



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

EUGÊNIO GONÇALVES DA SILVA JÚNIOR

**MECANISMOS FOTOSSINTÉTICOS E OSMOPROTEÇÃO INDUZIDOS POR
SILÍCIO EM PLANTAS DE MAMOEIRO SOB DÉFCIT HÍDRICO**

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL – 2018

EUGÊNIO GONÇALVES DA SILVA JÚNIOR

**MECANISMOS FOTOSSINTÉTICOS E OSMOPROTEÇÃO INDUZIDOS POR
SILÍCIO EM PLANTAS DE MAMOEIRO SOB DÉFCIT HÍDRICO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba Embrapa Algodão, para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias

Àrea de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Josemir Moura Maia

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL-2018

É expressamente proibido 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 do trabalho.

S586m Silva Júnior, Eugênio Gonçalves da.
Mecanismos fotossintéticos e osmoproteção induzidos por silício em plantas de mamoeiro sob déficit hídrico [manuscrito] : / Eugênio Gonçalves da Silva Júnior. - 2018.
65 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Josemir Moura Maia, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA."

"Coorientação: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA.""

1. Mamoeiro. 2. Carica papaya (L.). 3. Osmorregulação.

21. ed. CDD 634.651

EUGÊNIO GONÇALVES DA SILVA JÚNIOR

**MECANISMOS FOTOSSINTÉTICOS E OSMOPROTEÇÃO INDUZIDOS POR
SILÍCIO EM PLANTAS DE MAMOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias / área de concentração: Agricultura Familiar e Sustentabilidade.

Aprovado em 23/04/2018


BANCA EXAMINADORA:



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



Prof. Sergio Luiz Ferreira da Silva (D.Sc. Bioquímica) - UFRPE



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



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

“Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, irmão, minha namorada, minha filha que irá nascer, e a meus amigos que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida”

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

Primeiramente à Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, por ter me dado força para superar todos os obstáculos que apareceram durante esse período.

A minha mãe, Maria Neuza, 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 e que sempre esteve do meu lado, me incentivando a seguir em frente e jamais desistir dos meus sonhos.

A minha namorada e companheira, Roberta Naary, que sempre esteve comigo me proporcionando bons momentos, me acalmando e me ouvindo sempre ao longo dessa jornada, obrigado!

Ao meu orientador Prof. Josemir Moura Maia que foi fundamental para que todo esse trabalho fosse concluído. Me orientando sempre, me ensinando, fazendo críticas construtivas para que eu pudesse ser um profissional melhor, ensinamentos que nunca serão esquecidos. Obrigado por toda a dedicação, paciência, apoio e amizade. Pela oportunidade de me integrar ao grupo de pesquisa do Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV). Sem o seu apoio, ensinamento e paciência nada disso seria possível. Muito obrigado!

A todos meus colegas da turma de Ciências Agrárias, na qual me proporcionaram muitos momentos agradáveis e divertidos, em especial Samara Brito e Fátima Caetano que sempre estiveram comigo, compartilhando conhecimentos e ótimos momentos.

Ao melhor grupo de pesquisa do Cajueiro, a equipe LAPROV. Gostaria de agradecer em especial a Jucelino Sousa que sempre esteve me ajudando na excursão do meu experimento e análises desde a graduação, agradecer também a Anselmo Ferreira e Francisco Hélio, que me ajudaram bastante durante esse período e me ensinaram bastante. Carla, Dhayane, Paulo, Samilly e Elcilene, muito obrigado pelo apoio e ajuda durante a excursão dos experimentos.

Aos meus amigos do AP universitário, Jalisom, Jucelino, Cleverton, Mailson, Jakson e Marley que me proporcionaram momentos bastante agradáveis e divertidos.

Agradecer ainda a Liziane Bezerra por sempre tirar minhas dúvidas e me orientar muitas vezes, muito obrigado!

Gostaria de agradecer a Universidade Estadual da Paraíba e a todos do programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realizar o curso e a CAPES pela concessão da bolsa, a qual foi fundamental para a realização deste trabalho.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que me ajudaram direto, ou indiretamente durante esse período, muito obrigado a todos!

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de mamão (*Carica papaya* L.) com mais de 1,6 milhão de toneladas anual, sendo a região Nordeste responsável por 64% da produção. Entretanto, um dos principais fatores limitantes da produtividade dessa cultura, nessa região, é a irregularidade das chuvas. Assim, é fundamental viabilizar meios alternativos de minimizar danos ou induzir a tolerância ao déficit hídrico por meio de compostos atenuadores de estresses como o silício (Si). Nesse contexto, o presente estudo propôs avaliar a ação do Si nos mecanismos fotossintéticos e osmóticos no mamoeiro cultivado sob condições de déficit hídrico. O experimento foi conduzido em tubetes em casa de vegetação, utilizando sementes da cultivar Hawaii. Foram testadas três concentrações de Si (0,0; 1,5 e 2,5 mL L⁻¹) e quatro lâminas de irrigação (20; 40; 60 e 80% da capacidade de campo). Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, combinados no esquema fatorial 3x4 com quatro repetições e três plantas úteis por parcela, totalizando 144 unidades experimentais. O silício foi aplicado via foliar e para avaliação dos efeitos dos tratamentos foram considerados parâmetros de crescimento, bioquímicos e fisiológicos. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, até 5% e aplicado o teste de comparação de médias (Tukey, $P < 0,05$), quando houve interação para o Si dentro das lâminas de irrigação. Foi constatado que o déficit hídrico causou redução nas variáveis de crescimento e fisiológicas. Porém a aplicação de Si beneficiou o crescimento radicular, a altura das mudas e o número de folhas, melhorando a eficiência fotossintética em decorrência do aumento no teor de clorofila e propiciou ganho nas taxas de fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂. A aplicação de 1,5 mL L⁻¹ de Si aumentou os teores de compostos nitrogenados, tais como proteínas solúveis totais, aminoácidos livres totais, prolina e glicina-betaina, bem como o teor de amido e de açúcares solúveis totais. Sugerindo que mudas de mamoeiro podem ser cultivadas com 60% da capacidade de campo quando tratadas com 1,5 mL L⁻¹ de Si.

Palavras-chave: Adaptabilidade; *Carica papaya* (L.); Osmorregulação.

ABSTRACT

Brazil is the second largest producer of papaya (*Carica papaya* L.) with over 1.6 million tons per year, with the Northeast region accounting for 64% of production. However, one of the main limiting factors of the productivity of this crop in this region is the irregularity of rainfall. Thus, it is fundamental to enable alternative means of minimizing damages or inducing tolerance to water deficit by means of stress attenuating compounds such as silicon (Si). In this context, the present study proposed to evaluate the action of Si on the photosynthetic and osmotic mechanisms in papaya cultivated under conditions of water deficit. The experiment was conducted in tubes in greenhouse, using seeds of Hawaii cultivar. Were tested three concentrations of Si (0.0, 1.5 and 2.5 mL L⁻¹) and four irrigation slides (20; 40, 60 and 80% of the field capacity). A completely randomized design was used, combined in the 3x4 factorial scheme with four replications and three useful plants per plot, totaling 144 experimental units. The silicon was applied via foliar and to evaluate the effects of the treatments were considered growth parameters, biochemical and physiological. The results were submitted to analysis of variance by the F test, up to 5%, and the test of comparison of means (Tukey, P <0.05) was applied, when there was interaction for the Si within the irrigation slides. It was observed that the water deficit caused a reduction in the growth and physiological variables. However, the application of Si benefited the root growth, the height of the seedlings and the number of leaves, improving the photosynthetic efficiency due to the increase in the chlorophyll content and favored gain in the rates of liquid photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and internal CO₂ concentration. The application of 1.5 mL L⁻¹ of Si increased the levels of nitrogen compounds, such as total soluble proteins, total free amino acids, proline and glycine betaine, as well as the content of starch and total soluble sugars. suggesting that papaya seedlings can be grown with 60% of field capacity when treated with 1.5 mL L⁻¹ of Si.

Key words: Adaptability; *Carica papaya* (L.); Osmoregulation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização física do solo na camada de 0-20 cm. Catolé do Rocha-PB, 2016.....	26
Tabela 2	Resumo da análise de variância dos parâmetros agronômicos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	32
Tabela 3	Resumo da análise de variância dos pigmentos fotossintéticos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	37
Tabela 4	Resumo da análise de variância dos parâmetros fotossintéticos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	39
Tabela 5	Resumo da análise de variância dos parâmetros bioquímicos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa com destaque do município onde foi conduzido o estudo. Catolé do Rocha-PB, 2018. (Fonte: Embrapa solos do Nordeste, 1972).....	25
Figura 2	Plântulas de mamoeiro cultivadas em tubetes (A), pulverização de silicato de potássio via foliar (B), análise fotossintética com o IRGA (C), diâmetro caulinar (D). Catolé do Rocha-PB, 2018.....	27
Figura 3	Altura de plantas (A), número de folhas (B), diâmetro caulinar (DC), volume radicular (D), massa fresca da parte aérea (MFPA) (E) e massa fresca radicular (MFR) (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	34
Figura 4	Parte aérea de mudas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	35
Figura 5	Raiz de mudas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....	32
Figura 6	Clorofila A (A), Clorofila B (B) e Clorofila Total (C), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018....	38
Figura 7	Fotossíntese Líquida (A), Transpiração (B), Condutância Estomática (C), Concentração interna de CO ₂ (D), Eficiência Instantânea no Uso da Água (E) e Eficiência Instantânea de Carboxilação (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018...	41
Figura 8	Proteínas solúveis totais (PST) (A), aminoácidos livres totais (AALT) (B), glicina-betaina (GB) (C), prolina (PRO) (D), Amido (AM)(E) e açúcares solúveis totais (AST) (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação	

de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação,
analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.....44

LISTA DE ABREVIATURA

PST	Proteínas solúveis totais	E	Transpiração
AST	Açúcares solúveis totais	A	Fotossíntese líquida
AALT	Aminoácidos livres totais	gs	Condutância estomática
PRO	Prolina	PS	Fotossistema
GB	Glicina-betaína	ns	Não significativo
AM	Amido	MF	Massa fresca
K⁺	Potássio	Si	Silício
DC	Diâmetro caulinar	MFR	Massa fresca da raiz
NF	Número de folhas	dS	Decisiemens
VR	Volume radicular	v/v	Volume por volume
MFPA	Massa fresca da parte aérea	rpm	Rotação por minuto
CC	Capacidade de campo		
AP	Altura de plantas		
DAE	Dias após emergência		
CO₂	Dióxido de carbono		
O₂	Oxigênio		
pH	Potencial hidrogeniônico		
H₂O_{dd}	Água destilada		
K₂SiO₃	Silicato de potássio		
TRIS	Tris (hidroximetil) aminometano		
DIC	Delineamento inteiramente casualizado		
EiUA	Eficiência instantânea do uso da água		
EiC	Eficiência instantânea de carboxilação		
LAPROV	Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal		
IRGA	Analizador de gases por infra-vermelho		

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Aspectos botânicos e econômicos do mamoeiro.....	17
3.2 Condições edafoclimáticas.....	19
3.3 Irrigação do mamoeiro.....	19
3.4 Comportamento fisiológico de plantas sob déficit hídrico.....	20
3.4.1 Fotossíntese e trocas gasosas em plantas.....	21
3.4.2 Estresses omóticos em plantas.....	22
3.5 Importância do silício (Si) para a agricultura.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Caracterização do local da pesquisa.....	25
4.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	25
4.3 Atributos químicos do substrato.....	25
4.4 Instalação e condução do experimento.....	26
4.5 Manejo de Irrigação.....	27
4.6 Variáveis de Crescimento.....	27
4.7 variáveis fotossintéticas.....	28
4.7.1 Condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO ₂ e fotossíntese líquida.....	28
4.7.2 Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiC), Eficiência Instantânea no Uso da Água (EiUA)	28
4.7.3 Teor de Clorofila <i>A</i> , <i>B</i> e Clorofila Total.....	28
4.8 Parâmetros bioquímicos.....	29
4.8.1 Proteínas solúveis totais (PST).....	29
4.8.2 Açúcares solúveis totais (AST).....	29
4.8.3 Aminoácidos livres totais (AALT)	29
4.8.4 Prolina (PRO)	30
4.8.5 Glicina-betaína (GB)	30
4.8.6 Amido (AM)	31
4.9 Análise estatística	31

5. RESULTADOS	32
5.1 Variáveis de crescimento	32
5.2 Pigmentos fotossintéticos.....	37
5.3 Características fotossintéticas.....	39
5.4 Características bioquímicas.....	42
6. DISCUSSÕES	45
7. CONCLUSÕES	52
8. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma das principais espécies frutíferas cultivadas no Brasil. Entre os maiores produtores mundiais, o Brasil se destaca como o segundo maior produtor e exportador dessa fruta, ficando atrás apenas da Indonésia. No Brasil a produção de mamão chega a 1.463.770 toneladas com uma produtividade média de 48,33 t/ha, seguido pela Indonésia, com 871.275 toneladas (IBGE, 2016). No Brasil as regiões Sudeste e Nordeste destacam-se, sendo as mais expressivas na produção desse fruto, produzindo juntas 95,9% da produção nacional, destacando-se os estados da Bahia e Espírito Santo como os principais produtores. Tendo destaque também o estado da Paraíba, como o sétimo produtor, com produção em torno de 30.810t numa área cultivada de 772 ha (IBGE, 2016).

Existem vários fatores que limitam a produção vegetal no semiárido brasileiro, dentre eles, destaca a escassez da água. Esta, por sua vez, é o principal constituinte das plantas, podendo afetar drasticamente seu metabolismo em condições de déficit hídrico (BODNER et al. 2015). Prevê-se que a seca será uma das principais ameaças para as culturas agrícolas em um futuro próximo (WANG et al., 2015).

A importância da água para o mamoeiro relaciona-se tanto à sua falta quanto ao seu excesso. A deficiência hídrica, afeta praticamente todos os aspectos do crescimento das plantas, como a anatomia, a fisiologia e a bioquímica. A fotossíntese, por exemplo, é severamente afetada pela diminuição de área foliar, pelo fechamento estomático e pelos danos no aparelho fotossintético, causando ainda alterações no conteúdo de enzimas e proteínas (YADOLLAHI et al., 2015; SHAMSI, 2010; TAYEBI et al., 2012).

No entanto, ao longo do processo evolutivo as plantas desenvolveram mecanismos para minimizar os efeitos osmóticos do estresse hídrico. Entre eles, destaca-se o aumento no teor de solutos orgânicos, incluindo açúcares, prolina e glicina-betaína. Esses solutos além de possibilitarem o ajustamento osmótico, desempenham um papel importante na estabilização de enzimas/proteínas (LISAR et al., 2012).

Estudos de nutrição mineral são importantes para otimizar o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas, em especial sob condições de restrição hídrica. Hashemi et al., (2010) sugerem que a aplicação suplementar de Silício (Si) em plantas tem efeito benéfico, pois mitiga o estresse hídrico por ameniza a transpiração e, conseqüentemente, a perda de água pelas plantas. Além disso, o silício tem papel importante na translocação de carbono para panículas e sementes, e propicia a passagem com mais rapidez da fase vegetativa para a reprodutiva (ZUCCARINI, 2008).

