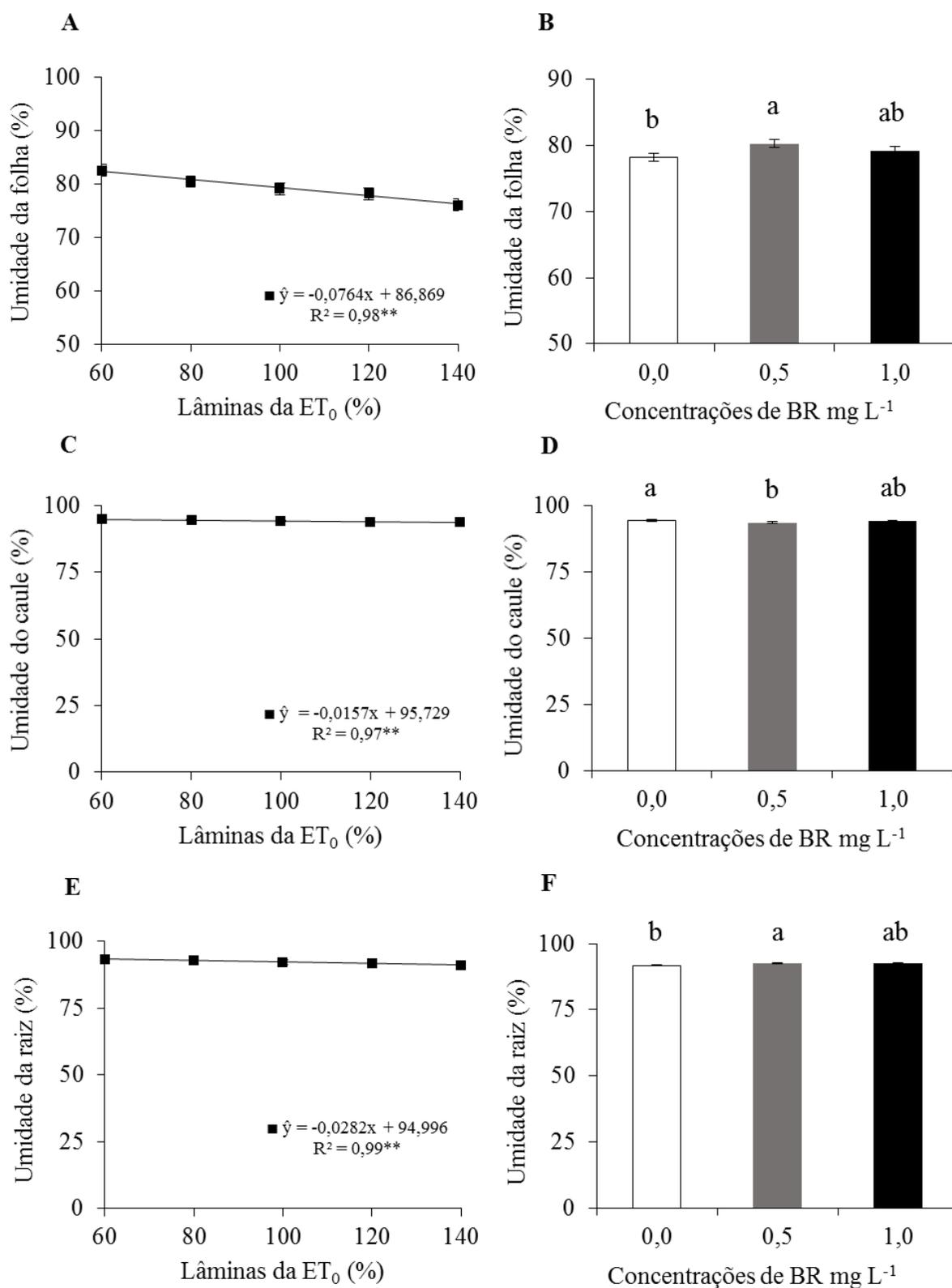


**Figura 11.** Conteúdo relativo de água (A; B) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

Para o percentual de umidade em folhas de mamoeiro (%UF), observou-se o ajustamento do modelo matemático linear com valores decrescentes, onde, na medida em que se aumentou os níveis de água no solo ocorreu um pequeno decréscimo no status hídrico da folha, chegando a ter redução de 8,58% na maior quantidade de água aplicada no solo (Figura 12A).

Com relação ao fator BR, notou-se que o hormônio influenciou sobre o %UF, sendo que quando aplicado a dose 0,5 mg L<sup>-1</sup> desse fitormônio, maior foi o %UF. As maiores diferenças foram observadas entre a dose 0 e 0,5 mg L<sup>-1</sup> do BR, onde houve um acréscimo no teor de umidade de 2,67% (Figura 12B).

Já para o percentual de umidade em caule (%UC), seguiu a mesma tendência do %UF (Figura 12C), que, na medida em que se aumentou os níveis de água no solo ocorreu uma pequena redução no status hídrico do caule. Com relação ao fator BR, constatou-se que o hormônio influenciou sobre o %UC, sendo que quando aplicado a dose 0,5 mg L<sup>-1</sup> desse fitormônio, menor foi o %UC (Figura 12D). O percentual de umidade da raiz (%UR) foi influenciado pelas lâminas de água no solo (Figura 12E). Sendo que os valores máximos foram encontrados na menor disponibilidade hídrica (60% da ET<sub>0</sub>), com 93,28% de umidade contra 91,03% na maior lâmina (140%). Quando comparado as plantas que não foram tratadas com BR e as que receberam o tratamento, observou-se uma diferença no teor de umidade em menos de 1% quando elevou a dose, permitindo concluir que o hormônio pouco influenciou nessa característica (Figura 12F).



**Figura 12.** Percentual de umidade da folha (A; B), caule (C; D) e raízes (E; F) em plantas de mamoeiro sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

### 4.3. Características bioquímicas

Em plantas de mamoeiro aos 90 DAT, as lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide influenciaram significativamente sobre as características bioquímicas. Observou-se na (Tabela 6) que houve efeito significativo dos dois fatores estudados: irrigação (I) e brassinosteróide (BR) sobre a concentração de açúcares solúveis totais (AST), açúcares não-redutores (ANR), açúcares redutores (AR), proteínas solúveis totais (PST), aminoácidos livres totais (AALT) e prolina (PRO). Já a glicina-betaína (GB) houve efeito significativo apenas no fator (I). Por outro lado, observou-se alta significância ( $p \leq 0,01$ ) na interação entre os fatores (I x BR), para todas as características estudadas, exceto (AST e AR). Os coeficientes de variação ficaram entre 4,94 e 14,93 sendo baixo e médio, respectivamente, em se tratando de ensaios em nível de campo (PIMENTEL-GOMES, 1990).

