



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

**AÇÃO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE OSMOPROTEÇÃO E
COMPARTIMENTAÇÃO DE RESERVAS EM MAMOEIRO SOB DÉFICIT
HÍDRICO**

**CATOLÉ DO ROCHA
2019**

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

**AÇÃO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE OSMOPROTEÇÃO E
COMPARTIMENTAÇÃO DE RESERVAS EM MAMOEIRO SOB DÉFICIT
HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Ciências Agrárias.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal

Orientadora: Prof. Dra. Elaine Gonçalves Rech

Coorientador: MSc. Anselmo Ferreira da Silva

**CATOLÉ DO ROCHA
2019**

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.

S719a Souza, Dhayane dos Santos.

Ação do silício nos mecanismos de osmoproteção e compartimentação de reservas em mamoeiro sob déficit hídrico [manuscrito] / Dhayane dos Santos Souza. - 2019.

24 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2019.

"Orientação : Profa. Dra. Elaine Gonçalves Rech , Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA."

"Coorientação: Prof. Me. Anselmo Ferreira da Silva , Coordenação do Curso de Ciências Agrárias - CCHA."

1. Carica papaya L. 2. silicato de potássio. 3. estresse hídrico. 4. mecanismos osmóticos. I. Título

21. ed. CDD 634.651

DHAYANE DOS SANTOS SOUZA

AÇÃO DO SILÍCIO NOS MECANISMOS DE OSMOPROTEÇÃO E
COMPARTIMENTAÇÃO DE RESERVAS EM MAMOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO

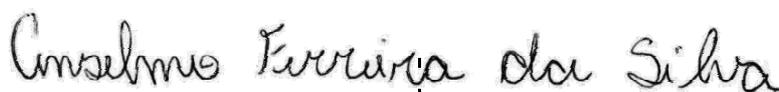
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Graduação da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Licenciada em Ciências
Agrárias.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal

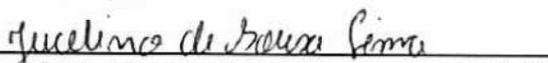
Aprovada em: 10/06/2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Elaine Gonçalves Rech (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


MSc. Anselmo Ferreira da Silva (Coorientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Josemi Moura Maia (UEPB)
Membro Examinador(a)


Mestrando Jucelino de Sousa Lima (UEPB)
Membro Examinador(a)

“Á minha família, por sempre acreditar em mim. A minha mãe e meu pai pelo amor, cuidado e dedicação, por sempre estarem presentes na minha vida, isso significou segurança e certeza de que nunca estive sozinha nessa caminhada. Eu amo vocês.”

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui, dando saúde e força para superar todas as dificuldades.

Ao meu pai João Neto e minha mãe Maria Reginalda por todo amor, cuidado e incentivo durante todos esses anos.

Aos meus irmãos, Daniel Souza, Dhanielison Souza e Clara Souza por todo apoio e irmandade. E ao meu Sobrinho João Gabriel por tornar a minha vida mais feliz.

A toda minha família pelo cuidado e compreensão por minha ausência em tantas datas importantes, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso ao longo dessa trajetória.

Agradeço aos professores do curso, que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, em especial a minha professora orientadora Elaine Rech que esteve comigo desde o início me ajudando dentro e fora de sala de aula, e ao meu professor Josemir Maia pelo profissionalismo e oportunidade de fazer parte de uma equipe de pesquisa maravilhosa. Agradeço também a instituição por ter me dado à chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

A Carla Nóbrega por ter sido além de uma colega de curso, por ter sido a melhor amiga que alguém poderia ter. Obrigada por todo carinho e paciência comigo, e muito obrigada por me deixar fazer parte do melhor de sua vida sendo madrinha do seu bebê. Também à Joicey Maria por todas as palavras de apoio e conselhos, por ser uma grande amiga dentro e fora da universidade. Vocês são muito mais que amigas, são irmãs de coração.

Aos meus amigos, Katia Sonaria, Renata Dantas, Karina Barbosa, Milena Emanuela, Mateus Sousa, Yarissa Rodrigues, Juliana Fernandes e Lucas Dantas por compartilharem momentos incríveis, e por sempre estarem ao meu lado.

Ao grupo de pesquisa do LAPROV, em especial Jucelino Sousa, Anselmo Ferreira e Eugênio Júnior por todo conhecimento repassado, também a Edilson Santos, Thyago Venceslau, Lisiane Bezerra, Henrique Diniz, Mizael Alves, e a cada um da equipe na qual se tornou uma segunda família.