Poucos trabalhos são encontrados na literatura que abordam os efeitos da suplementação de Si no metabolismo osmótico em plantas, em especial em mamoeiro. Adicionalmente, os trabalhos na área abordam, principalmente, a ação do silício como atenuador do déficit hídrico em espécies como feijão-caupi, algodoeiro, canola, entre outros (DUTRA et al., 2017; FERRAZ et al., 2014; PARISA SHARIFI, 2017). Assim, estudos que abordam os efeitos da aplicação do silício na resistência do mamoeiro à seca são importantes para destacar alternativas viáveis que aumentam a resistência dessa cultura ao déficit hídrico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a ação do silício no crescimento vegetativo, nos mecanismos fotossintéticos e osmóticos em plantas de mamoeiro submetidas a estresse hídrico.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência de níveis de silício na eficiência do metabolismo fotossintético do mamoeiro submetido ao déficit hídrico por meio da quantificação das trocas gasosas;
- Determinar o conteúdo de osmoprotetores em plantas de mamoeiro submetida a déficit hídrico e tratadas com silicato de potássio;
- Determinar uma dose suplementar de silício para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico sob o crescimento vegetativo do mamoeiro cultivar Hawaii em condições de déficit hídrico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos botânicos e econômicos da cultura do mamão

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) explorado comercialmente pertence à classe Dicotyledoneae, subclasse Archichlamydeae, ordem Violales, subordem *Caricineae* e família *Caricaceae*, que compreende seis gêneros: *Jacaratia*, com sete espécies encontradas desde o México até o Norte da Argentina; *Jarilla*, englobando três espécies encontradas no México e na Guatemala; *Cylicomorpha*, com duas espécies da África Equatorial (VAN DROOGENBROECK et al., 2004); *Horovitzia*, gênero mais recente, com uma espécie no México; *Vasconcellea*, com 21 espécies, que se distribuem pela América do Sul concentrando-se em maior quantidade nos Andes e nos Vales do Equador, sendo encontradas 16 das 21 espécies descritas; e *Carica*, que é monoespecífico e detém a espécie (*Carica Papaya* L.) de maior importância econômica da família *Caricaceae* (VAN DROOGENBROECK et al., 2002; USDA, 2015).

Silva e Tassara (1996) e Lorenzi et al. (2006) descrevem o mamoeiro como uma planta tipicamente tropical, com um sistema radicular pivotante, com raiz principal bastante desenvolvida, de coloração branco-cremosa. As raízes são distribuídas em maior quantidade nos primeiros 30 cm do solo, no entanto, podem-se desenvolver em até duas vezes a altura da planta. O caule é cilíndrico, com 10 a 30 cm de diâmetro, herbáceo, fistuloso, ereto, de coloração verde-clara no ápice e acinzentada na base. As folhas são grandes, com 20 a 60 cm, glabras, com longos pecíolos fistulosos, verde-pálidos, vermelho-vinosos, geralmente de 50 a 70 cm de comprimento.

As flores do gênero *Carica* são brancas ou amareladas, podendo ser divididas basicamente em três tipos bem diferenciados: flor pistilada ou feminina típica, flor hermafrodita e flor estaminada ou masculina típica. No entanto, a flor hermafrodita do mamoeiro comercialmente falando, não constitui um tipo único e definido, mas um grupo que inclui formas diferentes, a pentândrica, a intermediária, a estéril e a alongata. No qual, as duas primeiras flores originam frutos deformados, sem valor comercial relevante, respectivamente, por frutos pentândricos e carpelóides e, apenas a alongata produz frutos perfeitos (Dantas e Castro Neto, 2000). Por outro lado, as flores masculinas caracterizam-se pela ausência de estigma e são distribuídas em longos pedúnculos axilares e pendentes, geralmente localizadas na parte superior do mamoeiro, agrupadas em inflorescências do tipo panícula e distantes da junção do pecíolo com o caule (HOROVITZ et al., 1953). O fruto é uma baga de forma

variável de acordo com o tipo de flor, podendo ser arredondado, oblongo, alongada, cilíndrico e/ou piriforme, com tamanhos variáveis, de 0,4 à 3,0 kg. A casca é fina e lisa, de coloração amarelo-clara a alaranjada, protegendo uma polpa com 2,5 a 5 cm de espessura e de coloração que pode variar de amarela a avermelhada. O fruto pode atingir até 50 cm de comprimento e pesar desde algumas gramas até 10 quilos (DANTAS & NETO, 2000; DANTAS et al., 2002; SILVA, 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor de mamão com mais 1.463.770 toneladas com uma produtividade média de 48,33 t/ha (IBGE, 2016). Na região Nordeste concentra-se 59,8% da área de cultivo do País, o que corresponde em torno de 64% da produção nacional. No Ranking das principais frutas comercializadas nas Centrais analisadas o mamão vem sendo a terceira, ficando atrás apenas da laranja e banana (CONAB, 2017). No estado da Paraíba, notadamente o mamoeiro do grupo “Solo”, vem merecendo destaque, com produtividade em torno 30.810t numa área cultivada de 772 ha (IBGE, 2016). Entretanto, problemas de precipitação são um dos principais fatores limitantes para o crescimento dessa cultura nesta região.

Como o mercado externo está bem receptivo ao mamão brasileiro a curto e médio prazo, além da vantagem cambial, que nos torna ainda mais competitivos frente a outros produtores internacionais desta fruta, projetou-se crescimento para o ano de 2017 de 9,53% (CONAB, 2017). Em 2017, a Porto Seguro - BA em primeiro e Mossoró - RN em terceiro no ranking das principais microrregiões do Nordeste que forneceram mamão para as Ceasas, com 119.431.466 e 33.438.163 toneladas respectivamente (CONAB, 2017).

Uma das vantagens em se produzir mamão, é a possibilidade de frutificação o ano inteiro independente da região de cultivo, sendo é uma das características importantes que propicia a expansão do cultivo do mesmo (HAMM, 2002). Somado a isso, além do aspecto econômico abordado, existe o apelo social ligado a atividade, pela a grande quantidade de empregos diretos e indiretos gerados, devido ao manejo e à necessidade da renovação periódica do pomar, geralmente de dois a três anos do plantio (SILVA et al., 2010).

O cultivo do mamoeiro nem sempre possui o foco direto em produção de frutas, no qual enfatiza-se que a importância econômica pode ser destinada para outros fins, embora em menor escala, o mamoeiro também pode ser cultivado para a extração de látex. As diferentes proteinases obtidas do látex extraído da fruta verde, de estipes e das folhas têm um forte espectro de atividade, sendo usado intensamente nas indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícias (MADRIGAL et al., 1980).

3.2 Condições edafoclimáticas

O mamoeiro é uma cultura de clima tropical que se adapta mais adequadamente em regiões de clima quente e úmido. Desenvolvendo-se bem em regiões com alta insolação e temperaturas entre 22 a 26° C, precipitação média 3,5 mm dia⁻¹, umidade relativa do ar entre 60 e 85% e altitude de até 200 metros acima do nível do mar são as mais indicadas para exploração econômica desta frutífera, embora a planta produza bem em áreas mais altas (JESUS JÚNIOR et al., 2007; LYRA, 2007; FARIA et al., 2009). No entanto, de acordo com Manica et al. (2006) e Silva (2016), regiões de cultivo com temperaturas na faixa de 22 a 27°C são consideradas excelentes para o rápido desenvolvimento vegetativo, a precocidade de florescimento e a colheita dos primeiros frutos, os quais apresentam excelente sabor, altos teores de sólidos solúveis e produtividades elevadas. Por outro lado, quando sob temperaturas abaixo de 15°C, o mamoeiro possui abalo no metabolismo, paralisando o crescimento vegetativo, reduzindo o índice de florescimento, retardando a maturação e produzindo frutos de baixa qualidade (NAKASONE, 1988). Marin et al. (1995) justifica 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. Contudo, para se obter alta produtividade e boa qualidade dos frutos, é necessário um conjunto de fatores, como luz, temperatura, solo, CO₂, 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 & COSTA, 2003; FARIA et al., 2009).

A ocorrência de ventos fortes na região pode provocar o fendilhamento e a queda das folhas, assim reduzindo a área foliar, e conseqüentemente, a assimilação de CO₂, além de expor os frutos aos raios solares e ocasionar danos superficiais, tornando inviáveis para comercialização. Os ventos contínuos também podem derrubar flores, frutos e plantas em altos índices de frutificação (SANTOS, 2011).

3.3 Irrigação do mamoeiro

Uma das características morfológicas mais sensíveis à deficiência hídrica é o crescimento celular. O déficit hídrico pode provocar vários efeitos sobre o crescimento, principalmente no consumo de assimilados nas folhas em expansão, reduzindo a abertura estomática, limitando a fotossíntese, a respiração e danificando proteínas e enzimas, que em geral, reduzem o desenvolvimento vegetativo das culturas, em decorrência da redução da área

foliar. Além de acelerar a senescência e a abscisão das folhas e afetar o número de ramos e seu crescimento e o crescimento do caule (SHAMSI 2010; TAYBI et al., 2012; YADOLLAHI et al., 2014).

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 onde ocorrem veranicos prolongados, a cultura não apresenta rendimentos satisfatórios sem o uso da irrigação (COELHO et al., 2003).

Na região Nordeste, a irrigação torna-se indispensável para reduzir perdas produtivas, pois o déficit hídrico ocasiona efeitos deletérios nos processos fotossintéticos e fisiológicos de plantas de mamoeiro, reduzindo a condutância estomática e o teor relativo de água, indicando uma manutenção do status hídrico da folha nessas condições, ocasionando conseqüentemente perda em todos os aspectos vegetais (GOMES et al., 2013).

3.4 Comportamento fisiológico de plantas sob déficit hídrico

As plantas possuem defesas adaptativas às condições de estresse que resultam em alterações morfológicas, anatômicas, celulares, bioquímicas e moleculares, que podem variar de acordo com a espécie, estágio de desenvolvimento da planta, tipo de estresse e intensidade do mesmo (LISAR et al., 2012). O déficit hídrico é provavelmente o fator mais importante no controle do rendimento das culturas em todo o mundo, devido ao fato de que a redução do rendimento se dá através da redução da atividade fotossintética (PEJÍC et al., 2009). Plantas expostas a deficiência hídrica apresentam disfunções bioquímicas e fisiológicas, tais como redução de turgor e de crescimento, redução da atividade fotossintética e da condutância estomática e danos aos componentes celulares (JANDA et al., 2007).

A deficiência hídrica, então, afeta praticamente todos os aspectos do crescimento das plantas, como a anatomia, a fisiologia e a bioquímica, afetando diretamente os níveis enzimáticos, proteicos e alterações na fotossíntese, em decorrência da diminuição de área foliar, fechamento estomático e também danos no aparelho fotossintético, reduzindo ainda os níveis de pigmentos fotossintéticos (YADOLLAHI et al., 2015; SHAMSI, 2010; TAYEBI et al., 2012). A seca pode resultar ainda na produção de espécies reativas de oxigênio incluindo superóxido de hidrogênio peróxidos de hidrogênio, dentre outros que reagem com muitos componentes celulares e eles também causam danos à membrana celular aos pigmentos fotossintéticos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídios (TALE AHMAD e HADDAD, 2010).

Quando em condições de déficit hídrico, ocorre a redução da pressão do turgor celular, causando um estiramento irreversível na parede celular em condições de estresses severos (ZHANG et al., 2011). O estriamento da parede celular causaria uma diminuição no turgor e no crescimento sem a transferência concomitante da água do xilema para as células em crescimento (TARDIEL et al., 2014). A plasticidade da parede celular é controlada por várias enzimas associadas ao crescimento expansivo, na qual é diminuída com o déficit hídrico (PARK e COSGROVE, 2012; TARDIEL et al., 2014), ocasionando conseqüentemente a redução na taxa de crescimento celular e redução no crescimento de desenvolvimento vegetal.

Nas plantas vasculares, apenas uma parte da água captada pelas raízes é usada para os processos fotossintéticos, a maior parte da água retorna ao meio ambiente através do movimento de condutância estomática, havendo o efluxo de parte dessa água. As plantas controlam essa quantidade de água perdida regulando sua abertura estomática permitindo-lhes evitar parcialmente o estresse hídrico (TORRES et al., 2013; TORRES et al., 2015).

3.4.1 Fotossíntese e trocas gasosas em plantas

Dentre os fatores físicos do ambiente, a luz desempenha um papel relevante na regulação da produção primária como um dos fatores de maior importância para que ocorra todo o processo fotossintético. As plantas absorvem a luz solar e a transformam em energia química, contribuindo de forma efetiva para o seu crescimento. Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO_2 ocorre necessariamente através dos estômatos, no processo fotossintético, ocorrendo também o efluxo de água, por meio da transpiração, sendo o movimento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores (SILVA et al., 2015).

Vários fatores limitam a capacidade fotossintetizante das plantas como a concentração de CO_2 , a luminosidade, temperatura e a água. A água é um fator que limita diretamente a fotossíntese através do efeito no suprimento de CO_2 . O dióxido de carbono entra e a água, na forma de vapor, é perdida pelas folhas através da transpiração pelos estômatos que podem se fechar se o suprimento de água estiver baixo, evitando o fornecimento de CO_2 , diminuindo a fotossíntese líquida (KLUGE et al., 2014). Os estudos sobre trocas gasosas e potencial da água em folhas de frutíferas, envolvendo a fixação de CO_2 , transpiração e resistência foliar à difusão de vapor ampliaram-se a partir da década de 80, em trabalhos direcionados para culturas tropicais, como goiaba e mamoeiro (REIS et al., 2008). Desta forma, a indisponibilidade hídrica no solo pode causar fechamento estomático, limitando a condutância

estomática e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010).

A redução da disponibilidade hídrica causa efeitos diretos na capacidade fotossintética das plantas, afetando as reações bioquímicas e o funcionamento do aparato fotossintético, e indiretamente pelo fechamento estomático (TONELLO e TEIXEIRA FILHO, 2012; CUNHA et al., 2013).

3.4.2 Estresses osmóticos em plantas

Uma das principais respostas fisiológicas/moleculares ao déficit hídrico em plantas é a habilidade de algumas espécies em ajustar osmoticamente suas células e controlar a condutância estomática. Essa ação fornece prevenção às plantas contra a desidratação nociva, mas, em contrapartida resulta em reduções na absorção de CO₂ para a fotossíntese (OZFIDAN et al., 2013).

Reduções no potencial osmótico ocorrem pelo aumento na concentração de solutos presentes na célula túrgida. O ajuste osmótico, portanto, ocorrerá somente se ocorrer a acumulação ativa de solutos, propiciando, em várias espécies o aumento na capacidade de tolerar períodos curtos de seca (NEPOMUCENO et al., 2008).