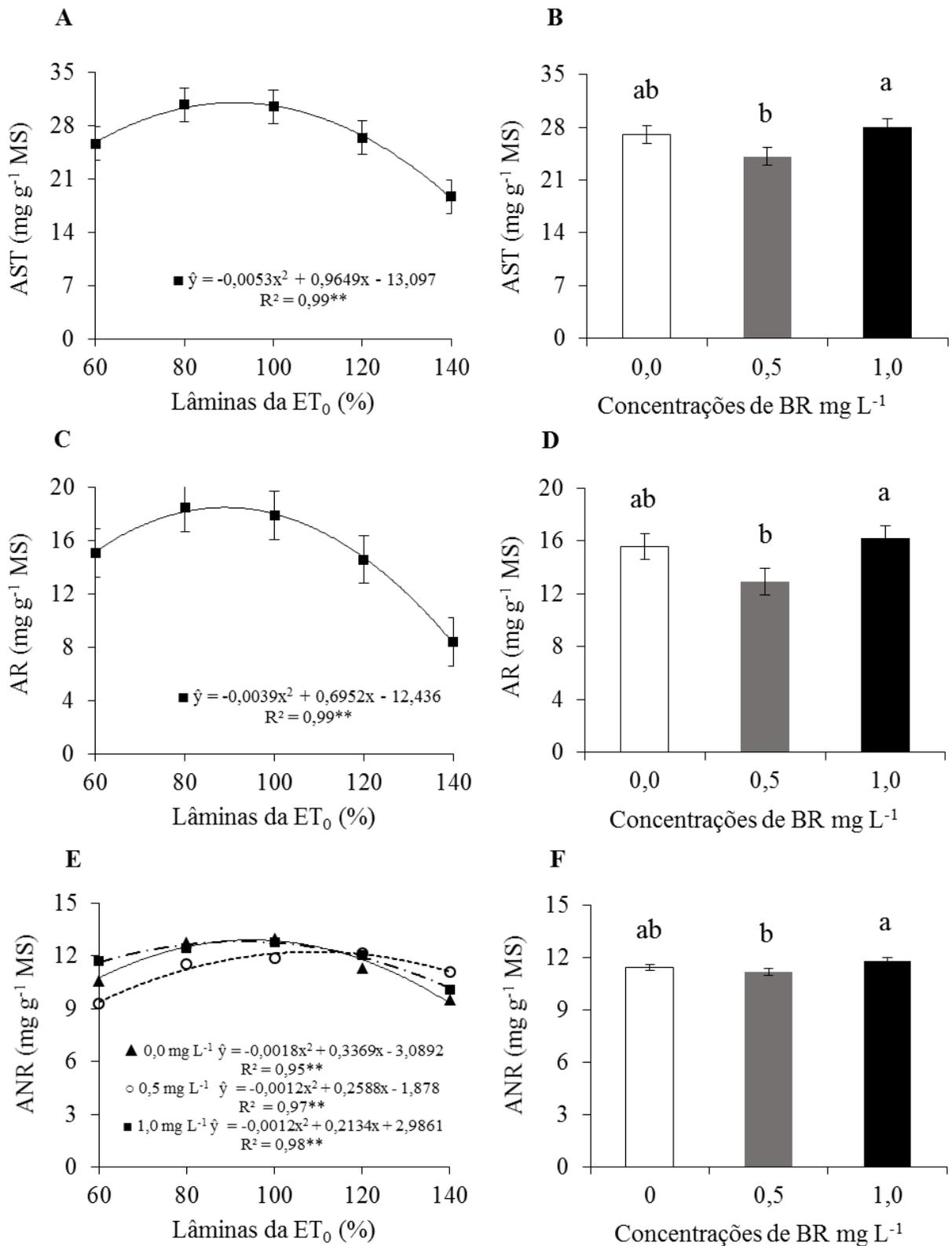
**Tabela 6.** Resumo da análise de variância referente as características bioquímicas em plantas de mamoeiro aos 90 DAT cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios						
		AST	ANR	AR	PST	AALT	PRO	GB
Irrigação (I)	4	287,89**	13,04**	192,16**	1789,88**	537,62**	0,05**	130,61**
Linear	1	398,33**	1,16*	356,41**	7111,32**	1444,29**	0,15**	232,49**
Quadrática	1	749,40**	50,68**	410,30**	46,23 <sup>ns</sup>	703,91**	0,081**	284,34**
Brass. (BR)	2	81,33**	2,03*	59,66**	504,73**	101,00**	0,08**	1,14 <sup>ns</sup>
Int. (I x BR)	8	3,47 <sup>ns</sup>	2,63**	6,80 <sup>ns</sup>	498,46**	26,48**	0,005**	6,73**
Resíduo	42	3,57	0,44	3,83	11,81	3,02	0,0016	0,78
CV (%)		7,17	5,78	13,15	4,94	13,56	14,93	7,06
Médias		26,37	11,48	14,89	69,58	12,82	0,27	12,53
DMS		1,45	0,51	1,51	2,64	1,34	0,03	0,68

\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ); CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; AST = açúcares solúveis totais; ANR = açúcares não-redutores; AR = açúcares redutores; PST = proteínas solúveis totais; AALT = aminoácidos livres totais; PRO = prolina e GB = glicina-betaína.

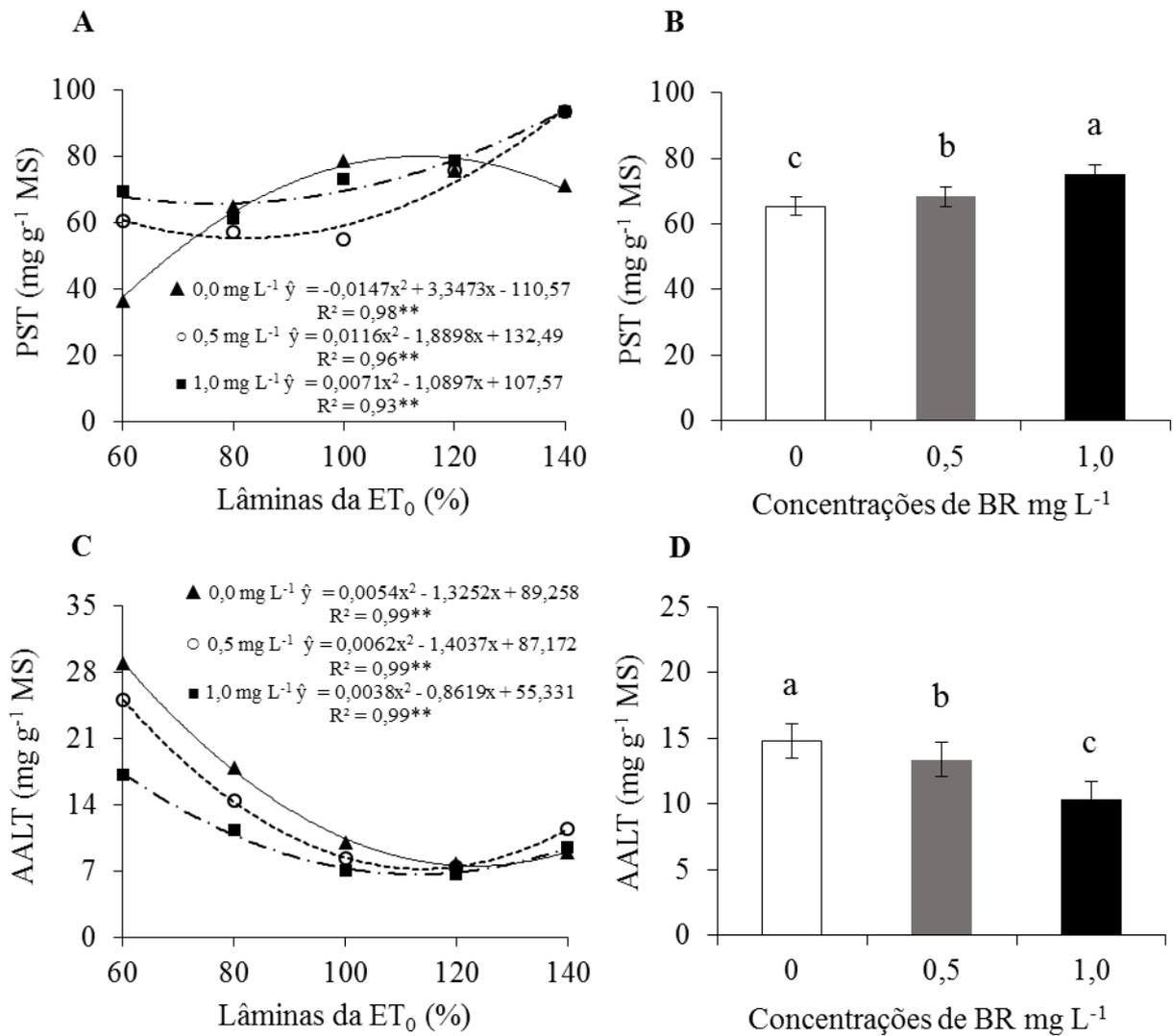
Para os teores de açúcares solúveis totais (AST), observou-se nas Figuras 13A e B que houve efeitos significativos isolados para os fatores (BR e I), onde, o maior acúmulo ocorreu quando aplicado a lâmina 91% da ET<sub>0</sub>, ocorrendo redução desse osmólito com o aumento dos níveis de reposição hídrica (Figura 13A). Constatou-se então a redução de 37,26% entre a lâmina