Aos meus colegas de classe pelos momentos de alegria e apoio.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse concluir mais essa etapa da minha vida. Muito obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E METODOS.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÃO	19
5. ABSTRACT	20
6. REFERÊNCIAS	21

RESUMO

A deficiência hídrica é um dos principais fatores que afetam a produtividade agrícola da região nordeste, necessitando então o uso de tecnologias para amenização de tal problema. Com isso o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do silício (Si), nos mecanismos de osmoproteção e compartimentação de reservas em mudas de mamoeiro da variedade Hawaii, submetidas à deficiência hídrica. Para estabelecer a quantidade de água disponível nos tubetes, para cada regime hídrico, foi considerada a capacidade de campo (CC) do substrato, após o 45^o dias após a emergência (DAE), as plantas foram submetidas aos regimes hídricos (20, 40, 60 e 80% da CC), tomando 80% da CC como referência (controle da lâmina de água). As amostras foram concomitantemente submetidas a tratamentos com silicato de potássio (K_2SiO_3) dissolvido em água destilada nas concentrações 0 – controle; 1,5 e 2,5 mL L⁻¹, realizadas a cada seis dias até o 60^o DAE. Por fim havendo a avaliação dos seguintes parâmetros: Proteínas Solúveis Totais, Aminoácidos Livres Totais, Glicina Betaina, Prolina, Amido e Açúcares Solúveis Totais. Concluindo-se então que para mudas de mamoeiro, a dose ótima de Silício (Si) encontrada é de (1,5 mL L⁻¹) para PST, AALT, GB e AST, apesar de que a dose de (2,5 mL L⁻¹) também promove respostas significantes no melhoramento do ajustamento osmótico das plantas. Podendo concluir ainda que o déficit hídrico aumenta a quantidade de ajustadores osmóticos (PST, AALT, GB, PRO) e diminui a quantidade de reservas energéticas (Amido).

Palavra-chave: *Carica papaya* L; silicato de potássio; estresse hídrico; mecanismos osmóticos.

1. INTRODUÇÃO

O mamão (*Carica papaya* L.) pertencente à família Caricaceae é uma fruta tropical de consumo mundial e comercializada em todos os continentes do planeta. Sendo o Brasil o segundo maior produtor, correspondendo com 10,8% da produção mundial (FAOSTAT, 2018). A produção nacional de mamão chega a 1.057.101 toneladas com uma produtividade média de 48,33 t/ha, seguido pela Indonésia, com 871.275 toneladas (EMBRAPA, 2013). O consumo do mamão ocorre em todo o país, mas a produção está concentrada nas regiões Nordeste e Sudeste (IBGE, 2016). No Nordeste brasileiro, o Estado da Paraíba destaca-se como o sexto maior produtor de mamão no Brasil, com uma produtividade de 810 t/ano (IBGE, 2016).

Contudo, a Paraíba está localizada no semiárido brasileiro onde os impactos da seca sazonal são mais complexos e significantes devido à alta irregularidade pluviométrica fazendo com que a produção de frutícolas seja limitada, devido as condições ambientais limitadoras de acesso à água (Bodner et al., 2015).

Dentre as frutíferas, a produção de mamoeiro, está diretamente relacionada tanto ao excesso quanto à sua falta da disponibilidade hídrica (Yadollahi et al., 2015). Vários processos moleculares, bioquímicos e fisiológicos a nível celular, ou de planta inteira são alterados em resposta à seca (Bhargava e Sawant 2013) e provocam prejuízos no crescimento, desenvolvimento e produtividade (Mansori et al., 2015), causados primariamente por problemas na integridade das membranas, relações hídricas e atividade fotossintética (Fernandes-silva et al., 2016). Por outro lado, essas mesmas alterações metabólicas exercem um papel importante na mitigação dos estresses (Bhargava e Sawant 2013).

O primeiro mecanismo a ser atingido é o fotossintético, no qual o influxo de CO₂ e a transpiração são especialmente afetados pelo fechamento estomático, o que tem sido proporcionalmente associado a prejuízos em diversos aspectos relacionados ao crescimento vegetativo (Silva et al., 2015). O metabolismo osmótico também sofre abalos, pois as plantas precisam manter seu potencial hídrico interno abaixo daquele verificado no solo para a absorção de água, manutenção da turgescência e crescimento. Para isso, requerem uma redução no seu potencial osmótico-hídrico quer seja através da absorção de íons do solo ou pela síntese e acúmulo de solutos orgânicos compatíveis, os osmoprotetores (ASHRAF; FOOLAD, 2007; DAWOOD, 2016).