Todavia, alguns compostos bioquímicos acumulam-se em níveis superiores àqueles esperados em função da simples desidratação passiva do tecido, indicando serem produto de uma regulação metabólica diferenciada ou de novas rotas biossintéticas. Contudo, existe considerável variação, entre diferentes culturas, na capacidade de ajuste osmótico e isso deve ser considerado ao se medir a habilidade da cultura em suportar a seca (NEPOMUCENO et al., 2008).

As plantas muitas vezes desenvolvem mecanismos complexos para evitar os efeitos osmóticos do estresse hídrico, sendo um deles o ajustamento osmótico (redução do potencial osmótico em tecidos vegetais através da acumulação de osmólitos que mantém o fluxo de água para as células). São dois tipos de osmólitos, solutos orgânicos e íons inorgânicos. Alguns aminoácidos, como a prolina, atuam diretamente na resposta bioquímica de plantas submetidas ao estresse hídrico. A prolina além do papel de ajustador osmótico proporciona aos tecidos vegetais osmoticamente estressados as seguintes funções: integridade e proteção da membrana, dissipador ou redutor de energia, fonte de carbono e nitrogênio e eliminador de radicais hidroxil (MENESES et al., 2006).

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 (KHOLLOVA et al., 2010). Esse osmólito atua 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).

3.5 Importância do silício (Si) para a agricultura

O silício é um dos elementos mais frequentes no solo, mas como não é colocado no elemento essencial para o crescimento vegetal, não ganhou muita atenção no papel biológico das plantas (PRAIZA SHARIFI, 2017). É o segundo elemento encontrado em maior quantidade na superfície terrestre, superado apenas pelo oxigênio, ocorrendo principalmente como mineral inerte das areias e quartzo (EMBRAPA, 2011). Contudo, o óxido de silício é o mineral mais abundante nos solos, contudo, apenas uma pequena quantidade desse elemento químico está disponível aos vegetais devido à sua baixa solubilidade (BARBOSA FILHO et al., 2001; KORNDORFER, 2006). É considerado a base da maioria dos argilominerais. Esse processo se dá em virtude da avançada intemperização dos solos tropicais.

O silício se encontra basicamente na forma de quartzo, opala, caulinita e elementos de argila, estando presente na solução do solo como ácido monossilícico (H_4SiO_4) (BARBOSA FILHO et al., 2001; LIMA et al., 2011). Apesar de ser frequente de este elemento na terra, devido ao acompanhamento com outros elementos, seria fora do alcance da planta e as plantas só são capazes de usá-lo como ácido salicílico $SiOH_4$. O silício nas plantas é considerado como um elemento não móvel que não é referido como elemento essencial e por isso não há atenção suficiente para seu papel biológico nas plantas (TALE AHMAD e HADDAD, 2010). O silicato de potássio (K_2SiO_3) é uma das fontes mais utilizadas para o fornecimento de Si via aplicações foliares em plantas (ZENÃO JÚNIOR et al., 2009).

Si tem sido relatado para aliviar os efeitos deletérios dos estresses bióticos como danos causados por pragas e doenças e estresses abióticos como toxicidade por metais pesados, seca e salinidade em plantas (ZHU e GONG 2014; KELLER et al., 2015). Dentre os diversos benefícios proporcionados pelo silício às plantas, podemos citar a importância na complexação do alumínio presente na solução do solo formando Al-Si, reduzindo a toxidez para as plantas (ZSOLDOS et al., 2003), pode ser utilizado tanto como corretivo no solo, como fertilizante para as plantas (ALI et al., 2013).

Dentre os indutores de resistência mais estudados, o silício tem tido destaque por trazer benefícios para as plantas, sendo capaz de aumentar o teor de clorofila nas folhas e a tolerância das plantas aos estresses ambientais como frio, calor, seca, desbalanço nutricional e toxicidade a metais, além de reforçar a parede celular e aumentar a resistência contra patógenos e insetos. O Si é um composto fenólico encontrado nas plantas e que desempenha ação sinalizadora de defesa contra patógenos, podendo culminar com a expressão de genes de resistência (MA e YAMAJI, 2006).

O acúmulo de silício pelas plantas ainda não é bem compreendido e não se conhece ao certo o mecanismo envolvido na habilidade das raízes em absorver esse nutriente. O que se conhece é que as diversas espécies de plantas se diferenciam quanto a capacidade de absorver e acumular silício (ALCÂNTARA et al., 2015 MA e YAMAJI, 2006). A tolerância das plantas, associada ao uso do Si, à condições de estresse hídrico tem sido atribuída ao acúmulo de enzimas antioxidantes na parte aérea, indicando ser um mecanismo regulador de mudanças fisiológicas na planta, a partir da redução do potencial hídrico celular, levando ao desenvolvimento de processos reguladores de perda de água, tais como o fechamento dos estômatos (NERI et al., 2009; MA e YAMAJI, 2006) causa ainda aumento de fototropismo e consequentemente aumentou a fotossíntese (KHODABANDE LOU et al., 2013), se acumulando na parede celular das folhas, causando sedimentação na largura foliar, aumento a resistência das folhas e o aumento no teor de pigmentos fotossintéticos, melhorando assim, o uso eficaz da luz (PARISA SHARIFI, 2017).

Para reduzir as perdas na produção agrícola, estudos mostram que o silício tem efeito benéfico no combate de parasitas, agindo como uma barreira física. O Si é depositado sob a cutícula para formar uma dupla camada silicatada, essa camada pode impedir mecanicamente penetração por fungos e, assim, interromper a infecção de patógenos. O Si solúvel atua ainda como um modulador da resistência do hospedeiro ao patógeno. (FAUTEX et al., 2005; MA e YAMAJI, 2006) o Si atua também na indução de resistência ao estresse hídrico, pois ameniza a transpiração da planta em detrimento da perda de água. Apesar de não ser ainda amplamente utilizada pelos agricultores brasileiros, à adubação silicatada tem sido referida como uma tecnologia promissora para reduzir os efeitos negativos causados por estresse nas plantas, incluindo o estresse hídrico, aumentando a produtividade das culturas (MA e YAMAJI, 2006; ROCHA, 2011; ALMEIDA et al., 2015). Esses efeitos positivos podem ser devido a diferentes mecanismos, como o aumento de absorção de nutrientes minerais pelas plantas, modificação dos atributos de troca gasosa, ajuste osmótico, redução do estresse oxidativo e modificação da expressão gênica em plantas (RIZWAN et al., 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local da pesquisa

O trabalho foi realizado em casa de vegetação no Setor Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no 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 272 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 precipitação média anual é de 870 mm, temperatura média de 27 °C.

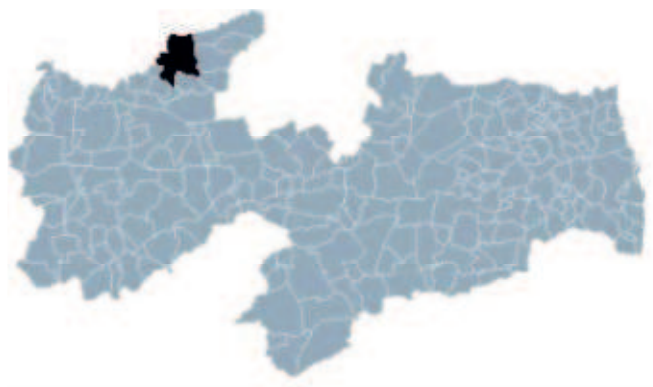


Figura 1. Mapa com destaque do município onde foi conduzido o estudo. Catolé do Rocha, PB, 2018. (Fonte: Embrapa solos do Nordeste, 1972).

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com tratamentos combinados no esquema fatorial 3x4 com três plantas úteis por parcela, sendo três concentrações de Si (0, 1,5 e 2,5 mL L⁻¹) aplicados viú foliar e quatro lâminas de irrigação (20, 40, 60 e 80% da capacidade de campo), com quatro repetições, perfazendo 144 unidades experimentais.

4.3 Atributos químicos do substrato

O substrato utilizado para o cultivo das mudas foi composto de 50% de vermiculita (substrato inerte) e 50% de esterco bovino curtido. O esterco foi analisado quimicamente, os

resultados estão expostos na tabela 1. O semeio foi realizado em tubetes com 250 g de substrato (figura 2A).

Tabela 1: Análise química do esterco utilizado para a formulação do substrato.

pH	N	P	K	Ca	Mg	Na	M.O.	C/N
H ₂ O	----- (cmol _c dm ⁻³) -----						%	
8,47	21,26	924	0,003	0,041	3,17	14,4	66,66	18,1

Laboratório de Solo, Água e Planta – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN, Natal, RN).

4.4 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto a outubro de 2017. Para a semeadura foram utilizados sementes da variedade Hawaii com taxa de germinação de 90% e pureza de 99,8 % (marca comercial ISLA[®]). Após a germinação foram aplicadas solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), semanalmente, para dar maior vigor as plantas e repor os nutrientes essenciais com base na análise química do substrato (Tabela 1).

Para fins de tratamento foi utilizado o silicato de potássio (K₂SiO₃) (Si: 10% e K: 10%), a solução nutritiva foi formulada com o silicato de potássio diluído em água destilada, realizando-se as aplicações por meio de borrifação sobre a superfície foliar até que houvesse o escorrimento da solução (figura 2B). Foram efetuadas três aplicações foliares de silicato de potássio, sendo a primeira aos 45 DAE (dias após a emergência), sucedendo as demais aplicações a cada seis dias. Aos 60 DAE foram realizadas mensurações da eficiência fotossintética com auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA) e clorofilog (Figura 2C). Em seguida, as plantas foram coletadas para as mensurações bioquímicas.



Figura 2. Plântulas de mamoeiro cultivadas em tubetes (A), pulverização de silicato de potássio via foliar (B), análise fotossintética com o IRGA (C), diâmetro caulinar (D). Catolé do Rocha-PB, 2018.

4.5 Manejo de Irrigação

A irrigação foi realizada com água deionizada com condutividade elétrica de $0,01 \text{ dS m}^{-1}$, com base na massa de água evaporada, estimada por meio da pesagem aleatória dos tubetes, aplicando-se a lâmina de 80% da Capacidade de Campo (CC) até o 45º dia após a emergência das plântulas. A partir de então, foram diferenciadas as lâminas, calculadas por meio do peso dos tubetes, verificado diariamente com uma balança manual portátil e aplicando as lâminas de água com uma proveta graduada.

4.6 Variáveis de crescimento

Foi aferido a altura de plantas (AP) (cm), mensurado do colo ao ápice da planta utilizando uma régua milimétrica. O diâmetro caulinar (DC) (mm) foi avaliado com o auxílio de um paquímetro digital, considerando um centímetro acima do colo (figura 2D). Para o número de folhas (NF), considerou-se folhas que possuíam mais de 2 cm de comprimento. O volume radicular (VR) 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). Foram coletadas e pesadas partes de folhas, caules e raízes para determinação de massa fresca (MF). Realizou-se também um comparativo por foto de parte aérea e raiz dos 12 tratamentos analisados. As plantas foram fotografadas de maneira uniforme e padronizadas em fundo preto, escolhendo-se as plantas que melhor representavam as demais unidades experimentais do mesmo tratamento.

4.7 Variáveis fotossintéticas

4.7.1 Condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e fotossíntese líquida

As leituras das trocas gasosas foram realizadas das 7 h e 30 min às 10 h, na quarta folha contada a partir do ápice no 60 DAE. Para isto, utilizou-se um equipamento portátil de medição de trocas gasosas “LCPro+”, contendo IRGA (ADC BioScientific Ltda). Com fonte de luz acoplada e ajustada a $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Foram determinadas fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) (mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs) (mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de carbono (C_i) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (SILVA et al., 2015).

De posse desses dados, também foram quantificadas a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA - A/E$), calculada por meio da relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração [$(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})$] e a eficiência instantânea de carboxilação ($EiC - A/C_i$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$] a partir da relação entre a fotossíntese líquida e a concentração interna de carbono (SILVA et al., 2015).

4.7.2 Teor de clorofila A, B e clorofila Total

As leituras da clorofila foram realizadas, por meio de leituras diretas com medidor eletrônico clorofiLOG modelo CFL 1030 (FALKER, 2008), utilizando-se para mensuração, a quarta folha completamente expandida no 60 DAE, realizando três leituras em cada unidade experimental, e fazendo a média aritmética entre elas.

4.8 Variáveis bioquímicas

4.8.1 Proteínas solúveis totais (PST)

Para a extração de proteínas, amostras de 200 mg de folhas frescas foram maceradas em almofariz dentro de gelo seguido da adição de 5 mL do tampão Tris-HCl 100 mM pH 8,0. Em seguida o extrato foi centrifugado a 2.000 rpm durante 20 minutos a 4° C. Para a quantificação retirou-se 100 µL 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.

4.8.2 Açúcares solúveis totais (AST)

A determinação do conteúdo de carboidratos totais foi realizada segundo protocolo de Dubois et al. (1956). O método de extração foi constituído em transferir 200 mg de folha fresca 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 0,1 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 (mg g^{-1} MF) a partir de curva padrão de glicose.

4.8.3 Aminoácidos livres totais (AALT)

O extrato foi obtido utilizando 200 mg de massa fresca de folhas para 15 mL de água destilada, em tubos hermeticamente fechados e aquecidos em banho-maria a 100° C por 1 hora. Foi coletado o sobrenadante e filtrado, a concentração de AALT foi determinada segundo o método descrito por Peoples et al. (1989) com algumas modificações. Alíquotas de 100 µL do extrato foram colocadas em tubos de ensaio acrescidas de 400 µL de água destilada. Em seguida foram adicionados 250 µL de Tampão Citrato a 200 mM (pH = 5,0) e 250 µL 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 absorvância. A concentração de AALT (mg g^{-1} MF) foi determinada a partir de curva padrão de glutamina.

4.8.4 Prolina (PRO)

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^{-1} MF), foi determinada a partir de curva padrão de L-prolina.

4.8.5 Glicina betaína (GB)

O extrato foi obtido utilizando 200 mg da massa fresca (MF) de folhas para 5 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 Grattan (1983). Para quantificação, 250 μL de extrato + 250 μL de H_2SO_4 2N foram colocadas em tubos falcon no banho de gelo por 1 hora. Em seguida foi adicionado 200 μL de reagente KI-I_2 e as amostras foram mantidas a 4 °C por 16 horas. Os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 15 min a 0 °C, fazendo 2 lavagens com H_2SO_4 1N. O sobrenadante foi cuidadosamente aspirado e os cristais foram dissolvidos em 1,2-dicloroetano e misturados vigorosamente. Após 2 horas de repouso, as absorvâncias 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^{-1} MF.

4.8.6 Amido (AM)

Para a quantificação e extração de amido foi utilizado o material precipitado proveniente do ensaio de AR, sendo o mesmo feito através do extrato etílico. Foi adicionado 2 mL de ácido perclórico 30% (v/v), em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 5 min. Uma alíquota de 50 μ l do extrato foi misturado a 450 μ l de água destilada, acrescentado posteriormente o fenol 5% (m/v), mais 2,5 mL de ácido sulfúrico. Após 20 min, foram feitas as medições em espectrofotometria a 490 nm e a concentração de AM (mg g^{-1} MF) foi determinada a partir de curva padrão de glicose.