60% e a maior lâmina de irrigação (140% da  $ET_0$ ). Com relação ao fator BR, notou-se que o hormônio influenciou sobre o teor de AST, sendo que quando aplicado a dose  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  desse fitormônio, maior foi a concentração desses açúcares, obtendo assim, aumento significativo de 16,09%, o que correspondeu ao incremento de  $3,88 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$  de AST (Figura 13B). Os valores encontrados para a concentração de açúcares redutores (AR) obtiveram resultados semelhantes aos encontrados para AST, onde, o maior acúmulo ocorreu quando aplicado a lâmina (89,13% da  $ET_0$ ), ocorrendo redução desse osmólito com o aumento dos níveis de reposição hídrica (Figura 13C). No que se refere ao fator BR, constatou-se que o hormônio influenciou sobre o teor de AR, sendo que quando aplicado a dose  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  desse fitormônio, maior foi a concentração desses açúcares, obtendo assim, aumento significativo de 3,85% em relação ao controle (Figura 13D). Já para os açúcares não-redutores (ANR), verificou-se que houve interação significativa entre os fatores estudados (BR x I), onde o BR na dose de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  influenciou os teores de ANR quando a disponibilidade hídrica foi aumentada, até a lâmina 88,9%, sendo que, os valores foram sendo reduzidos conforme a disponibilidade hídrica aumentava, na qual a menor lâmina (60% da  $ET_0$ ) manteve os mesmos teores de ANR da maior lâmina (140%).



**Figura 13.** Conteúdo de açúcares solúveis totais (A; B), açúcares redutores (C; D) e não-redutores (E; F) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

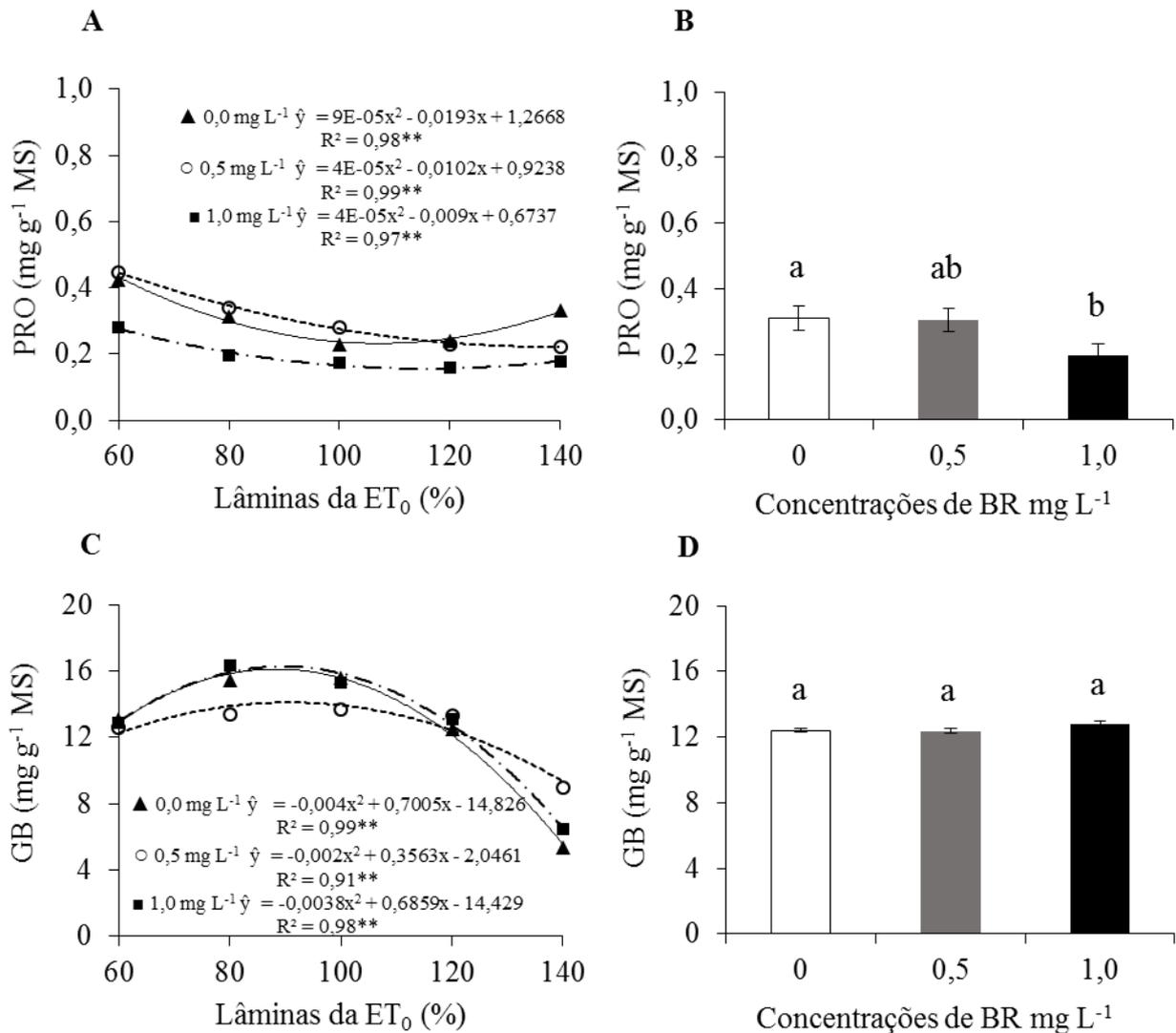
Na Figura 14A percebeu-se, que quanto maior a disponibilidade hídrica, maior foi a concentração de proteínas solúveis totais (PST) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT, onde, houve efeito significativo na interação (BR x I), se ajustando ao modelo matemático quadrático, constatando-se o aumento de 55,48% entre a menor lâmina de irrigação (60% da  $ET_0$ ) e a maior (140% da  $ET_0$ ). Verificou-se também, que quanto maior a concentração do BR aplicado, maior os teores de PST, principalmente nas lâminas 60 e 80% da  $ET_0$ , sendo que as maiores diferenças foram observadas entre 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR e o controle, onde houve um acréscimo no teor PST de 15% (Figura 14B). Já para os teores de aminoácidos livres totais (AALT) observou-se que houve efeito significativo na interação (BR x I), se ajustando ao modelo matemático quadrático, onde, os valores foram decrescentes desde a menor lâmina (60%) até a lâmina 116,9% da  $ET_0$  (Figura 14C). Constatou-se então a redução de 227,06% de AALT entre a lâmina 60% e 116,9% da  $ET_0$ . Pode-se observar na Figura 14D, que a aplicação do BR na cultura do mamoeiro durante o ensaio, influenciou significativamente no teor de AALT. Sendo que, quanto maior a concentração desse hormônio utilizado, menor o teor dos aminoácidos livres, principalmente entre as lâminas de 60 a 100% da  $ET_0$ , sendo que as maiores diferenças foram observadas entre 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR e o controle, onde houve um decréscimo no teor AALT de 60,52%