Dessa forma o ajustamento osmótico, por meio da acumulação de solutos compatíveis, é um mecanismo utilizado pela planta, a fim de promover a homeostase hídrica vegetal

possibilitando sua adaptação e a retomada da absorção de água (Blum, 2017). Fang e Xiang (2015) ressaltam que plantas sob déficit hídrico podem apresentar acúmulo de algumas moléculas osmorreguladoras, como prolina, aminoácidos, glicina betaína e outras, que diminuem o potencial osmótico celular, garantindo a manutenção da absorção de água e da pressão de turgescência celular, que são considerados mecanismos chave na manutenção da taxa fotossintética, abertura estomática e expansão celular em condições de deficiência hídrica (Sanders e Arndt, 2016).

Desta forma é necessário se buscar possibilidades de diminuir os efeitos deletérios causados pela deficiência hídrica, como se é o caso de manipular a nutrição da planta, de forma a provocar alterações metabólicas que possam favorecer a biossíntese de moléculas de interesse e, conseqüentemente, provocar uma reação benéfica às plantas em resposta as adversidades ambientais (Parisa sharifi, 2017; Dutra et al., 2017). O silício (Si) por sua vez, vem sendo citado na literatura como um elemento benéfico, que auxilia na mitigação dos efeitos de estresses bióticos e abióticos nas plantas (Keller et al., 2015; Dutra et al., 2017). Segundo Parisa Sharifi (2017), a aplicação suplementar de Si em plantas tem efeito favorável, uma vez que atenua o estresse hídrico, acumulando-se na parede celular de folhas, aumentando sua dureza, o teor de pigmentos fotossintéticos e controlando a transpiração, melhorando assim, o uso eficaz da água e da luz.

Em contraste, a suplementação nutricional com Si ainda é pouco utilizada por agricultores, apesar de ser uma tecnologia promissora na redução dos efeitos negativos do ambiente em regiões semiáridas, em especial à cultura do mamoeiro. Além disso, poucos estudos abordam sob a suplementação de Si em mamoeiro. Os estudos na área relatam principalmente a ação do Si como atenuador do déficit de água em espécies como caupi, algodão, canola, entre outros (Ferraz et al., 2014; Dutra et al., 2017; Parisa sharifi, 2017). Assim, estudos que abordem os efeitos da aplicação de Si sobre a resistência de mamoeiro à seca são importantes para destacar alternativas viáveis e baratas que aumentem a resistência desta cultura à seca. Com base no exposto, neste estudo, propôs-se compreender a ação do Si nos aspectos de osmoproteção e compartimentação de reservas em plântulas de mamoeiro sob déficit hídrico.

2. MATERIAL E METODOS

O experimento foi realizado no viveiro do Laboratório de Tecnologias da Produção Vegetal (LAPROV), localizado no município de Catolé do Rocha (PB) a 6°21' S 37°43' W e 272 m acima do nível do mar entre os meses de Agosto e Outubro de 2017.

O substrato utilizado para o cultivo das mudas foi composto de 50% de vermiculita e 50% de esterco bovino curtido. O semeio foi realizado em tubetes com 250 g do substrato preparado. Para a semeadura foram utilizados sementes da variedade Havaii com taxa de germinação de 90% e pureza de 99,8% (Isla[®]). Após a germinação realizou-se aplicação semanal de solução nutritiva baseada em Hoagland e Arnon (1950) a ¼ de força, complementar ao conteúdo nutricional do substrato. Para estabelecer a quantidade de água disponível nos tubetes, para cada regime hídrico, foi considerada a capacidade de campo (CC) do substrato, definida como o máximo conteúdo de água retido pelo solo após o excesso ter sido drenado (Mello et al., 2002).

Até os 45 dias após a emergência (DAE) realizou-se irrigação com água destilada, mantendo-se a lâmina de irrigação a 80% da capacidade campo. Após o 45° DAE as plantas foram submetidas aos tratamentos de seca (20, 40, 60 e 80% da CC), tomando 80% da CC como referência (controle da lâmina de água). As amostras foram concomitantemente submetidas a tratamentos com silicato de potássio (K_2SiO_3) dissolvido em água destilada nas concentrações 0 – controle; 1,5 e 2,5 mL L⁻¹. As aplicações foliares de Si foram aplicadas até o ponto de escoamento. As aplicações de Si foram realizadas a cada seis dias até o 60° DAE.

Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e retiradas todas as folhas para a mensuração das análises bioquímicas, sendo elas: Proteínas Solúveis Totais (PST), Aminoácidos Livres Totais (AALT), Glicina Betaina (GB), Prolina (PRO) Amido (AM) e Açúcares Solúveis Totais (AST).

Para a extração de PST, amostras de 200mg 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, realizando a 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.

Para a quantificação de AALT, utilizou-se 200mg 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. Aliquotas 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, interrompendo a reação em seguida com banho de gelo. Por fim, foram adicionados à solução 1,5 mL de Etanol a 50% (v/v). Após nova agitação em vórtex, os tubos permaneceram por 20 minutos em temperatura ambiente para posterior leitura em espectrofotômetro a 570 nm de absorbância. A concentração de AALT (mg g^{-1} MF) foi determinada a partir de curva padrão de glutamina.

O extrato para a quantificação de GB foi obtido utilizando 200 mg da massa fresca de folhas e 5 mL de água destilada em tubos falcon e agitados no shaker por 4 horas a 25 °C. Em seguida, foram centrifugadas e o sobrenadante foi coletado. 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 H₂SO₄ 2N foram colocadas em tubos falcon no banho de gelo por 1 hora. Em seguida foi adicionado 200 µL de reagente KI-I₂ mantendo as amostras a 4 °C por 16 horas. Os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 15 min a 0 °C, fazendo 2 lavagens com H₂SO₄ 1N. O sobrenadante foi cuidadosamente aspirado e os cristais foram dissolvidos em 1,2-dicloroetano e misturados vigorosamente. Após 2 horas de repouso, as absorbâncias foram mensuradas a 365 nm e para os cálculos foi utilizada uma curva padrão de glicina-betaína. Os resultados foram expressos em GB g^{-1} MF.

A concentração de PRO 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 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. A concentração de prolina (mg g^{-1} MF), foi determinada a partir de curva padrão de L-prolina.

Para a quantificação e extração de Amido foi utilizado o material precipitado proveniente do ensaio de AST, 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 µl do extrato foi misturado a 450 µL 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 espectrofotômetro a 490 nm e a concentração de AM (mg g^{-1} MF) foi determinada a partir de curva padrão de glicose.

Para a determinação do conteúdo de AST 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 e filtrado. 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.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com tratamentos combinados no esquema fatorial 3x4 (doses de Si x lâminas de irrigação), com quatro repetições compostas por três plantas úteis, com um total de 144 plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e ao teste de comparação de médias (Tukey, $P < 0,05$), para o Si dentro das lâminas de irrigação por meio do programa SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os compostos nitrogenados Proteínas Solúveis Totais (PST), Aminoácidos Livres Totais (AALT), Glicina-Betaina (GB) e Prolina (PRO), bem como os Açúcares Solúveis Totais (AST) e Amido (AM) foram todos influenciados significativamente ($p > 0,01$) 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 1).

Tabela 1. 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.	Parâmetros					
		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 ^{**}
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 e S3 promoveram incremento nesse parâmetro, quando comparado ao tratamento S1 na lâmina de 20 e 40% tendo como destaque o tratamento S2 que se sobressaiu os demais na lâmina de 20% (Figura 1A). Esse acúmulo de PST com a aplicação exógena do Si, pode ter ocorrido pelo fato de indução a síntese protéica, uma vez que esse composto estimula a síntese de RNA (AL-AGHABARY et al., 2004). Além disso, 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).

Outra hipótese é no que diz respeito ao possível aumento na concentração de PRO nessas mesmas condições (Figura 2D). A prolina contribui para a preservação da integridade das proteínas e enzimas, pois aumenta a pressão osmótica no interior das células, mantém a absorção de água, o que confere continuidade dos processos fisiológicos, além de ter a função

osmoprotetora, evitando haver degradação das proteínas por espécies reativas de oxigênio (MARIJUAN e BOSCH, 2013).

Nesse contexto, Ali et al. (2013) observaram redução de PST em plantas de girassol em condições de estresse moderado induzido por salinidade, por sua vez a aplicação de Si propiciou aumento de PST. Corroborando com a suposição de que o Si tem efeito benéfico em relação a estresses abióticos, incluindo o hídrico como foi observado no presente estudo. Araújo (2017), estudando aplicação de Si em plantas de feijão caupi submetidas a déficit hídrico, também observou influência positiva do Si no conteúdo de PST. Souza et al. (2014) relatam efeito benéfico do Si em plantas de milho submetidas a supressão hídrica, para os conteúdos de PST e AALT.