4.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e ao teste de comparação de médias (Tukey, $P < 0,05$), quando houve interação para o Si dentro das lâminas de irrigação por meio do programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

5. RESULTADOS

5.1 Variáveis de crescimento

No presente estudo, plantas de mamoeiro foram submetidas a quatro regimes hídricos e três concentrações de silicato de potássio. Houve diferenças significativas ($P \leq 0,05$) para todas as variáveis de crescimento do mamoeiro sob os tratamentos pesquisados (Tabela 2). Observou-se ainda que todos os caracteres agrônômicos analisados, foram influenciados significativamente pelos regimes hídricos, enquanto que o Si não influenciou apenas a massa fresca de raiz (MFR). Contudo, a interação entre os tratamentos foi responsável pelas alterações observadas no volume radicular (VR), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR).

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos parâmetros agrônômicos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE, Catolé do Rocha-PB 2018.

F.V	G.L	Quadrados Médios					
		AP	DC	NF	VR	MFPA	MFR
Irrigação (I)	3	49,74**	16,138**	23,500**	32,55**	56,916**	31,631**
Silício (S)	2	7,770**	1,312*	6,250**	4,395**	1,645**	0,395 ^{ns}
Int. (I x S)	6	1,826 ^{ns}	0,201 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,951**	1,395**	0,673*
Resíduo	36	1,256	0,361	0,500	0,319	0,263	0,256
Médias		12,02	6,62	7,25	3,58	4,79	3,35
CV (%)		9,33	9,07	9,75	15,77	10,72	15,11

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ^{ns} não significativo ($p > 0,05$); CV = coeficiente de variação; AP = altura de planta; DC= diâmetro do caule; NF = número de folhas; VR = volume da raiz; MFPA = massa fresca da parte aérea e MFR = massa fresca da raiz.

Houve um acréscimo gradativo na altura das plantas (AP) em função do aumento da disponibilidade hídrica, obtendo-se uma resposta crescente, proporcional ao aumento da lâmina de irrigação. Plantas tratadas com 60 e 80% da capacidade de campo (CC) foram maiores que plantas dos demais tratamentos, chegando a um acréscimo de 75,9% nessa característica sob o tratamento 80% da CC, quando comparada as plantas tratadas com a lâmina de 20% da CC e $0,0 \text{ mL L}^{-1}$ de Si (Figura 3A).

Observou-se ainda, que as concentrações de Silício (Si) aplicadas não influenciaram significativamente a AP, exceto para o tratamento S2 na lâmina de 20% da CC. Entretanto, observou-se um incremento nessa variável, em plantas sob os tratamentos S2 e S3 nas lâminas

de 20 e 40% da CC. Nesses tratamentos, houve uma redução de 37,2% na lâmina de 20%, em relação à lâmina de 80% da CC, em resposta a aplicação de 1,5 mL L⁻¹ de Si (S2). Esse fato sugere que até a lâmina de 40% da CC os efeitos observados na AP foram relacionados ao tratamento com Si, em especial à dose S2 (Figura 3A). Esses resultados corroboram com o efeito visual, demonstrado na figura 4 onde, claramente, observou-se um incremento na AP quando tratadas com S2, em relação aos demais tratamentos.

O aumento da disponibilidade hídrica também causou um aumento proporcional no NF, onde a lâmina de 80% (CC), proporcionou em média 5 folhas a mais que a lâmina de 20% (CC). Adicionalmente, os tratamentos S2 e S3 possibilitaram um aumento no NF em plantas sob condições de déficit hídrico, principalmente nas lâminas de 20 e 40% da CC.

O diâmetro caulinar (DC) não foi afetado significativamente pela interação Si x L, embora essa característica tenha sido afetada pela disponibilidade hídrica (Figura 3C). Observou-se ainda uma expansão no DC de até 46,3% em plantas sob 80% da CC, em comparação com a menor lâmina aplicada (20%), quando observado na dose controle de Si (S1) (Figura 3C).

O aumento da disponibilidade hídrica também aumentou expressivamente o volume radicular (VR) (490%), ainda sob condições de Si 0,0 mL L⁻¹, na lâmina de 80% em comparação com o regime hídrico de 20% de CC. A aplicação exógena em plantas de mamoeiro promoveu efeito significativo em VR a 1% de probabilidade, sugerindo que o S2 tenha promovido aumento no volume das raízes, principalmente as que estavam submetidas aos menores regimes hídricos. Por outro lado, em condições ótimas de disponibilidade hídrica (80% da CC), o tratamento com Si (S2 e S3) não influenciaram no VR, em especial o S3, onde verificou-se decréscimo significativo. (Figura 3D). Tal fato pode ser também observado na figura 5, onde verificou-se uma maior expansão radicular no crescimento pivotante e na emissão de raízes laterais em plantas de lâmina de 80% da CC, tratadas com S1. Além disso em condições de estresse hídrico (20 e 40% da CC), o tratamento S2 promoveu uma maior expansão radicular.

A massa fresca da parte aérea (MSPA) e massa fresca radicular (MFR) aumentaram em plantas tratadas com a lâmina de 80% da CC, chegando a uma diferença a 219% e 271% para MFPA e MFR, respectivamente, quando comparado com os valores da lâmina de 20% da CC. Houve também um decréscimo gradativo na MFPA e MFR em resposta ao déficit hídrico. O Si não promoveu resultados expressivos para os parâmetros avaliados, entretanto o tratamento S2 causou incremento significativo nessas variáveis, quando aplicados em plantas com 40% da CC (Figura 3E e F).

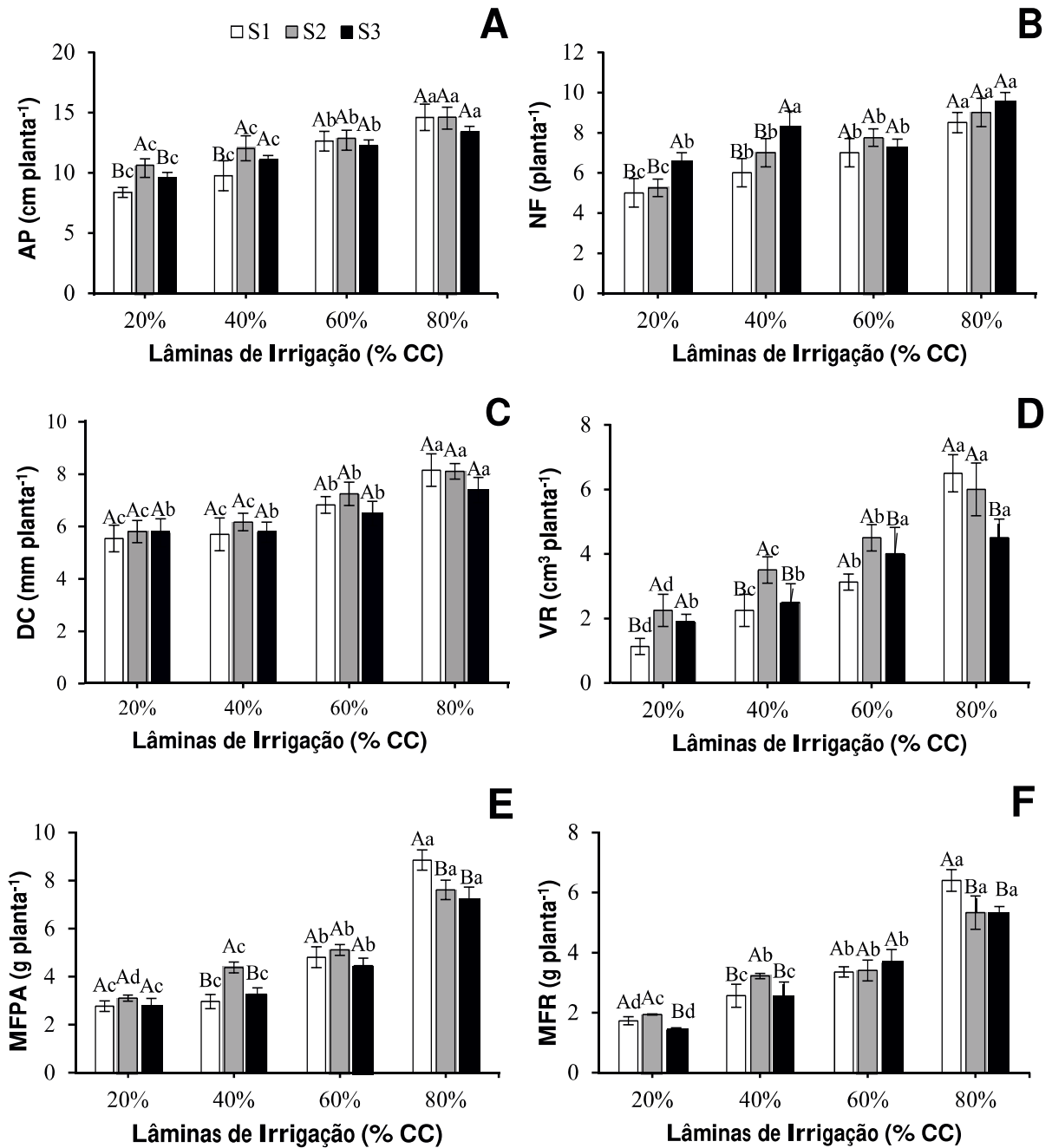


Figura 3. Altura de plantas (AP) (A), número de folhas (NF) (B), diâmetro caulinar (DC) (C), volume radicular (VR) (D), massa fresca da parte aérea (MFPA) (E) e massa fresca radicular (MFR) (F) de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018.

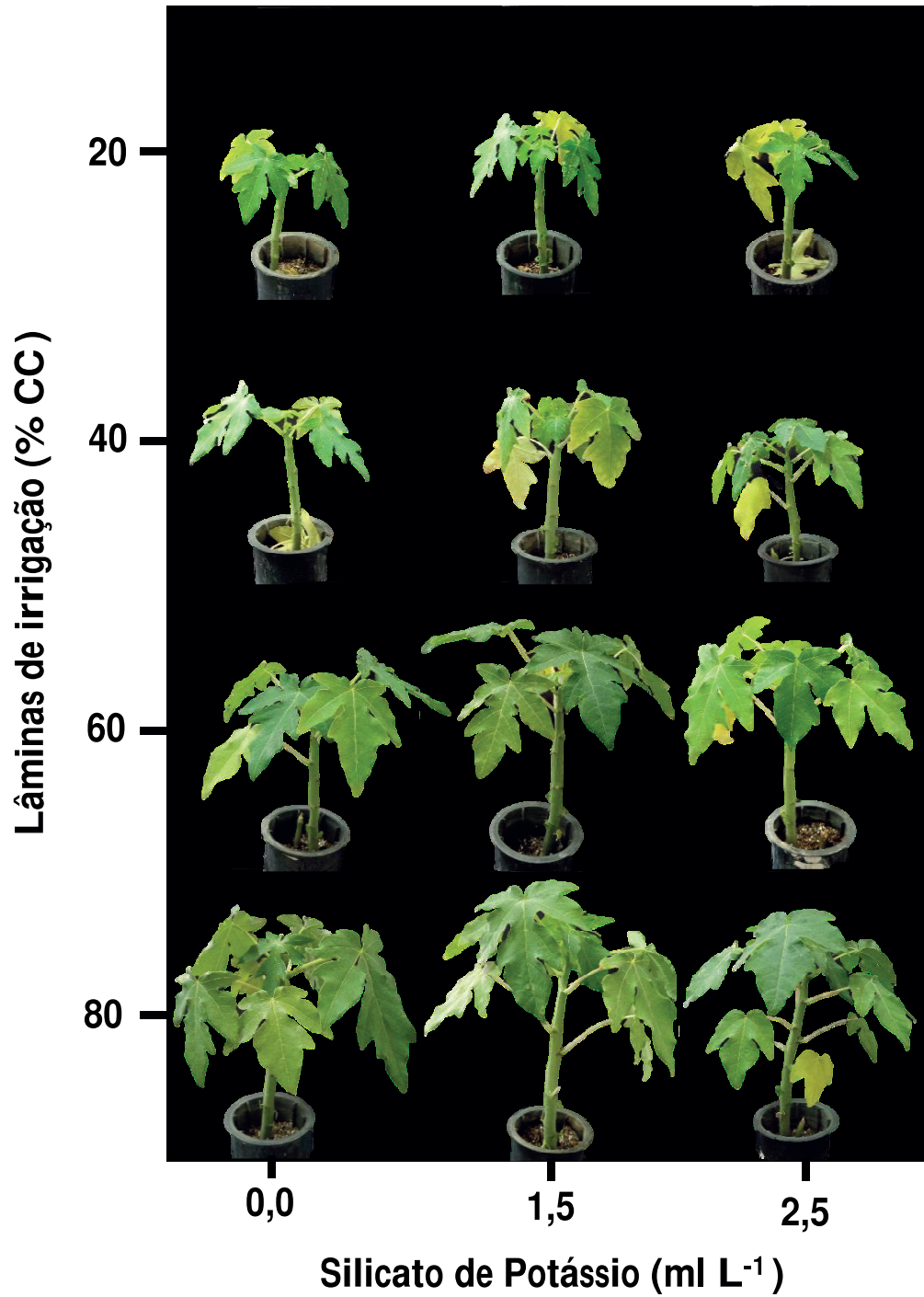


Figura 4. Parte aérea de mudas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.