**Figura 14.** Concentração de proteínas solúveis totais (A; B) e aminoácidos livres totais (C; D) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

A maior concentração de prolina (PRO) em folhas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT, foi encontrada no menor nível de reposição hídrica (60% da ET<sub>0</sub>), sendo o teor desse aminoácido reduzido quando o nível da lâmina aumentou, constatando-se redução de 57,14% entre a menor lâmina (60% da ET<sub>0</sub>) e a maior lâmina de irrigação (140% da ET<sub>0</sub>) (Figura 15A). Porém, foi verificado que quanto maior a concentração do hormônio aplicado, menor o teor de prolina, sendo que, na dose 1,0 mg L<sup>-1</sup> do BR houve uma redução de 56,85% em comparação ao controle (Figura 15B). Já para os teores de glicina-betaína observou-se na Figura 15C que houve efeito significativo na interação (BR x I),

se ajustando ao modelo matemático quadrático onde os valores foram crescentes desde a menor lâmina (60%) até a lâmina 116,4% da  $ET_0$ , sendo reduzidos quando a disponibilidade hídrica foi aumentada. Constatou-se então a redução de 85,66% entre a lâmina (60% da  $ET_0$ ) e a maior lâmina de irrigação (140% da  $ET_0$ ). Como foi observado na Figura 15D, a aplicação do BR na cultura do mamoeiro durante o ensaio não influenciou estatisticamente no teor de glicina-betaína.



**Figura 15.** Concentração de prolina (A; B) e glicina-betaína (C; D) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.4. Teor de pigmentos fotossintéticos

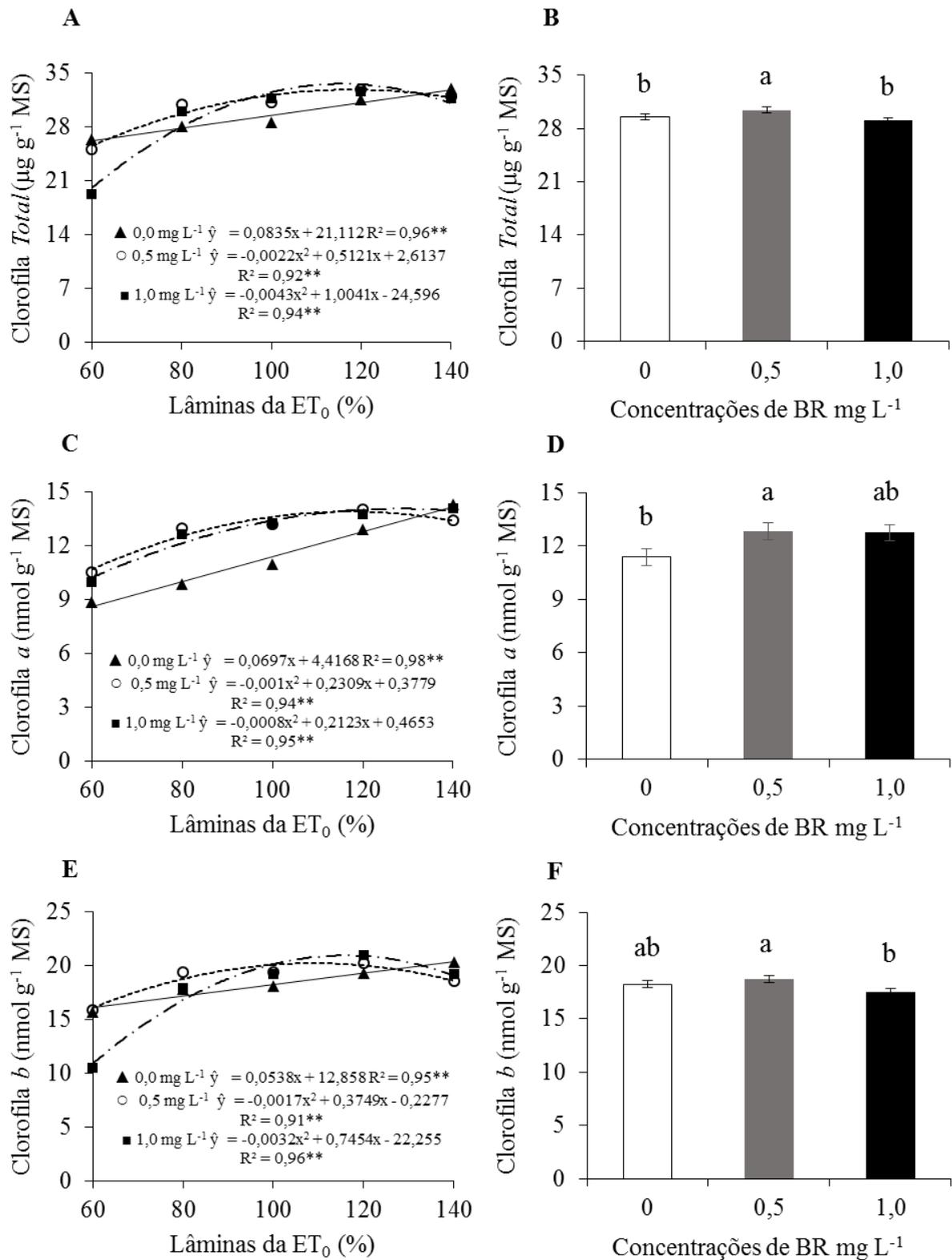
O teor de pigmentos fotossintéticos no mamoeiro aos 90 DAT, foi influenciado ao nível de 1% de probabilidade em função das lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide (Tabela 7). Os modelos matemáticos linear e quadrático foram os que apresentaram melhor ajuste para o teor destes pigmentos que é considerado em três formas: *a* e *b*, os mais importantes para o processo da assimilação clorofiliana; e carotenoides.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância referente aos pigmentos fotossintéticos; clorofila total, clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides aos 90 DAT em plantas de mamoeiro cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide. Catolé do Rocha, PB, 2016.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios			
		Clorofila total	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Carotenoides
Irrigação (I)	4	154,3103**	0,000030**	0,000063**	2,083333**
Linear	1	475,6021**	0,000017**	0,000040**	0,000001**
Quadrática	1	113,1600**	0,000010**	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Brass. (BR)	2	9,6369**	0,000012**	0,000006*	0,000002**
Int. (I x BR)	8	18,2004**	0,000003**	0,000010**	2,083333**
Resíduo	42	1,2274	5,293650	0,000001	5,158730
CV (%)		3,74	5,92	6,22	2,57
Médias		29,61	0,012	0,018	0,0088
DMS		0,85	0,0005	0,0009	0,0002