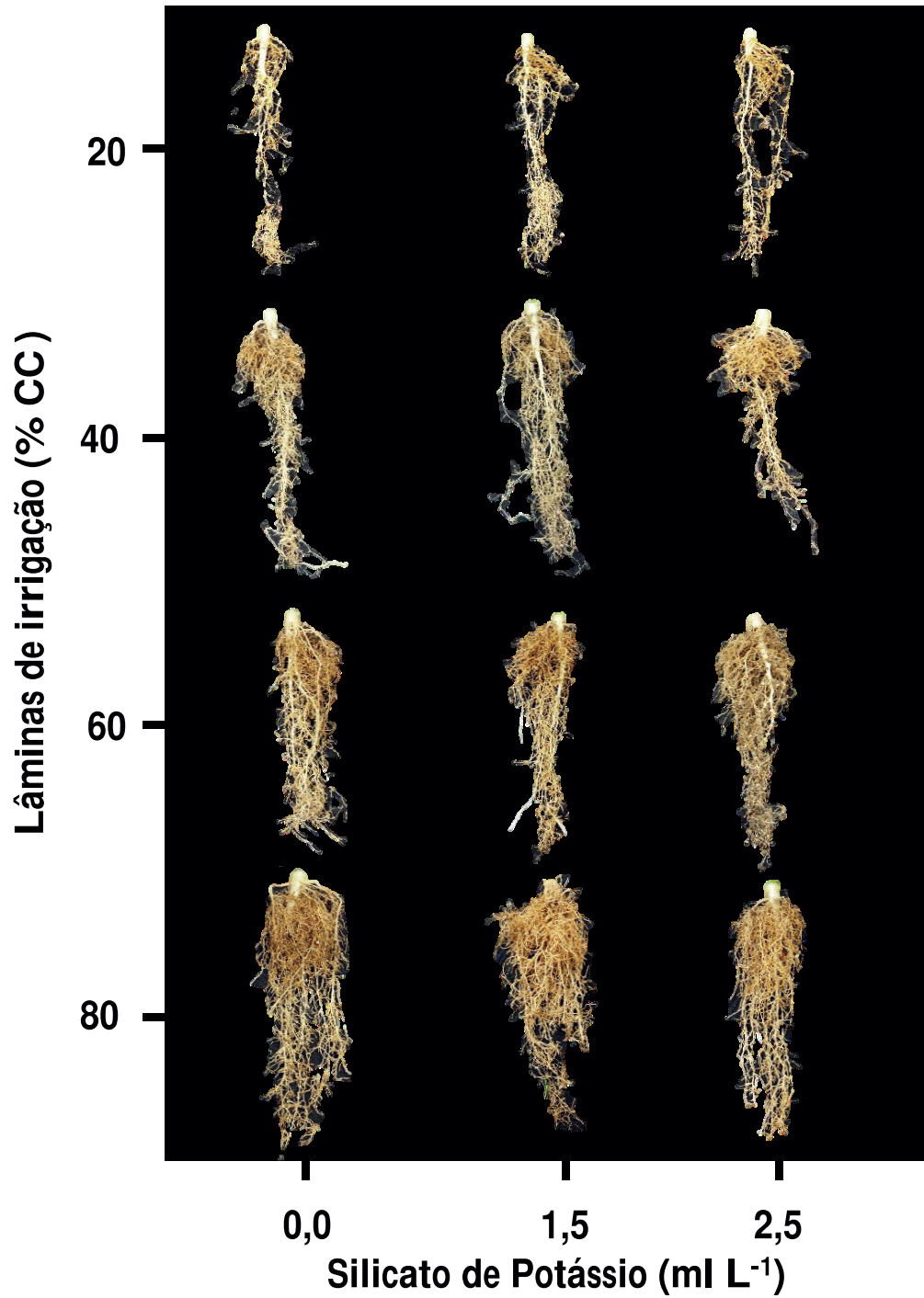


Figura 5. Raiz de mudas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.

5.2 Pigmentos fotossintéticos

Plantas de mamoeiro cultivadas sob condições de déficit hídrico e aplicação de doses de Si, expressaram resposta positiva aos tratamentos em nível de 1% de probabilidade para os teores de clorofila *a*, *b* e Total (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos pigmentos fotossintéticos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha-PB, 2018.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios		
		Clorofila total	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>
Irrigação (I)	3	3457,909**	29947,750**	614,187**
Silício. (S)	2	56273,770**	3536,465**	4146,333**
Int. (I x S)	6	5540,826**	2729,111**	895,833**
Resíduo	36	644,840	565,659	44,923
Médias		407,22	293,81	113,60
CV (%)		6,24	8,09	5,9

** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ^{ns} não significativo ($p > 0,05$); CV = coeficiente de variação.

As doses de Si 1,5 e 2,5 mL L⁻¹ (S2 e S3) promoveram aumento nos teores de clorofilas em resposta à diminuição da disponibilidade hídrica. O teor de clorofila A do tratamento controle (S1) decresceu proporcionalmente à redução da disponibilidade hídrica, chegando a uma redução de aproximadamente 36,7% na lâmina de 20% quando comparada com a lâmina de 80%. Entretanto o S2 e S3, aumentou o teor de clorofila A em plantas sob déficit hídrico, enquanto que em plantas não tratadas com Si o teor de clorofila A foi estável, mesmo nas menores lâminas, (20, 40 e 60% da CC) (Figura 6A).

O teor de clorofila B foi acentuado com a aplicação de Si em plantas com disponibilidade hídrica restrita. Por outro lado, plantas tratadas com S1 expressaram redução no teor de clorofila B nas lâminas 20 e 40% da CC (Figura 6B). Ainda se observou maiores valores de clorofila A em relação a clorofila em todas as condições impostas.

Observou-se que plantas que não receberam a aplicação de Si reduziram seus pigmentos fotossintéticos, proporcional a redução da disponibilidade hídrica (Figura 6C). No entanto verificou-se ainda que a adubação silicatada promoveu um acréscimo nos teores de clorofilas totais, principalmente no tratamento S3. Além disso constatou-se que na lâmina de

80% da CC, as plantas obtiveram um valor médio de $407 \mu\text{g cm}^{-2}$, enquanto que na lâmina de 20%, o valor médio de $456 \mu\text{g cm}^{-2}$, sendo essa diferença de 12%.

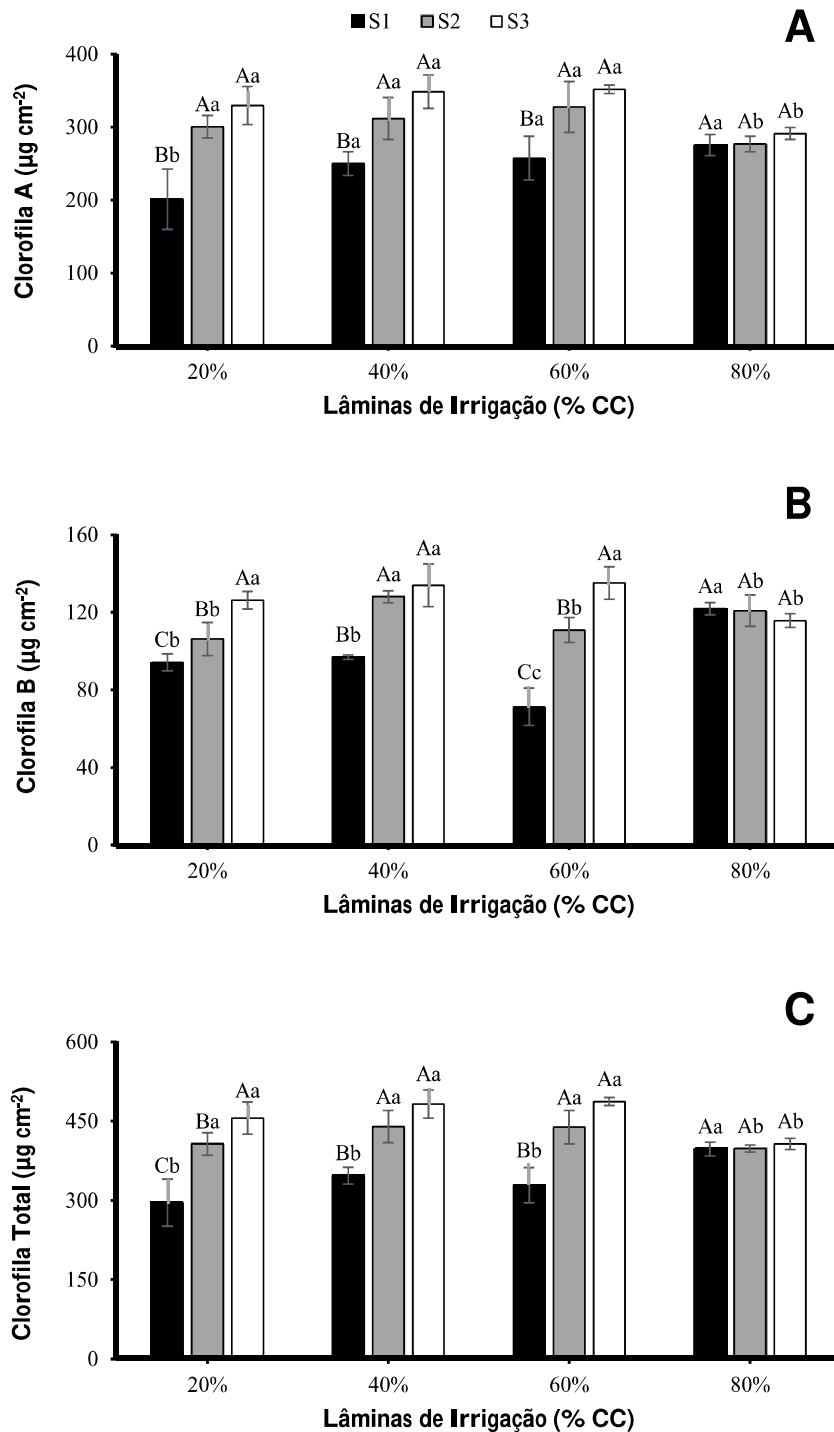


Figura 6. Clorofila A (A), Clorofila B (B), e Clorofila Total (C), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018.

5.3 Características fotossintéticas

No presente estudo plantas de mamoeiro submetidas a diferentes regimes hídricos e aplicação de silicato de potássio sofreram influência significativa a 5% de probabilidade em todos os parâmetros fotossintéticos analisados (Tabela 4). Isso sugere que a suplementação silicatada tem efeito positivo sob a mitigação dos efeitos deletérios causados pelo déficit hídrico, observando ainda uma interação significativa entre esses fatores (Irrigação x Silício).

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos parâmetros fotossintéticos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha -PB, 2018.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		A	E	Ci	gs	EiUA	EiC
Irrigação (I)	3	94,250**	17,798**	21398,538**	0,013**	5,880**	0,0005**
Silício. (S)	2	1,895**	0,333**	3052,705**	0,001**	0,904**	0,0001**
Int. (I x S)	6	1,395**	0,194*	319,877**	0,0001**	0,114 ^{ns}	0,00004**
Resíduo	36	0,194	0,062	78,052	0,00003	0,088	0,00001
Médias		7,04	2,27	177,861	0,060	3,60	0,039
CV (%)		6,26	11,01	4,97	8,88	8,28	7,98

**significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ^{ns} não significativo ($p > 0,05$); CV = coeficiente de variação; A = fotossíntese líquida; E= transpiração; Ci = concentração interna de CO₂; gs = condutância estomática; EiUA = eficiência instantânea do uso da água; EiC = eficiência instantânea de carboxilação.

A fotossíntese foi severamente afetada pelo déficit hídrico, evidenciado pelo decréscimo da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (Ci), que foi proporcional à redução das lâminas. Houve um aumento de 217,3 e 388% respectivamente em plantas do tratamento S1 na lâmina de 80% da CC quando comparada a menor lâmina de água (20% CC) (Figura 7A e B). O tratamento S3 na lâmina de 80% promovem os maiores valores de fotossíntese líquida (10,57 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa de transpiração (4,14 $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Observou-se, contudo, que o tratamento S2 incrementou os valores de fotossíntese líquida e gs, sendo esse incremento mais acentuado na lâmina de 60% da CC.

A condutância estomática e concentração interna de CO₂, decresceram proporcionalmente com a redução da disponibilidade hídrica. A gs foi mais afetada em resposta à restrição hídrica, sendo verificada uma diferença de 635,8% entre a maior e menor lâmina de irrigação no tratamento sem Si, enquanto essa diferença foi de aproximadamente

111,5% para a *Ci*. Entretanto, a suplementação silicatada proporcionou redução dos efeitos deletérios do déficit hídrico, verificando-se aumento de 92,45% na gs de plantas do tratamento S2 na lâmina de 20%, já para *Ci* esse incremento foi de 34,7% (Figura 7C e D)

As maiores doses de Si estudadas não influenciaram a eficiência instantânea no uso da água (*EiUA*). Contudo, as plantas expressaram comportamento adaptativo em resposta à baixa disponibilidade hídrica, ou seja, quanto menor a disponibilidade hídrica, menor foi o grau de abertura estomática, reduzindo assim, a perda de água nas menores lâminas. Já para eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*) houve um acréscimo proporcional às maiores lâminas (20 e 40% da CC), observando ainda que os maiores tratamentos silicatados (1,5 e 2,5 mL L⁻¹), também não incrementaram o parâmetro supracitado.

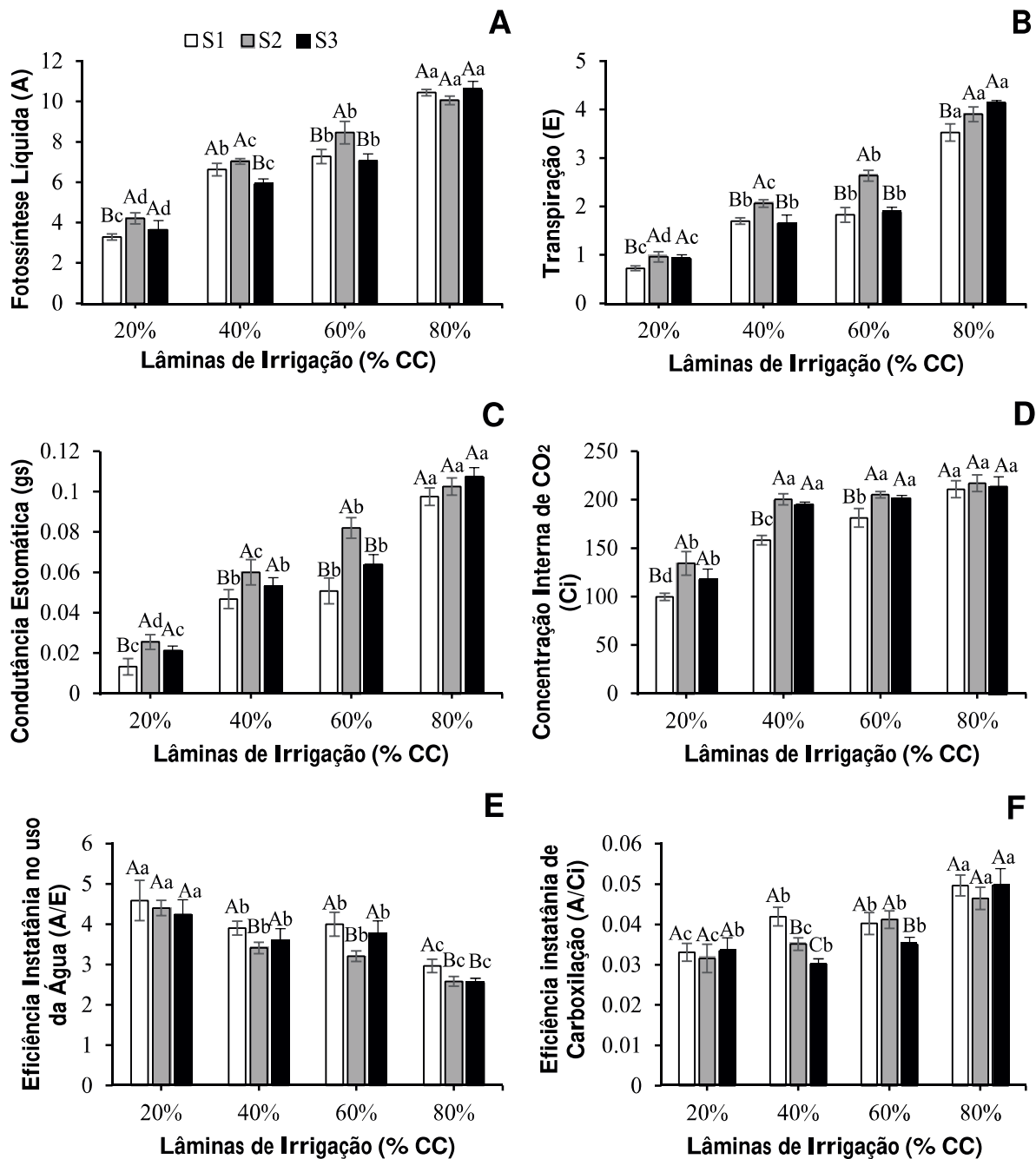


Figura 7. Fotossíntese Líquida (A), Transpiração (B), Condutância Estomática (C), Concentração interna de CO₂ (D), Eficiência Instantânea no Uso da Água (E) e Eficiência Instantânea de Carboxilação (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018.

5.4 Características bioquímicas

Os compostos nitrogenados (PST, AALT, GB e PRO) e carboidratos (AST e AM) foram todos influenciados significativamente ($p > 0,1$) em função das doses de silício. Entretanto apenas o AM, PRO e AALT foram influenciados significativamente pelos regimes hídricos. Todos esses parâmetros sofreram influência na interação entre esses fatores (I x S), exceto a glicina-betaina (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos parâmetros bioquímicos em plantas de mamoeiro cultivadas sob lâminas de irrigação e aplicação de silício aos 60 DAE. Catolé do Rocha, PB, 2018.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios					
		AST	PST	AM	PRO	GB	AALT
Irrigação (I)	3	30,978 ^{ns}	51,126 ^{ns}	0,534 ^{**}	337,557 ^{**}	0,004 ^{ns}	2117,892 ^{**}
Silício. (S)	2	2449,732 ^{**}	195,565 ^{**}	0,265 ^{**}	1596,711 ^{**}	0,057 ^{**}	3578,48 ^{4**}
Int. (I x S)	6	1023,800 ^{**}	102,015 ^{**}	0,040 [*]	416,471 ^{**}	0,005 ^{ns}	1206,391 ^{**}
Resíduo	36	124,230	20,410	0,014	46,394	0,002	55,128
Médias		96,35	68,74	1,49	48,80	0,54	107,03
CV (%)		11,57	6,57	8,16	13,96	9,26	6,94

** significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); ^{ns} não significativo ($p > 0,05$); CV = coeficiente de variação; AST = açúcares solúveis totais; PST = proteínas solúveis totais; AM = amido; PRO = prolina; GB = glicina-betaina e AALT = aminoácidos livres totais.

Os níveis de PST não foram influenciados pelos regimes hídricos, entretanto o tratamento S2 promoveu incremento de 30% nesse parâmetro, quando comparado ao tratamento S1 na lâmina de 20% (Figura 8A). Verifica-se ainda, na figura 8B, que as lâminas de irrigação aplicadas não influenciaram significativamente os níveis de AALT em relação ao tratamento controle (S1). Entretanto os demais tratamentos de Si influenciaram positivamente o aumento desse composto nitrogenado em folhas, sendo que a dose S2 proporcionou um incremento de 86,5% na lâmina de 20% (163,4 mg g⁻¹ MF) quando comparada à lâmina de 80% (87,64 mg g⁻¹ MF).

Redução das lâminas somadas ao tratamento S1 provocou redução no teor de glicina-betaina (15%). Por outro lado, constatou-se um aumento nos níveis de glicina-betaina nos tratamentos S2 e S3 em especial na lâmina de 40% (0,63 e 0,62 mg g⁻¹ MF respectivamente) (Figura 8C).

Em relação a PRO, percebeu-se que quanto maior a disponibilidade hídrica, maior foram os níveis de prolina em folhas de mamoeiro cultivadas sob condições de déficit hídrico, verificando-se ainda uma redução de aproximadamente 51% na lâmina de 20%, quando comparada com a lâmina de 80% da CC. Os tratamentos com Si incrementaram significativamente os teores de PRO, expressando aumento gradativo à medida que se reduzia a disponibilidade hídrica às plantas. O tratamento S3 promoveu maiores níveis de PRO, principalmente na lâmina de 20% (CC), chegando a uma concentração de 70,04 mg g⁻¹ MF, enquanto o tratamento sem Si expressou uma média de 29,06 mg g⁻¹ MF, chegando a uma diferença de 141%.

A concentração de amido, reduziu em folhas diretamente proporcional com a redução da disponibilidade hídrica, quando observados pelo tratamento S1, chegando essa redução a aproximadamente 60%. Entretanto a suplementação com Si incrementou os níveis de amido em plantas sob condições de déficit hídrico em até 34%.

A maior concentração de açúcares solúveis totais (AST) em folhas de mamoeiro foi observada na lâmina de 80%, ocorrendo redução proporcional à redução hídrica. Houve ainda decréscimo de 19% entre a menor e a maior lâmina de irrigação (Figura 8E). Porém, foi verificado que o tratamento S2 promoveu um acréscimo nos níveis de AST a medida que se reduzia a disponibilidade hídrica. No tratamento S2 o AST da lâmina de 80% foi de 74,14 µg g⁻¹ MF, enquanto que na lâmina de 20% esse valor foi de 118,7 µg g⁻¹ MF, chegando a uma diferença de 60,1%.

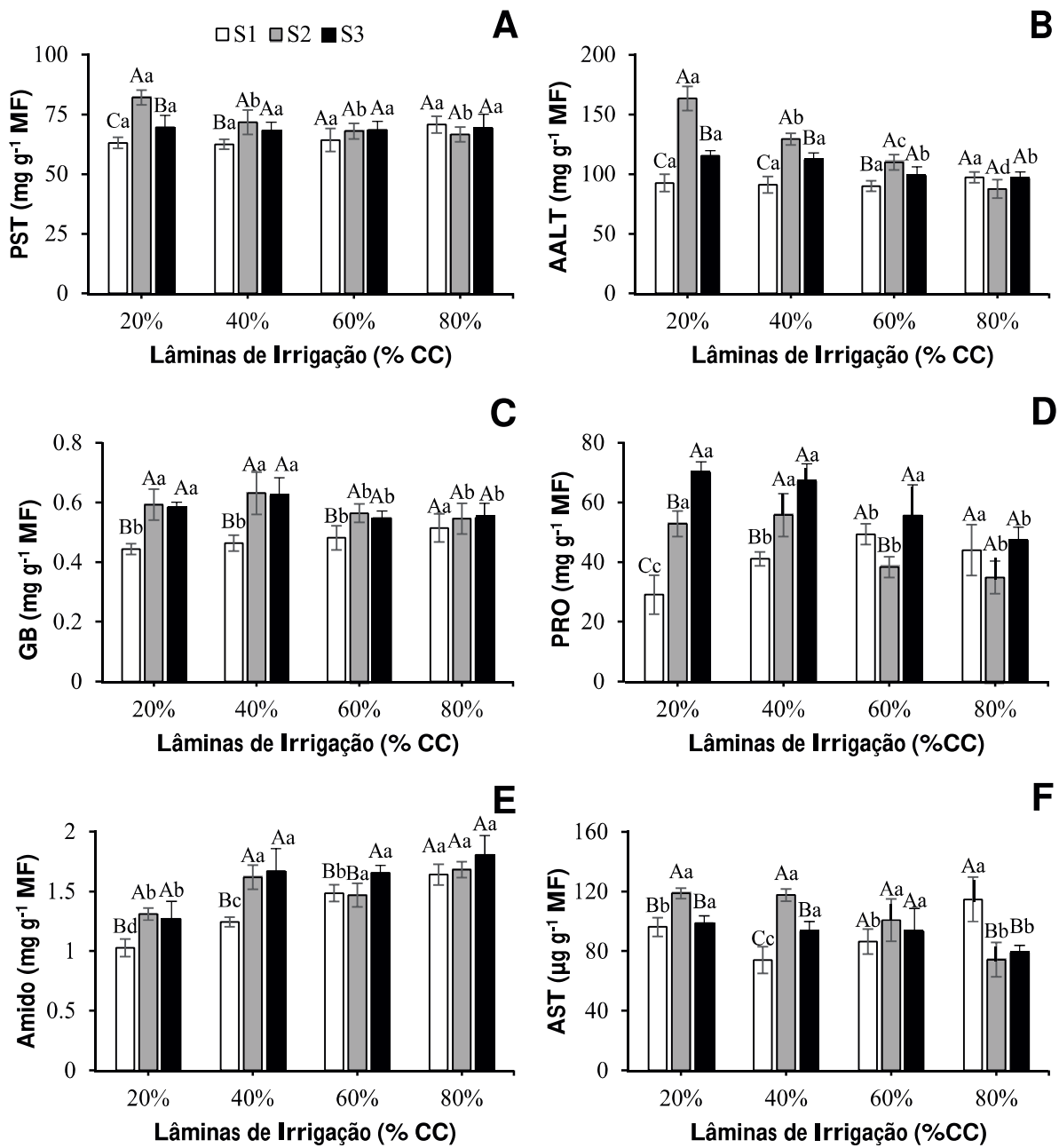


Figura 8. Proteínas solúveis totais (PST) (A), aminoácidos livres totais (AALT) (B), glicina-betaina (GB) (C), prolina (PRO) (D), Amido (AM) (E) e açúcares solúveis totais (AST) (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018.

6. DISCUSSÃO

As características de crescimento dependem do ambiente onde a planta está inserida e das condições impostas a elas, ocorrendo redução no desenvolvimento quando em condições de déficit hídrico, devido à redução da pressão de turgescência das células em crescimento (MUNNS e TESTER, 2008). Neste experimento, observou-se aumento na altura de plantas proporcional à disponibilidade hídrica (Figura 3A). A seca provoca efeitos adversos sob o crescimento, principalmente no consumo de fotoassimilados das folhas em expansão e na fotossíntese, que em geral, é proporcional a área foliar. Essa redução reflete em limitações no desenvolvimento vegetativo, especialmente na área foliar e no número de folhas, além de acelerar a senescência e a abscisão foliar e afetar o número e as taxas de crescimento dos ramos e do caule (TAIZ e ZEIGER, 2017). Esse fato é corroborado pelo decremento de AP, NF, DC, VR, MFPA e MFR, que foram proporcionais à redução da disponibilidade hídrica.

Entretanto, ambas as doses de Si aplicadas (1,5 e 2,5 mL L⁻¹) mitigaram os efeitos deletérios do déficit hídrico através da manutenção do crescimento vegetativo em níveis similares aos observados em plantas submetidas às lâminas 60 e 80% da CC e tratadas com Si 0,0 (Figura 3). O efeito da adubação foliar silicatada em plantas sob condições de estresse hídrico, indica que o Si é um fitorregulador de mudanças fisiológicas na planta, possivelmente a partir da redução do potencial hídrico celular, levando ao desenvolvimento de processos reguladores de perda de água, tais como o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, proporcionando um melhor desenvolvimento vegetativo (NERI et al., 2009). Resultados semelhantes foram encontrados por Mazzuchelli et al. (2014) que, ao estudar o crescimento de mudas de eucalipto sob estresse hídrico, observaram maior número de folhas em plantas tratadas com Si. Os autores ainda ressaltaram que a aplicação de Si poderia afetar positivamente o crescimento e o desenvolvimento de mudas, sendo esse efeito observado tanto em condição normal como sob condição de estresse hídrico, atuando como fitoregulador e como agente mitigador do estresse hídrico. Também Pulz et al. (2008), ao avaliarem a influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata, sob deficiência hídrica, verificaram que fornecimento de Si à cultura, mediante a aplicação de silicato, proporcionou maior altura de plantas e melhoria das características morfológicas gerais. Esse efeito também foi verificado em plantas de feijoeiro, onde o Si proporcionou uma maior altura de plantas e diâmetro caulinar (ALCÂNTARA et al., 2015).

Uma das principais características que confere às plantas maior tolerância ao déficit hídrico é o volume radicular (RAMOS JUNIOR et al., 2013). Como o estresse hídrico ocorre

de forma gradual, o contato entre a superfície das raízes e do solo é maximizado pela emissão dos pêlos radiculares, com consequente aumento da área superficial e capacidade de absorção de água (RAMOS JUNIOR et al., 2013). Neste trabalho, o Si visivelmente promoveu aumento da emissão de raízes laterais (Figura 5). Vale destacar que o VR foi a característica mais influenciada pelo Si, seguido pelo NF e AP.

Além de alterações do NF, o Si também promoveu mudanças na composição dos pigmentos fotossintéticos (Figura 6). Verificou-se no presente estudo, o aumento nos teores de clorofilas em plantas tratadas com Si, em resposta ao déficit hídrico. Sugere-se, portanto, que o Si possa mitigar os efeitos deletérios da seca, promovendo aumento da eficiência fotossintética devido ao aumento na absorção de luz e, conseqüentemente, aumento na transmissão de elétrons pela cadeia transportadora de elétrons durante a fase fotoquímica da fotossíntese. Ressalta-se que os pigmentos fotossintéticos desempenham funções importantes na fotossíntese, sendo as clorofilas responsáveis pela captação de energia luminosa, evidenciando a clorofila *a* e *b* como os principais pigmentos dos complexos coletores de luz para as reações fotoquímicas (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Segundo Korndorfer et al. (1999) o efeito do Si na fotossíntese possivelmente está associado ao fato do Si ser acumulado nas células epidérmicas da parte aérea, melhorando o ângulo de abertura das folhas tornando-as mais eretas, diminuindo o autosombreamento e favorecendo um melhor aproveitamento da luz. Contudo, nesse experimento, não foi possível evidenciar alterações visuais no posicionamento das folhas (Figura 4). Resultados semelhantes também foram observados por Pincelli (2010) que, estudando cultivares de cana-de-açúcar tolerantes à deficiência hídrica, observaram redução no teor de clorofila *a* associada à redução da disponibilidade hídrica. Braga et al. (2009), em plantas de morangueiro, verificaram que, quando foram tratadas com Si, apresentaram maior teor de clorofila. Carvalho-Junior (2008) e Souza (2008) indicaram que o Si é um suplemento nutricional que atua através do aumento de pigmentos fotossintéticos o que, conseqüentemente, aumenta a taxa fotossintética.

No presente estudo, também observou-se que os teores de clorofila *a* foram maiores do que os de clorofila *b* (Figura 6A e B). A clorofila *a* é o principal pigmento utilizado na fase fotoquímica, enquanto que 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, como é o caso da clorofila *b* (STREIT et al., 2005).

A fotossíntese, é o principal mecanismo fisiológico dos vegetais e é sensivelmente influenciada pelas condições ambientais. A restrição hídrica é um dos principais fatores que

comprometem a taxa fotossintética. Além disso, as condições hídricas e as trocas gasosas possuem relação direta com o influxo de CO_2 , que ocorre necessariamente através dos estômatos, onde também ocorre o efluxo de água, por meio da transpiração (SILVA et al., 2015). Sendo assim, o movimento estomático pode ser considerado o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores (SILVA et al., 2010). Desta forma, a indisponibilidade hídrica no solo pode causar fechamento estomático, limita a condutância estomática e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese líquida (SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2015). Esses fatos corroboram com o presente estudo, onde a baixa disponibilidade hídrica reduziu, proporcionalmente, a condutância estomática, a transpiração, a concentração interna de CO_2 e a fotossíntese líquida.