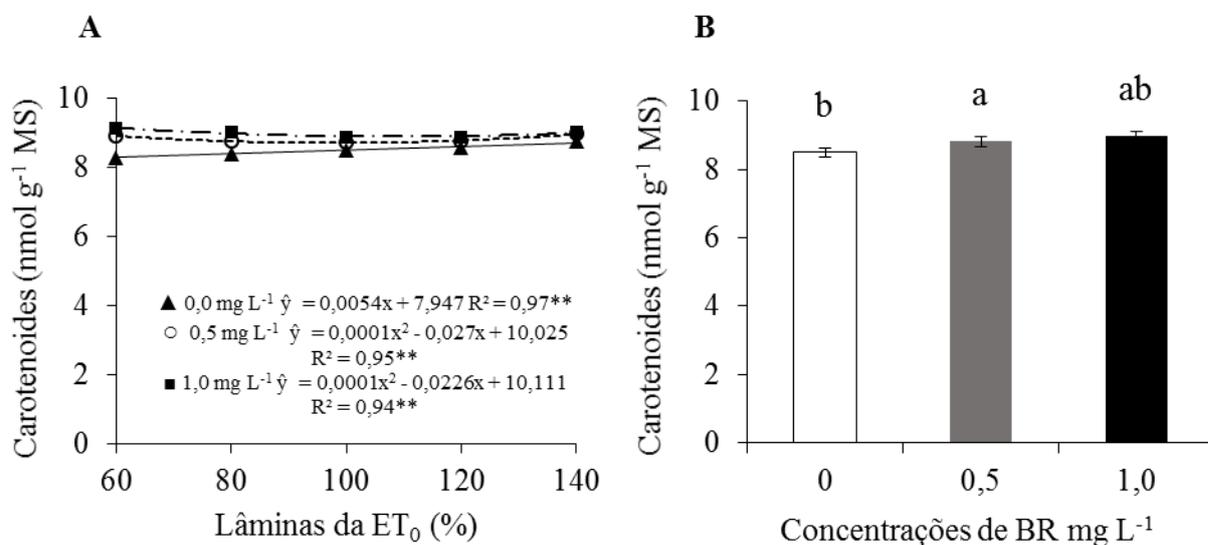
\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ). CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa.

Verificou-se que a aplicação da lâmina de até 116,38% da  $ET_0$  e na dose  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  do brassinosteróide, provocou aumento da clorofila total, chegando a um valor máximo de  $32,41 \text{ ug g}^{-1} \text{ MS}$ , verificando-se a partir desse limite, decréscimo da clorofila total com o incremento da irrigação (Figura 16A). Já as clorofilas *a* e *b*, tiveram resultados semelhantes em relação a clorofila totais, onde observou-se um aumento desses pigmentos até a lâmina 115,45 e 110,26% da  $ET_0$ , respectivamente. Onde, a aplicação do BR influenciou positivamente no conteúdo desses pigmentos, na qual, para clorofila *a* as doses  $0,5$  e  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  não diferiram estatisticamente.



**Figura 16.** Concentração de clorofila total (A; B), clorofila  $a$  (C; D) e  $b$  (E; F) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para os teores de carotenoides, foi observado que esses pigmentos se mantiveram estáveis ao longo das lâminas de irrigação, porém, verificou-se um aumento desses pigmentos de acordo com o incremento da concentração do brassinosteróide. Com destaque para as concentrações 0,5 e 1,0 mg L<sup>-1</sup>, onde obtiveram aumento de 5,88% com relação ao controle.



**Figura 17.** Concentração de carotenoides (A, B) em plantas de mamoeiro cultivado sob lâminas de irrigação e aplicação de brassinosteróide aos 90 DAT. Catolé do Rocha, PB, 2016. As letras sobre as barras indicam as diferenças entre as doses de BR pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

## 5. DISCUSSÃO

As características de crescimento dependem do ambiente onde a planta está inserida. Elas serão reduzidas no caso de falta de fornecimento da água necessária, devido à redução da pressão de turgescência das células em crescimento (MUNNS e TESTER, 2008). Neste experimento, constatou-se que as plantas de mamoeiro obtiveram a maior altura quando a disponibilidade hídrica foi aumentada (Figura 6A).

Do mesmo modo, Sadat Noori et al. (2006), estudando plantas de trigo relataram que a altura foi significativamente elevada com o aumento da irrigação. Apesar dos relatos encontrados na literatura sobre a ação dos brassinosteróides sobre altura de plantas (Sairam, 1994; Gomes et al., 2011), no nosso estudo não se observou o aumento nessa característica (Figura 6B). Com relação ao número de folhas quanto a irrigação, observou-se resultados semelhantes com a altura (Figura 7D). Porém, foi detectado que o BR produziu efeito positivo sobre essa característica, principalmente na dose de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

Resultados semelhantes foram relatados por Freitas et al. (2012), quando compararam diversas doses de brassinosteróide em abacaxizeiro, constatando que a dose de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  proporcionou a maior média estimada do número de folhas. Em relação à brassinosteróides, a dosagem usada, o tempo e o modo de aplicação são importantes, porque são decisivos na resposta da planta (GOMES, 2011). Segundo Larré et al. (2014) os brassinosteróides são fitormônios envolvidos no alongamento e divisão celular. Com isso, afirma-se que o brassinosteróide atua em plantas de mamoeiro principalmente nos meristemas secundários, como foi verificado no diâmetro do caule (Figura 6D) e área foliar (Figura 7B), que obtiveram aumento expressivo quando tratados com o hormônio BR em relação ao controle.

Corroborando com estes resultados, Freitas et al. (2012), avaliando mudas de abacaxizeiro com brassinosteróide, observou que a dose de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  proporcionou a maior média de diâmetro nas plantas. Altoé et al. (2008) observaram efeito benéfico das concentrações 0,1; 0,5 e  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  do BR sobre o diâmetro do caule da tangerineira 'Cleópatra'. Já Ono et al. (2004), trabalharam com plantas de *Tabebuia alba* e concluíram que os brassinosteróides atuam de forma significativa na expansão foliar.

Uma das primeiras respostas das plantas ao estresse hídrico é a redução na taxa de crescimento foliar, conseqüentemente, redução da fotossíntese (JAGER et al., 2008). Nesse estudo constatou-se esse efeito nas plantas quando aplicadas lâminas inferiores a 100% da  $ET_0$ , porém foram minimizados com a aplicação do BR. O hormônio exibiu um aumento significativo da área foliar, onde seus efeitos foram bastante expressivos em comparação com o controle experimental. Os dados encontrados nesse estudo sobre a área foliar foram proporcionalmente equivalentes aos relatados por Gomes et al. (2013), que avaliaram plantas de mamoeiro utilizando seca, irrigação e brassinosteróide. Diante disso, sugere-se que o brassinosteróide tem uma influência muito mais expressiva no amadurecimento dos órgãos já existentes.

Uma das características importante e que confere às plantas maior tolerância ao déficit hídrico é o volume radicular, como o estresse hídrico ocorre de forma gradual, o contato entre a superfície das raízes e do solo é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com conseqüente aumento da área superficial e capacidade de absorção de água (RAMOS JUNIOR et al., 2013). Como exposto nas Figuras 8 e 9, foi constatado que o BR induziu a produção de raízes laterais proporcionando maior área de absorção de nutrientes e água, conseqüentemente maior tempo de sobrevivência durante o estresse hídrico. Larré et al. (2014) estudando a cultura do arroz, afirmaram que a aplicação do 24-epibrassinolídeo nas concentrações de 0,1 e  $1,0 \mu\text{M}$  foram capazes de induzir um aumento no comprimento das raízes.

Segundo Silva et al. (2015), o conhecimento da área foliar permite estimar a perda de água, já que as folhas são os principais órgãos responsáveis pelo processo de transpiração e pelas trocas gasosas que existe entre a planta e o meio ambiente, com destaque para a assimilação clorofiliana. Ao observar os dados referentes a área foliar contidos na Figura 7A, juntamente com o status hídricos (Figuras 11 e 12A), constatou-se que o CRA se manteve praticamente estável em todas as lâminas de irrigação, onde ao elevar a dose do BR o CRA obteve um pequeno aumento. Marler et al. (1994) e Gomes et al. (2013) estudando o comportamento do mamoeiro sob restrição hídrica, observaram que as plantas não apresentaram redução no teor relativo de água, indicando uma manutenção do status hídrico da folha nessas condições.

Do mesmo modo foi observado o %U das folhas na Figura 12A, onde, ao elevar as lâminas de irrigação, houve uma pequena redução no status hídrico. Isso pode ter ocorrido pelo fato em que as plantas ao obterem maior quantidade de água disponível em suas raízes, mantendo os estômatos abertos por mais tempo, acarreta maior taxa de transpiração. Em contrapartida, esse fenômeno proporciona maior taxa de absorção de CO<sub>2</sub> aumentando assim a produção de fotoassimilados pela planta, conseqüentemente maior fitomassa seca, como visto na Figura 10. O teor de umidade nas plantas de mamoeiro foi elevado quando aplicado o fitormônio BR, com destaque para a dose de 0,5 mg L<sup>-1</sup>.

Com relação a massa seca do caule e raiz, foi verificado que o hormônio influenciou positivamente, e esses dados foram aumentados quando se elevou as lâminas de irrigação (Figura10). Freitas et al. (2012) relataram o aumento da matéria seca da parte aérea do abacaxizeiro em função do 24-epibrassinolídeo na concentração de 1,0 mg L<sup>-1</sup>. Já Larré et al. (2014) afirmam que o acúmulo de massa seca na parte aérea e radicular foi alterado positivamente pela aplicação do 24-epibrassinolídeo na cultura do arroz. Resultados esses, vem de encontro com esse estudo.

A acumulação de solutos compatíveis está associada à tolerância aos estresses abióticos, durante os vários processos, especialmente em relação à seca, indicando que esses solutos desempenham um papel fundamental na osmoproteção (SIMPSON et al., 2014). Nesse estudo, pode-se supor que o estresse por seca imposto às plantas de mamoeiro durante a fase vegetativa não foi suficiente para provocar alterações significativas no conteúdo de solutos, não se configurando assim, ajuste osmótico.

Para o teor de carboidratos em folhas de mamoeiro, houve um incremento ao passo que a disponibilidade hídrica foi reduzida, sendo que o BR proporcionou uma maior quantidade desse osmólito, principalmente, na dose mais elevada (Figuras 13A, C e E). Oliveira et al. (2005) e Hayat et al. (2010), relataram um aumento nas concentrações de carboidratos solúveis totais quando aplicado o 24-epibrassinolídeo em condições de seca. Para o conteúdo de açúcares redutores (Figura 13C), observou-se que o teor desse osmólito foi superior aos não-redutores, indicando que havia uma tendência na produção de carboidratos para serem metabolizados localmente. Ficou ainda mais evidente quando comparado com os dados de crescimento da área foliar e diâmetro de caule, onde o BR atuou principalmente na expansão dos órgãos já existentes.

Do mesmo modo, Pedroso et al. (2014) afirmaram que no âmbito de condições adversas para as plantas, os açúcares solúveis sintetizados nas folhas são utilizados para manter o metabolismo. Já Vitorino et al. (2012) afirmaram, que as plantas reagem osmoticamente para a redução da disponibilidade de água nos teores de hidratos de carbono solúveis nos seus tecidos, a

fim de contribuir para a adaptação ou simplesmente para ajuste ao estresse hídrico imposto. Os resultados observados no presente estudo apoiam essa afirmação, isto é, as plantas de mamoeiro apresentaram uma aparente redução no conteúdo deste soluto, sob a menor disponibilidade hídrica, no que também pode estar relacionado à menor mobilização de reservas (Figura 13A, C e E). De acordo com Akinci e Losel (2009), esta redução no conteúdo foliar de carboidratos está relacionado com o consumo destes compostos para garantir a sobrevivência das espécies sob condições ambientais.

As proteínas são encontradas em todas as partes das células, uma vez que são fundamentais sob todos os aspectos da estrutura e função celulares, e alterações nos teores de proteínas podem representar um grande dano para o crescimento e desenvolvimento das plantas (COSCOLIN et al., 2011).

Analisando o teor de proteínas solúveis e aminoácidos livres em plantas de mamoeiro foi visto que, quanto maior a disponibilidade hídrica, menor o teor de AALT em folhas do mamoeiro, foi observado também, que quando aplicado as doses do hormônio BR, o teor desse osmólito foi reduzido (Figura 14C;D). Comparando esses resultados com o teor de proteínas solúveis, verificou-se que ocorreu exatamente o inverso. O conteúdo de PST foi elevado em condições de pouca disponibilidade hídrica. Sendo assim, sugere-se que o BR estimula a produção de proteínas a partir da síntese de aminoácidos livres em plantas de mamoeiro, principalmente em condições de seca.

Anjum et al. (2011) relataram que a aplicação exógena de BR em milho (*Zea mays*), aumentou os teores de proteínas durante déficit hídrico. Já Oliveira et al. (2013), que verificaram o efeito do estresse hídrico nas concentrações de aminoácidos livres e proteínas solúveis em plantas jovens de graviola e observaram que em condições de estresse hídrico as plantas reduziram a concentração de proteínas solúveis totais e obteve um aumento significativo nas concentrações de aminoácidos livres. Segundo Tanaka et al. (2003), um dos efeitos positivos do brassinosteróide, observados em nível macroscópico do crescimento vegetal é a indução de mudança na composição de alguns aminoácidos em proteínas.

Sendo assim, infere-se que o brassinosteróide pode ter influenciado na produção de proteínas a partir da síntese de aminoácidos na cultura do mamoeiro. É possível também que os efeitos encontrados nos carboidratos tenham relação ao conteúdo de proteínas disponível, visto que elas estão relacionadas ao aumento da atividade fotossintética e metabólica da planta. Atrelado a isso, quando a planta possui maior área foliar, maior quantidade de proteínas, conseqüentemente terá maior taxa fotossintética e elevada produção de carboidratos.

Ao analisar o conteúdo de glicina-betaína em folhas de mamoeiro verificou-se que não houve ajustamento osmótico, pois, a quantidade de GB não foi influenciada pelo hormônio, se mantendo semelhante ao controle (Figura 15 C). O aumento nos níveis de glicina-betaína está associado à função de ser um excelente ajustador osmótico em espécies vegetais, no qual ocorre uma sinalização particular e conseqüente aumento na síntese deste aminoácido (SILVA et al., 2009). Carlin e Santos (2009) obtiveram resultados semelhantes em plantas jovens de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), em que observou-se um acréscimo de glicina-betaína sob deficiência hídrica, porém não foi considerado proteção osmótica. Para os teores de prolina foi constatado um decréscimo desse aminoácido em virtude do aumento das lâminas de irrigação e, quando aplicado a dose máxima do BR, o teor de PRO foi reduzido significativamente em relação ao controle experimental (Figura 15A).

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Filippou et al. (2014), onde relataram que, frequentemente, incrementos do conteúdo de prolina foram observados como um dos efeitos do estresse hídrico como forma de atenuar as implicações da escassez de água em espécies vegetais. De acordo com Silva et al. (2012), em plantas submetidas a deficiência hídrica, os incrementos nos teores de prolina podem ser com o aumento da atividade de enzimas proteolíticas que, sob o predomínio destas condições adversas às plantas, começam a promover uma maior disponibilidade deste aminoácido livre.