A aplicação de Si aumentou a atividade fotossintética, evidenciada pela fotossíntese líquida, condutância estomática e concentração interna de CO_2 (Figura 7). Esse aumento induzido por Si tem sido acompanhado pelo aumento no teor de açúcares solúveis totais e amido, sugerindo que o metabolismo de carboidratos segue a tendência de aumento da atividade fotossintética. É possível, assim, sugerir que devido a esse fato, a planta pode não sofrer estresse oxidativo, devido a manutenção do fluxo energético normal ao longo da cadeia transportadora de elétrons do cloroplasto. Além disso, o crescimento vegetativo observado especialmente pela AP, NF e VR sugere que as alterações observadas no metabolismo dos carboidratos podem corroborar com o incremento no desenvolvimento vegetativo observado em plantas tratadas com Si. Não obstante, o desenvolvimento mais evidente de raízes, em detrimento da parte aérea, indica que no *pool* de açúcares solúveis totais, o quantitativo de açúcares não-redutores é mais significativo (Figura 8E e F). Esses dados são corroborados por Medeiros et al. (2013), que, ao estudar o efeito do déficit hídrico em cana-de-açúcar observou que a fotossíntese, o metabolismo de carboidratos e o crescimento estão intrinsecamente correlacionados.

Contudo, as limitações na atividade fotossintética em todos os tratamentos seriam, portanto, relacionadas a limitação estomática, uma vez que, incrementos em C_i são seguidos por aumentos em g_s e, assim, quanto maior a abertura estomática, maior a difusão de CO_2 para a câmara subestomática (NASCIMENTO, 2009). Bosco et al. (2009) também comentaram que o fechamento estomático e a conseqüente redução do fluxo normal de CO_2 em direção ao sítio de carboxilação constituem um dos principais responsáveis pela redução da fotossíntese sendo a água um dos fatores responsáveis pelo processo regulatório da abertura e fechamento dos estômatos.

No presente estudo também foi observado aumento no $EiUA$ (A/E) e uma redução na EiC (A/Ci) proporcional à diminuição da lâmina de água. Kerbaury (2008) sugere que quanto menor é a disponibilidade hídrica, menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda d'água, conseqüentemente, a $EiUA$ é maior mantendo o mínimo de equilíbrio hídrico. Esse autor também ressalta que plantas do tipo C3, como o mamão, são limitadas a assimilar CO_2 em situações hídricas adversas (KERBAUY, 2008). Por outro lado, a redução no EiC pode ser provocada quando a concentração de CO_2 intercelular são muito baixas, o influxo deste componente nas células do mesófilo é restringido, assim, a planta utiliza o CO_2 proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética, tornando-a limitada (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Entende-se, portanto que o Si possa atenuar parcialmente os efeitos deletérios do déficit hídrico nos processos fotossintéticos. Outros estudos propõem que o Si é capaz de melhorar a eficiência fotossintética, pois esse nutriente é depositado na parede celular das folhas, aumentando seu teor de clorofila, melhorando a arquitetura da planta, permitindo maior penetração de luz solar, maior absorção de CO_2 e diminuição da transpiração excessiva, ocorrendo assim maior eficiência e incremento da taxa fotossintética (LIANG et al., 2007; MA e YAMAJI 2008; NERI et al., 2009). Com isso é possível inferir que com uma maior concentração interna de CO_2 , e uma maior fotossíntese líquida, em condições de déficit hídrico, o Si impulsionou os ganhos de fitomassa seca.

O estudo dos processos fotossintéticos e metabólicos das plantas é de grande importância para entender o comportamento vegetal em condições adversas. Portanto, é importante analisar as alterações bioquímicas, como o acúmulo de solutos compatíveis, diretamente associado à tolerância aos estresses abióticos durante os vários processos, especialmente em relação a seca, indicando que esses solutos desempenham um papel fundamental na osmoproteção (SIMPSON et al., 2014). No presente estudo verificou-se que os teores de aminoácidos livres totais, prolina e amido, foram influenciados significativamente pela lâmina de água. Em especial, o aumento nos teores de aminoácidos pode não estar relacionado à síntese proteica, tendo em vista o aumento da concentração de PST. Assim, sugere-se que o aumento nos níveis de AALT tenha ocorrido em resposta ao tratamento com Si, em um possível ajustamento osmótico proporcionado pela ativação de vias de síntese de aminoácidos (anabolismo). Corroborando com Park et al. (2015), estudando expressão gênica e sequenciamento de aminoácidos em cana-de-açúcar sob condições de estresse hídrico e salino.

Observa-se ainda um acúmulo de PST estimulada pelas doses de Si. Na menor lâmina de irrigação, este efeito pode estar relacionado à síntese de proteínas que, em condições adversas, contribuem para a tolerância ao estresse hídrico (MOHAMMADKANI e HEIDARI, 2008). O aumento/manutenção nos níveis de PST em plantas tratadas com Si em detrimento a reduções nas concentrações de AALT em plantas sem Si, observados em folhas após 60 DAE, sugerem alterações no metabolismo do mamoeiro que proporcionaram resposta a condição de estresse imposta. O mesmo também foi observado por Székely et al. (2008) em plantas de *Arabidopsis*.

Os níveis de GB e PRO também aumentaram em resposta às menores lâminas de irrigação (20 e 40% da CC), sendo as mesmas impulsionadas através da suplementação de Si. A glicina-betaína age como estabilizador osmótico e ajuda na proteção de macromoléculas sob desidratação, a partir de uma sinalização particular e consequente aumento na síntese deste aminoácido, sendo considerado um excelente osmoprotetor (SILVA et al., 2009). O acúmulo de GB em folhas de mamoeiro quando submetidos ao déficit hídrico, pode estar associado a uma forma de diminuição do potencial hídrico para absorção de água, exercendo seu papel protetor e/ou a um osmorregulador, já que a GB é conhecido por se acumular em resposta a diversos tipos de estresse em plantas (HASSINE et al., 2008). A GB protege as membranas dos tilacóides, o que mantém a eficiência fotoquímica na fotossíntese (ASHRAF e FOOLAD, 2007). Tal fato pode ser comprovado, observando a figura 8, em que as concentrações de Si incrementaram os parâmetros fotossintéticos, em paralelo com os resultados de GB.

Observou-se ainda que o silício proporcionou aumento de compostos nitrogenados (prolina e glicina-betaína), nos menores regimes hídricos (20 e 40% da CC) (figura 8C e D). Esse elemento propicia alta tolerância a períodos de deficiência hídrica, sugerindo que a maior absorção de silício pode estar relacionada com a sua maior resistência a seca (CAMARGO, 2011), devido ao silício formar uma dupla camada silicatada que impede até certo ponto a perda de água, impedindo dessa forma a quebra das proteínas e a formação de aminoácidos (SOUZA et al., 2015). Estes resultados corroboram com Sousa et al. (2013), os quais observaram que o estresse hídrico afetou diretamente os níveis dos osmorreguladores nas plantas de sorgo e a aplicação do silício demonstrou ser eficaz no controle da deficiência hídrica.

De acordo com Silva et al. (2012), em plantas submetidas a deficiência hídrica, o incremento no teor de prolina pode ser consequência do aumento da atividade de enzimas

proteolíticas, que sob o predomínio destas condições adversas, às plantas começam a promover uma maior disponibilidade deste aminoácido livre. Estas enzimas quebram as proteínas armazenadas nas plantas e reduzem sua síntese, afetando vários processos bioquímicos na tentativa de manter os níveis de água na folha, assim como o balanço osmótico celular (SOUZA et al., 2015). A prolina acumula-se durante o estresse osmótico, e ela é degradada por essa rota mitocondrial quando o status hídrico retorna ao normal. Esse acúmulo reduz o potencial hídrico da célula promovendo, assim, a retenção da água celular (TAIZ e ZEIGER 2017). Sob condições de estresse, a prolina se acumula em grandes quantidades no citosol, contribuindo substancialmente para o ajuste osmótico citosólico, sendo esse aumento associado a tolerância de plantas a desidratação (ASHRAF e FOOLAD, 2007). Assim, a homeostase de prolina precisa ser mantida, pois isso é essencial para o crescimento normal e o desenvolvimento de plantas expostas ao estresse abiótico (JOHN WILEY e SONS LTD, 2013)

Observou-se que as doses de Si promoveram um acréscimo nos teores de amido e carboidratos totais em condições de déficit hídrico, acompanhados pelo aumento na taxa fotossintética, evidenciado pelo aumento na *Ci*, *gs* e conseqüentemente incremento na fotossíntese líquida. As plantas acumulam e armazenam carboidratos na forma de amido, podendo este ser mobilizado em períodos de fornecimento limitado ou aumento das demandas energéticas, comuns durante o estresse salino e hídrico (KRÁSENSKÝ et al., 2012). Contudo, é possível que tal incremento nos valores deste soluto esteja relacionado ao aumento da hidrólise de amido, sendo observado reduções nas concentrações deste soluto nos tratamentos sem Si em plantas sob déficit hídrico.

Em condições adversas para as plantas, os açúcares solúveis sintetizados nas folhas são utilizados para manter o metabolismo (PEDROSO et al., 2014), reagindo 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 (VITORINO et al., 2012). Os resultados observados apoiam essa afirmação, isto é, as plantas de mamoeiro obtiveram uma redução no conteúdo deste soluto, até a lâmina de 60% (CC) no tratamento controle, o que também pode estar relacionado a menor mobilização de reservas (Figura 8E e F).

Estes resultados, associados aos parâmetros fotossintéticos sugerem relação entre a proteção promovida pelos osmólitos e a melhoria na atividade fotossintética, pois a medida que se reduziu a disponibilidade hídrica, ocorreu um decréscimo na taxa fotossintética.

Contudo, o tratamento com Si promoveu elevação dos teores de osmoprotetores, acompanhado de melhorias na atividade fotossintética e acúmulo de fitomassa.

De maneira geral, o estresse hídrico afetou significativamente os processos bioquímicos e os aspectos morfológicos nas plantas de mamoeiro. O Si, embora não seja um elemento essencial para as plantas, foi eficiente para mitigar os efeitos negativos causados pela deficiência hídrica, corroborando ainda com Souza et al. (2015), que obteve resultados semelhantes em plantas de milho.

Nesse estudo, pode-se supor que o estresse por seca imposto às plantas de mamoeiro durante a fase inicial por si só não foi suficiente para provocar alterações significativas no conteúdo de solutos, não se configurando assim, ajuste osmótico por condições de déficit hídrico, observando para tanto, o tratamento sem Si. Porém a aplicação de Si tem relação com as alterações nos níveis de PST, AALT, PRO e GB (Figura 8) sugerindo que para haver um possível ajustamento osmótico por compostos nitrogenados foi necessário a aplicação de pelo menos $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ de Si.

7. CONCLUSÕES

- Baseado na análise das características de crescimento radicular, número de folhas e altura de plantas, mudas de mamoeiro Hawai podem ser irrigadas com 60% da CC quando tratadas com dose de $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ de Si;
- Os tratamentos com Si ($1,5$ e $2,5 \text{ mL L}^{-1}$) aumentaram a concentração da clorofila A, B e Total e também aumento na fotossíntese líquida e transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO_2 em condições de déficit hídrico, impulsionando consequentemente o aumento de fitomassa fresca;
- O Si atenua efeitos deletérios do estresse hídrico (déficit) por meio da proteção osmótica causada pela melhoria do metabolismo de carboidratos e de compostos nitrogenados;
- O volume radicular de plantas de mamoeiro é aumentado pela aplicação foliar de Si ($1,5$ e $2,5 \text{ mL L}^{-1}$), mesmo sob condições de deficiência hídrica. Sugere-se mais estudos, no sentido de investigar a influência dessa alteração morfológica, causada pelo Si, na resistência de mamoeiro ao estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, A. S. A. Características agronômicas do feijoeiro em função de doses de silício e bioestimulantes (**Dissertação de Mestrado**). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, BA. p. 51, 2015.

ALI, S.; FAROOQ, M. A.; YASMEEN, T.; HUSSAIN, S.; ARIF, M. S.; ABBAS, F.; BHARWANA, S.A.; ZHANG, G. P. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. **Ecotoxicol Environ Saf**, v.89, p. 66–72, 2013.

ALMEIDA, A. M.; GUIMARÃES, J. J.; CANTUÁRIO, F. S.; SILVA, D. G.; SALOMÃO, L. C.; ARAÚJO, A. L. G.; SOUZA, M. L. C. **Efeito do estresse hídrico no peso de espigas de milho doce para conserva em urutaí, estado de Goiás**. IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano, 2015.

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

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E. e SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 325-30, 2001.

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

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

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BEZERRA, L. L. **Indicadores fisiológicos, bioquímicos e moleculares em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) submetido ao estresse salino e déficit hídrico**. 2015. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

BODNER G, NAKHFOROOSH A, KAUL HP Management of crop water under drought: a review. **Agron Sustain Dev** v. 35, p. 401–442, 2015

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, v. 56, p. 296-302, 2009.

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**, New York, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.

BRAGA, F. T. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 44, p. 128-132, 2009.

BRAPEX – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Papaya. 2015. Disponível em: < http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe_Brapex_Edicao_59.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2017.

CAMARGO, M. S. Silício em Cana-de-Açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 8, n. 88, 2011. Disponível em: < http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1137&Itemid=284 > Acesso em: 4 abr. 2013.

CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 281-288, 2002.

CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K. Estimation of papaya leaf area using the central vein length. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 39-42, 2001.

CARVALHO JUNIOR, P. C. de. **Aplicação de silicato de potássio via foliar o morangueiro: fotossíntese, produção e qualidade**. (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Uberlândia, UFU, 32f, 2008.

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.

CHRISTEN, D.; SCHÖNMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R. J.; D'EFAGO, G. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to

escadisease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 60, p. 504 – 514, 2007.

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. (Org.). **A cultura do mamoeiro: tecnologia de produção**. Vitória: DCM Incaper, v. 1, p. 163-97, 2003.

CONAB. Panorama da Comercialização de Frutas e Horti. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2017.

CUNHA, R. L. M.; FILHO, B. G. S.; COSTA, R. C. L.; VIÉGAS, I. J. M. Physiological assessment in young Brazilian and African mahogany plants during the dry and rainy seasons in northeastern Para state, Brazil. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. 3, p. 255-260, 2013. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

DANTAS, J. L. L.; CASTRO NETO, M. T. Aspectos botânicos e fisiológicos. In: TRINDADE, A. V. (Org.). **Mamão, Produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p.11-14, 2000.

DOORENBOS J; KASSAM AH. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: Tradução Gheyli H. R. e outros, **UFPB FAO**. p. 221, 2000.