Os pigmentos fotossintéticos desempenham função importante na fotossíntese, sendo as clorofilas responsáveis pela captação de energia luminosa, evidenciando a clorofila *a* como o principal pigmento dos complexos coletores de luz para as reações fotoquímicas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Nesse estudo, verificou-se que o teor desses pigmentos foi influenciado positivamente pelo BR em relação ao controle (Figura 16). Alguns pesquisadores também identificaram a atuação do BR sobre o teor de clorofila em plantas submetidas a estresse. Gong et al. (2005) e Hu et al. (2010) relataram que aplicações exógenas de BR em plantas de trigo (*Triticum* spp) e pepino (*Cucumis sativus*) apresentaram aumento da atividade fotossintética e também aumento nos teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides. Já Larré et. al. (2014) sugeriu que o 24-epibrassinolídeo está envolvido na aceleração da síntese de clorofila em plantas. Esse aumento de pigmentos fotossintéticos nas plantas tratadas com BR também foi relatado por POCIECHA et al. (2016).

Com o aumento nos teores de clorofila, há um aumento na absorção de luz e, conseqüentemente, aumento na transmissão de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese. O crescimento é associado à elevação dos teores de pigmentos, imposto pela adição do brassinosteróide, sugerindo que os resultados apresentados nesse estudo, referentes ao

crescimento da parte aérea e produção de carboidratos estejam vinculados, diretamente, ao incremento da síntese de clorofila induzido pelo fitormônio na cultura do mamoeiro. Observou-se também maior teor de clorofila *a*, *b* e carotenoides com o aumento das lâminas de irrigação (Figuras 16 e 17). No entanto, a avaliação de plantas de mamoeiro sob a ação do BR em processos metabólicos essenciais é de grande importância para a geração de conhecimento possibilitando o cultivo de mamoeiro mesmo em áreas com restrição hídrica.

## 6. CONCLUSÕES

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), cultivar Havaii pode ser irrigado durante a fase vegetativa, adotando 80% da  $ET_0$  quando tratado com a dose de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  de BR, fato esse verificado principalmente pela análise das características de crescimento do diâmetro de caule, área foliar, massa seca do caule e volume de raiz.

Foi verificado que a produtividade de biomassa está associada à mobilização de açúcares redutores, proteínas e clorofila, sugerindo que o epibrassinolide atua principalmente na rota da gliconeogênese. Portanto, necessita-se de mais estudos em outras fases fenológicas dessa cultura, com o intuito de compreender se o hormônio atua da mesma maneira em todos os estágios da planta.

## REFERÊNCIAS

AKINCI, S.; LOSEL, D. M. The soluble sugars determination in *Curcubitaceae* species under water stress and recovery periods. **Advances in Environmental Biology**, v. 3, n. 2, p. 175-183, 2009.

ALTOÉ, J. A.; MARINHO, C. S.; MUNIZ, R. A.; RODRIGUES, L. A.; GOMES, M. M. A. Tangerineira ‘Cleópatra’ submetida a micorrização e a um análogo de brassinosteróide. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 13-17, 2008.

ALVARENGA, I. C. A.; QUEIROZ, G. A.; HONÓRIO, I. C. G; VALADARES, R. V.; MARTINS, E. R. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, vol. 13. p. 539-541, 2011.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; AND ZOU, C. M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177–185, 2011.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, n.1, p. 1-15, 1949.

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M. R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v. 11, n.1, p. 249-296, 2011.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

BADILLO, V. M. **Caricaceae: segundo esquema**. Caracas: Facultad de Agronomía, 1993.

BAJGUZ, A.; PIOTROWSKA-NICZYPORUK, A. Interactive effect of brassinosteroids and cytokinins on growth, chlorophyll, monosaccharide and protein content in the green alga *Chlorella vulgaris* (*Trebouxiophyceae*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 176-183. 2014.

BASSO, S. M. S. **Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. E *Lotus* L.** Porto Alegre, 1999. 268 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A.; SOUSA, E. F. **Irrigação do mamoeiro**. Campus dos Goytacazes: UENF, 1996. 20p. (Boletim Técnico, 5).

BOHNERT, H. J.; JENSEN, R. G. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. **Trends in Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 89-97, 1996.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, **American Society of Plant Physiologists**, v. 2, n. 2, p. 1158-1203, 2000.

CAIRO, P. A. R. **Relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p.1106-1113, 2009.

CHA-UM, S.; SUPAIBULWATANA, K.; KIRDMANEE, C. Water relation, photosynthetic ability and growth of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica* cv. KDML 105) to salt stress by application of exogenous glycine betaine and choline. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 192, n. 1, p. 25-36, 2006.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F.; ALVES, A. A. C.; CRUZ, J. L. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. **A cultura do mamoeiro: tecnologia de produção**. Vitória: DCM INCAPER, 2003, p. 163-97.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F.; SOUZA, L. F. S. Irrigação e fertirrigação. In: SANCHES, M, F.; DANTAS, J. L. L. **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: EMBRAPA - CNPMF, 1999, 105p.

COSCOLIN, R. B. D. S.; BROETTO, F.; MARCHESE, J. A.; CAMPOHERMOSO, M. C.; PALADINI, M. V. Effects of hydric deficiency on gas exchange parameters and metabolism of *Eucalyptus grandis* clones. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 4, p. 255-262, 2011.

COSTA, R. R. **Atenuação de estresse hídrico em plantas de feijão-caupi tratadas com ácido salicílico**. Campina Grande, 2016. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Programa de pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão.

DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; SILVA, F. F.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Comportamento floral de híbrido de mamoeiro (*Carica papaya* L.) avaliados no verão e na primavera. **Ceres**, v. 55, n. 4, p. 310-316, 2008.

DIAS, V. G. **Crescimento, fisiologia e produção do meloeiro “pele de sapo” cultivado sob diferentes lâminas de irrigação**. Campina Grande, 2014. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Programa de pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba / Embrapa Algodão.

DOOREMBOS, J. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO - Irrigação e drenagem. Campina Grande: UFPB, 1994.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBER, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Nordeste: Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**, 1972. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link>>. Acesso em: 10/12/2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Estatistical: Databases Agriculture**, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2016.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: Effects mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; LEE, D. J.; CHEEMA, S. A.; AZIZ, T. Comparative time course action of the foliar applied glycine betaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**. V. 196, n. 5, p. 336-345. 2010.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000.

FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 97, p. 1-10, 2014.

FREITAS, S. J.; SANTOS, P. C.; CARVALHO, A. J. C.; BERILLI, S. S.; GOMES, M. M. A. Brassinosteróide e adubação nitrogenada no crescimento e estado nutricional de mudas de abacaxizeiro provenientes do seccionamento de caule. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 612-618, 2012.

GOMES, M. A.; NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; SMITH, R. B.; ZULLO, M. A. T.; FERRAZ, T. M.; SIQUEIRA, L. N.; LEAL, N. R.; VÁZQUEZ, M. N. Brassinosteroid analogue affects the senescence in two papaya genotypes submitted to drought stress. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 3, p. 186-195, 2013.

GOMES, M. M. A. Physiological effects related to brassinosteroid application in plants. In: HAYAT, S. and AHMAD, A. **Brassinosteroids: a Class of Plant Hormone**. 1. ed. New York: Springer, 2011, p. 193-242.

GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINE, E. D. Aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio em mudas de eucalipto submetidas à deficiência hídrica. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 273-285, 2015.

GONG, H. J.; ZHU, X. Y.; CHEN, K. M.; WANG, S. M.; ZHANG, C. C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.

GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R. Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium-compounds. **Plant and Soil**, v. 70, n. 2, p. 303-307, 1983.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 463-499, 2000.

HAYAT, S.; HASAN, S. A.; YUSUF, M.; HAYAT, Q.; AHMAD, A. Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 105-112, 2010.