DUBOIS M, GILLES KA, HAMILTON JK, REBER PA, SMITH F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anais Chem** v. 28, p. 350-356, 1956.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2005.

DUTRA, W. F. MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; SILVA, D. C.; MAIA, J. M. Antioxidative responses of cowpea cultivars to water deficit and salicylic acid treatment. **Agronomy Journal, Madison**, v. 109, n. 3, p. 895-905, 2017.

EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**. v. 102, p. 366-370, 1981.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, p. 306, 2006.

EMBRAPA. **O Silício e a Resistência das Plantas ao Ataque de Fungos Patogênicos**. 2011. Disponível em: <http://terere.cpa.br/portal/artigos/artigos/artigo1.html>. Data de acesso: 13 de novembro de 2017.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/ CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008.

FARIA, A. R.; NORONHA, A. C. DAS. OLIVEIRA, A. A. R.; OLIVEIRA, A. M. G.; CARDOSO, C. E. L.; RITZINGER, C. H. S. P.; OLIVEIRA, E. J. DE; COELHO, E. F.; SANTOS FILHO, H. P.; CRUZ, J. L.; OLLIVEIRA J. R. P. DE; DANTAS; J. L. L. SOUSA, L. D.; OLIVEIRA, M. A. COELHO FILHO, M. A.; SANCHES, N. F.; MEISSNER FILHO, P. E.; MEDINA, V. M.; COROLEIRO, Z. J. M. **A cultura do mamão**. 3 ed. rev. E empl. Brasília, DF, Embrapa Informações tecnológica; Cruz da Almas; EMBRAPA mandioca e Fruticultura Tropical, p. 199, 2009.

FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiol. Lett**, v.249, p. 1–6, 2005.

FERRAZ, R. L. S. BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S. MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 735-748, 2014. DOI:10.5433/1679-0359.2014 v. 35 n. 2 p.735.

FERREIRA, D. N. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. Agrotec. [online]**. v. 38, p. 109-112, 2014.

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.

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

HAMM, A. Mamão – Principais Frutas. **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. 104p.

HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 56, p. 244-253, 2010.

HASSINE, A. B.; GHANEM, M. E.; BOUZID, S.; LUTTS, S. An inland and a coastal population of the Mediterranean xero-halophyte species *Atriplex halimus* L. differ in their ability to accumulate proline and glycinebetaine in response to salinity and water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 6, p. 1315-1326, 2008.

HERRIDGE, D. F. Effect of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum-extracted exudates of soybean. **Crop Science, Madison**, v. 24, n. 1, p. 173-179, 1984.

HOAGLAND, D. R. e ARNON, D. I. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. **California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, 1950. (Circular 347).

HOROVITZ, S.; ZERPA, D.M.; ARNAL, H. Frecuencias de equilibrio de las formas sexuales en poblaciones de *Carica papaya* L. *Agronomia Tropical*, Maracay, v.3, n.3, p.149-174, 1953.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. - **Produção Agrícola Municipal: Produção Brasileira de Mamão**. 2016: Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 20 nov. 2017.

JANDA, T.; HORVÁTH, E.; SZALAI, G.; PÁLDI, E. Role of Salicylic Acid in the Induction of Abiotic Stress Tolerance. In: Hayat S., Ahmad A. (eds) *Salicylic Acid: A Plant Hormone*. **Springer, Dordrecht**. 2007.

JESUS JÚNIOR, W. C.; CECÍLIO, R. A.; VALADARES JÚNIOR, R.; CARRARA, F.; MORAES, W. B.; ALVEZ, F. R.; NEVES, C. I. Aquecimento global e o potencial impacto na cultura e doenças do mamoeiro. Vitória – ES: **Incaper**, p. 84-100, 2007.

JOHN WILEY e SONS, Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue. **Plant, Cell and Environment**, ed. 37, p. 300–311, 2014.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

KELLER, C.; RIZWAN, M.; DAVIDIAN, J. C.; POKROVSKY, O. S.; BOVET, N.; CHAURAND, P. MEUNIER, J. D. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 μM Cu. **Planta**, v. 241, p. 847–860, 2015.

KLUGE, R. A.; ULIANA, J. V. T.; SILVA, P. P. M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**. v. 7, n. 1, Piracicaba-SP. 2014.

KORNDORFER G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S., ed. Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, p. 355-374. 2006.

KHODABANDEH LOU, SH., SEPEHRI, A., AHMADVAND, G. e KESHTKAR, A. Effect of drought stress and application of silicon on yield and elements of yield of millet. **The first Conference of Agricultural Sciences**, PayamNour University, West Azarbaijan province, Naghadeh city. p. 1-14, 2013.

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.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G. KIIRATS, O. and Edwards G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynth Res** v. 79, p. 209-218, 2004.

KRÁSENSKÝ, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 4, p. 593-1608, 2012.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiology**, v. 110, p. 903-912, 1996.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.; CHRISTIE P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants. **A Review. Environmental Pollution**, v. 147, p. 422-428, 2007.

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F. de; VIDAL, J. B.; ENEAS, F. J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**. v. 42, n. 2, p. 398-403. ISSN 1806-6690, 2011.

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, p. 1-14, 2012.

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. Instituto Plantarum. São Paulo, SP. 2006. 640p.

LYRA, G. B.; **Estimativa dos níveis ótimos econômicos de irrigação e de adubação nitrogenada no mamoeiros (carica papaya L.) cultivar Golden e do híbrido UENF caliman 01**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ, 2007.

MA, J. F. e YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. **Elsevier Science**, Amsterdam, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MADRIGAL, L.; ORTIZ, A. N.; COOKE, R. D.; FERNANDEZ, R. H. The dependence of crude papain yields on different collection ('Tapping') procedures for papaya latex. **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v.31, p.279–285, 1980.

MAIA, J. M. Efeitos aditivos e interativos de tratamentos de seca e NaCl na resposta antioxidativa de raízes de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)]. (**Dissertação de Mestrado**). Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. p. 129, 2004.

MARTINS, D. S.; COSTA, A. de F. A cultura do mamoeiro: tecnologia de produção. Vitória: **INCAPER**, p. 497, 2003.

MAXWELL, K. e JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence-a practical guide, **J Exp Bot**, v. 51, p. 659–668, 2000.

MAZZUCHELLI, E. H. L.; SOUZA, M. G.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 44, n. 4, p. 443-450, 2014.

MEDEIROS, D. B.; SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; TEIXEIRA, M. M.; BUCKERIDGUE, M. S. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, p. 213-222, 2013.

MENESES, C. H. S. G. *et al.* Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, 2006.

MOHAMMDKANI, N.; HEIDARI, R. Effects of drought stress on soluble proteins in two 4296 maize varieties. **Turkish Journal of Biology**, v. 32, p. 23–30, 2008.

MORAES, J. C.; FERREIRA, R. S.; COSTA, R. R. Indutores de resistência à moscabranca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1260-1264, 2009.

MORRIS, D. L. Quantitative determination of carbohydrates with Drywood's anthrone reagent. **Science**, Washigton, 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.

NAKASONE, H. Y. **Produção de mamão nos trópicos e subtropicos**. In: RUGGIERO, C. (ed.) Mamão. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1988. p. 19–42.

NASCIMENTO, J. L. Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico. Ilhéus: UESC, p. 110. **Dissertação Mestrado**, 2009.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas. **Biotechnologia Ciências e Desenvolvimento**, 2008. disponível em <http://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/1635/tolerancia-a-seca-emplantas>. Acessado em 28/dezembro/2017.

NERI, D. K. P. GOMES, F. G.; MORAES, J. C.; GÓES, G. B. MARROCOS, S. T. P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**. v. 39, n. 6, 2009.

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 Gado de Leite**, p. 223, 1996.

PARISA SHARIFI. Effect of Silicon Nutrition on Yield and Physiological Characteristics of Canola (*Brassica napus*) under Water Stress Conditions. **International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)**. Vol. 8, p. 144-153, 2017.

PARK, J. W.; BENATTI, T. R.; MARCONI, T.; YU, Q.; SOLIS-GRACIA N.; MORA, V.; SILVA, J. A. Cold Responsive Gene Expression Profiling of Sugarcane and *Saccharum spontaneum* with Functional Analysis of a Cold Inducible *Saccharum* Homolog of NOD26-Like Intrinsic Protein to Salt and Water Stress. **PLoS ONE**, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125810>

PARK, Y. B.; COSGROVE, D. J. Uma arquitetura revisada de paredes celulares primárias baseada em mudanças biomecânicas induzidas por endoglucanases específicas de substratos. **Planta Physiol**, v. 158, p. 1933 – 1943, 2012.

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.

PEJIĆ, B., L. MAKSIMOVIĆ, D. ŠKORIĆ, S. MILIĆ., R. STRIČEVIĆ, E B. CUPINA. Efeito do estresse hídrico, no rendimento e evapotranspiração de sunflower. **Helia**, v. 32, p. 19-32, 2009.

PINCELLI, R.P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p. 78, 2010.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**. v. 32, n. 4, p. 1651-1659, 2008.

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.

- REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo Formosa cultivado em condição de campo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 815-822, 2008.
- RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M.; BHARWANA, S. A.; Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, v. 22, p. 15416–15431, 2015. doi: 10.1007/s11356-015-5305-x
- ROCHA, L. C. M.; PRADO, R de M.; ALMEIDA, T. B. F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para a cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, v. 18, p. 101-115, 2011.
- SANTOS, F. S. S.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; OLIVEIRA, C. W.; SOUSA, A. E. C. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura do mamão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 673-680, 2008.
- SANTOS, A. C. N. et al. **Fontes de silício na adubação de mamoeiro sunrise solo: efeito sobre as características químicas do solo, o desenvolvimento das plantas e a qualidade dos frutos**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo – AL, 2011.
- SHAMSI, K. The effect of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrate and chlorophyll of bread wheat cultivars. **Journal of Animal and Plant**. Ed 3: p. 1051-1060, 2010.
- SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 7-13, 2010.
- SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. 4361 A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and 4362 growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 1130–1137, 4363 2010.
- SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.
- SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas

de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015.

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, 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. 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.

SILVA, S.; TASSARA, H. **Frutas do Brasil**, Empresa das Artes, São Paulo, SP. 1996. 230p.

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.

SLAVÍK, B. Methods of studying plant water relations. **Springer-Verlag**, New York, p. 449, 1974.

SOUSA, E. B. M. **Indicadores fisiológicos para seleção de plantas de algodão herbáceo tolerantes à seca**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Botânica/Fisiologia Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, 2008.

SOUZA, L. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. S.; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; NETO, C. F. O. osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 240-249, 2013.

SOUZA, L. C.; MELO, N. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, V. F. A.; NETO, C. F. O. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício, **Revista Agrarian** v. 8, n. 29, p. 260-267, Dourados, 2015

STREIT, N. M., CANTERLE, L. P., CANTO, M. W., HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SZÉKELY, G.; ÁBRAHÁM, E.; CSÉPLŐ, Á.; RIGÓ, G.; ZSIGMOND, L.; CSISZÁR, J.; AYAYDIN, F.; STRIZHOV, N.; JÁSIK, J.; SCHMELZER, E.; KONCZ, C.; SZABADOS, L.

Duplicated P5CS genes of Arabidopsis play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis. **The Plant Journal**, v. 53, p. 11–28, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p. 2017.

TALE AHMAD, S.; HADDAD, R. Effect of silicon on the activity of antioxidant enzymes and content of osmotic adjustments in case of two genotypes of wheat bread under drought stress conditions. **Seed and Plant Production Journal**, 2010.

TAYEBI, A., AFSHARI, H., FARAHVASH, F., MASOODSINKI, J. and NEZARAT, S. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. *Journal of Plant Physiology* 2(3): 445- 453, 2012.

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

TARDIEU, F.; PARENT, B.; CALDEIRA, C. F.; WELCKER, C. Genetic and physiological controls of growth under water deficit **Plant Physiology**, v. 164, p. 1628–1635, 2014.

TORRES-RUIZ, J. M.; DIAZ-ESPEJO, A.; MORALES-SILLERO, A.; MARTÍN-PALOMO, M. J.; MAYR, S. B. B.; FERNÁNDEZ, J. E. Shoot hydraulic characteristics, plant water status and stomatal response in olive trees under different soil water conditions. **Plant Soil**, v. 373 p.77–87, 2013.

TORRES-RUIZ, J. M.; DIAZ-ESPEJO, A.; PEREZ-MARTIN, A.; SANTANA, V. H. Role of hydraulic and chemical signals in leaves, stems and roots in the stomatal behaviour of olive trees under water stress and recovery conditions, **Tree Physiology**, v. 35, n. 4, p. 415–424, 2015.

USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN). **National Germplasm Resources Laboratory**, Beltsville, Maryland. 2015. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?9147>> Acesso em: 20 Dezembro de 2017.

VAN DROOGENBROECK, B.; BREYNE, P.; GOTGHEBEUR, P.; ROMEIJNPEETERS, E.; KYNDT, T.; GHEYSEN, G. AFLP analysis of genetic relationships among papaya and its wild relatives (Caricaceae) from Ecuador. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 105, p. 289-297, 2002.

VAN DROOGENBROECK, B.; KYNDT, T.; MAERTENS, I.; ROMEIJN-PEETERS, E.; SCHELDEMAN, X.; ROMERO-MOTOCHI, J.; VAN DAMME, P.; GOETGHEBEUR, E.; GHEYSEN, G. Phylogenetic analysis of the highland papayas (*Vasconcellea*) and allied genera (Caricaceae) using PCR-RFLP. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 108, p. 1473-1486, 2004.

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.

YADOLLAHI; DEHCESHMEH, P.; ASGHARIPOUR, M. R.; KHEIRI, N.; GHADERI, A. Effect of drought stress and organic fertilizers on oil yield and biochemical characteristics of *Carthamustinctorius*. **Journal of Oil Plant Production**, 1(2): p. 27-40, 2015.

YEMM, E. W. e COCKING, E. C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst** 80: p. 209-213. 1955.

WANG, L.; CHEN, W.; ZHOU, W.; HUANG, G. Teleconnected influence of tropical Northwest Pacific sea surface temperature on interannual variability of autumn precipitation in Southwest China. **Clim Dyn.** p. 1-13, 2015.

ZHANG, Y. X.; EQUIZA, M. A.; ZHENG, Q. S.; TYREE, M. T. Fatores que controlam a plasticidade da morfologia foliar em *Robinia pseudoacacia*. IIIrestrições biofísicas na expansão foliar sob estresse hídrico a longo prazo. **Fábrica de Fisiol**, v. 143, p.367-374, 2011.

ZENÃO JÚNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; AVILA, V. T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Campina Grande - PB v. 44, n. 2, p. 203-206, 2009.

ZHU, Y. e GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agron Sustain Dev**, v. 34, p. 455-472, 2014.

ZSOLDOS. F.; VASHEGYI. A.; PECSVARADI. A.; BONA. L. Influence of silicon on aluminium toxicity in common and durum wheats. **Agronomie**, v. 23, p. 349-354, 2003.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 1, p. 157-160, 2008.