HU, W. H.; WU, Y.; ZENG, J. Z.; HE, L.; ZENG, Q. M. Chill-induced inhibition of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in cucumber during chilling and subsequent recovery. **Photosynthetica**, v. 48, n. 4, p. 537-544, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores conjunturais: agropecuária, produção agrícola**, 2015. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em 10 fev. 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa** – Dados históricos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

JAGER, C. E.; SYMONS, G. M.; ROSS, J. J.; REID, J. B. Brassinosteroids mediate the water stress response. **Physiologia Plantarum**, v. 133, n. 2, p. 417-425, 2008.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.

KHOLOVA, J.; SAIRAM, R. K.; MEENA, R. C. Osmolytes and metal ions accumulation, oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 3, p. 477-486, 2010.

LARRÉ, C. F.; MARINI, P.; MORAES, C. L.; AMARANTE L.; MORAES, D. M. Influence of the 24-epibrassinolide on tolerance to salt stress in rice seedlings. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.

LIMA, G. P. B.; AGUIAR, J. V.; COSTA, R. N. T.; PAZ, V. P. S. Rendimento de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 4, n. 3, p. 205-212, 1999.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M. **Water Stress**. Rijeka: INTECH, 2012, p. 1-14.

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S.; MARTINS, D. S.; FULLIN, E. A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa**. Cariacica: EMCAPA, 1995, 57p. (Circular Técnica, 3).

MARLER, T. E.; GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J. E.; ANDERSEN, P. C. Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. V. 2, Boca Raton: CRC Press, 1994, 320p.

MARLER, T. E.; MICKELBART, M. V. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field-grown papaya. **Journal of American Society of Horticultural Science** v. 123, n. 4, p. 714-718, 1998.

MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória: INCAPER, 2003.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H.; PINTO, T. F. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2012.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MORRIS, D. L. Quantitative determination of carbohydrates with Drywood's anthrone reagent. **Science**, v. 107, n. 3, p. 254-255, 1948.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, A. M. G.; FERIAS, A. R. N.; SANTOS FILHO, H. P. S.; OLIVEIRA, J. R. P.; DANTAS, J. L. L.; ALMEIDA, O. A.; NICKELO, O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. **Mamão para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. 52p. (Publicações Técnicas FRUPEX, 9).

OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. F. S.; RAIJ, B. V.; MAGALHÃES, A. F. J.; BERNARDI, A. C. C. **Nutrição, Calagem e Adubação do Mamoeiro Irrigado**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004, 10p. (Circular Técnica – 69).

OLIVEIRA, L. M. D.; SILVA, J. N. D.; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; SILVA, R. T. L. D.; OLIVEIRA NETO, C. F. D. Pigmentos fotossintetizantes, aminoácidos e proteínas em plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico. **Agroecossistemas**, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2013.

ONO, E. O.; GRANA JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, J. D. Reguladores vegetais na quebra da dominância apical de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 348-350, 2004.

OZFIDAN, C.; TURKAN, I.; SEKMEN, A. H.; SECKIN, B. Time course analysis of ABA and non-ionic osmotic stress-induced changes in water status, chlorophyll fluorescence and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana* wild-type (Columbia) and ABA-deficient mutant (*aba2*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 86, n. 1, p. 44-51, 2013.

PASSOS, L. P. **Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1996.

PEDROSO, F. K. J. V.; PRUDENTE, D. A.; BUENO, A. C. R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**, v. 101, p. 26-35, 2014.

PEOPLES, M. B.; FAIZAH, A. W.; RERKASEM, B. G.; HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Canberra: ACIAR, 1989.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990.

POCIECHA, E.; DZIURKA, M.; WALIGÓRSKI, P.; KRĘPSKI, T.; JANECZKO, A. 24-epibrassinolide pre-treatment modifies cold-induced photosynthetic acclimation mechanisms and phytohormone response of perennial ryegrass in cultivar-dependent manner. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-11, 2016.

POSSE, R. P.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M. G.; GOTTARDO, R. D. Total leaf area of papaya trees estimated by a non-destructive method. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 4, p. 462-466, 2009.

PUSTOVOITOVA, T. N.; ZHDANOVA, N. E.; ZHOLKEVICH, V. N. Epibrassinolide increases plant drought resistance. **Doklady Biochemistry and Biophysics**, v. 376, p. 36-38, 2001.

RAMOS JUNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 47-56, 2013.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.

RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1345-1360, 2011.

RODRÍGUEZ, C. M. R.; ZULLO, M. A. T.; QUEIRÓZ, H. M.; AZEVEDO, M. B. M.; BECERRA, E. A.; MANCHADO, F. C. The preparation of spirostanic analogues of brassinolide and castasterone. **Polish Journal of Chemistry**, v. 80, n.4, p. 637-646, 2006.

SADAT NOORI, S. A.; ROUSTAEI, A.; FOGHI, B. Variability of salt tolerance for eleven traits bread wheat in different saline conditions. **Journal of Agronomy**. v. 5, n. 1. p. 131-136, 2006.

SAIRAM, S. K. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. **Plant Growth Regulation**, v. 14, n. 2, p. 173-181, 1994.

SAKAMOTO, A.; MURATA, N. Genetic engineering of glycine-betaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 342, p. 81-88, 2000.

SANCHES, N. F.; DANTAS, J. L. L. **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 105p. (Circular Técnica, 34).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. H. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. **Plant Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 333-341, 2002.

SHARMA, P.; BHARDWAJ, R.; ARORA, N.; ARORA, H. K. Effect of 28-homobrassinolide on growth, zinc metal uptake and antioxidative enzyme activities in *Brassica juncea* L. seedlings. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 203-207, 2007.

SILVA, R. T. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; BARBOSA, R. R. N.; COSTA, R. C. L. CONCEIÇÃO, H. E. O. Resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v. 9, n. 2, p. 113-120, 2012.

SILVA, S. F.; CABANEZ, P. A.; MENDONÇA, R. F.; PEREIRA, L. R.; AMARAL, J. A. T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. **Revista Agro@mbiente**, v. 9, n. 1, p. 86-90, 2015.

SILVA, S. L. F.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVEIRA, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 361-367, 2009.

SIMPSON, C. R.; NELSON, S. D.; MELGAR, J. C.; JIFON, J.; KING, S. R.; SCHUSTER, G.; VOLDER, A. Growth response of grafted and ungrafted citrus trees to saline irrigation. **Scientia Horticulturae**, v.169, p.199-205, 2014.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2-3, p. 337-354, 2002.

SLAVICK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York: Springer, 1979.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 183-188, 2002.

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

TANAKA, K.; NAKAMURA, Y.; ASAMI, T.; YOSHIDA, S.; MATSUO, T.; OKAMOTO, S. Physiological roles of brassinosteroids in early growth of Arabidopsis: Brassinosteroids have a synergistic relationship with gibberellin as well as auxin in light-grown hypocotyl elongation. **Plant Growth Regulation**, v. 22, n. 3, p. 259-271, 2003.

USDA – **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?9147>> Acesso em: 24 nov. 2016.

VARDHINI, B. V. Application of brassinolide mitigates saline stress of certain metabolites of sorghum grown in Karaikal. **Journal of Phytology**, v. 4, n. 4, p. 1-3. 2012.

VITORINO, H. S.; MARTINS, D.; MARQUES, R. P. GARBIATE, M. V. Effect of water deficit on the efficiency of herbicides and biochemical characteristics of hair beggarticks. **Bioscience Journal**, v.28, n. 5, p. 692-698, 2012.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

YUAN, G. F.; JIA, C. G.; LI, Z.; SUN, B.; ZHANG, L. P.; LIU, N.; WANG, Q. M. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 2, p. 103-108, 2010.

ZHANG, M.C.; ZHAI, Z. X.; TIAN, X. L.; DUAN, L. S.; LI, Z. H. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). **Plant Growth Regulation**, v. 56. n. 3, p. 257-264, 2008.