Esse aumento de AALT em resposta a aplicação de também foi verificado no presente estudo, avaliando mamoeiro sob déficit hídrico (Figura 1B). Apesar das lâminas de irrigação aplicadas não influenciaram significativamente os níveis de AALT em relação ao tratamento controle (Si) (Figura 1B). Os demais tratamentos de Si influenciaram positivamente o aumento desse composto nitrogenado em folhas, sendo que a dose S2 proporcionou incremento de 86,5% na lâmina de 20% ($163,4 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$) quando comparada à lâmina de 80% ($87,64 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$). Plantas em condições de deficiência hídrica, fazem o acúmulo de solutos, incluindo aminoácidos a prolina, que por sua vez tem um papel osmólito compatível atuando na melhoria de absorção de água (CLAEYS e INZE, 2013). Ainda não está elucidado o real papel do Si em relação ao aumento na concentração de aminoácidos. Oliveira et al. (2013), que verificaram o efeito do estresse hídrico nas concentrações de aminoácidos livres em plantas jovens de graviola e observaram que em condições de estresse hídrico as plantas obtiveram um aumento significativo nas concentrações de aminoácidos livres.

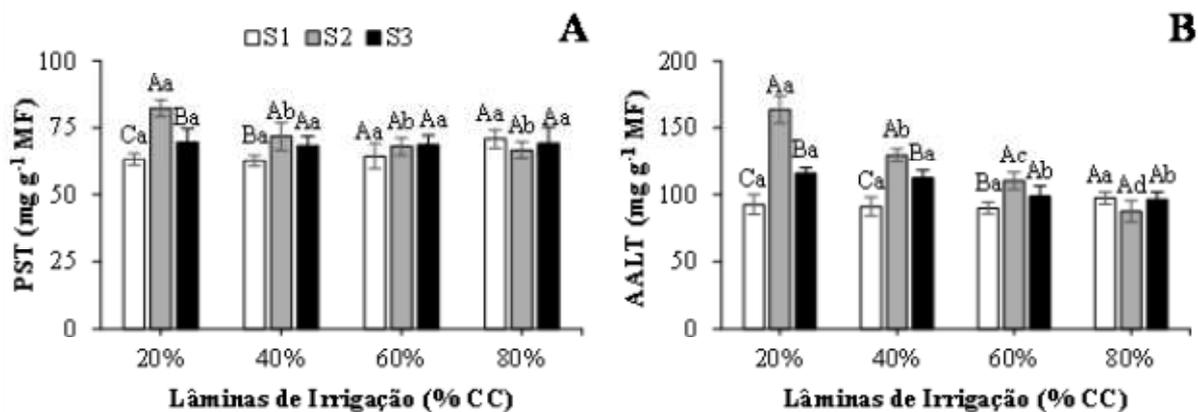


Fig. 1 Proteínas solúveis totais (PST) (A), Aminoácidos livres totais (AALT) (B), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018

A redução da disponibilidade hídrica, ocasionou a limitação do teor de GB em aproximadamente 15% no tratamento S1 entre as lâminas de 20% a 80% da CC. Por outro lado, constatou-se aumento nos níveis de GB nos tratamentos S2 e S3 em especial na lâmina de 40% (0,63 e 0,62 mg g⁻¹ MF respectivamente) (Figura 2C). A glicina betaína é um composto que pode desempenhar proteção eficaz contra o estresse, podendo ser acumulativa e não tóxica para a planta, além de equilibrar a diferença osmótica em torno da célula. (Silva, 2016). Estes resultados corroboram com Souza et al. (2014), os quais observaram que o estresse hídrico afetou diretamente os níveis dos osmorreguladores (incluindo Glicina betaína) nas plantas de sorgo e a aplicação do silício demonstrou ser eficaz no controle da deficiência hídrica.

Em relação a PRO, percebeu-se acréscimo proporcional ao aumento da disponibilidade hídrica, constatando-se incremento de aproximadamente 51% na lâmina de 20%, quando comparada com a testemunha. 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 70,04mg g⁻¹ MF, enquanto o tratamento sem Si expressou uma média de 29,06 mg g⁻¹ MF, chegando a uma diferença de 141%.

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 et al., 2017). Dentre os estudos realizados sobre o acúmulo de prolina, Santos et al. (2010) reportam que o acúmulo de prolina pode ser considerado um osmorregulador

bioquímico de estresse hídrico para genótipos de feijão-caupi de ciclo intermediário.

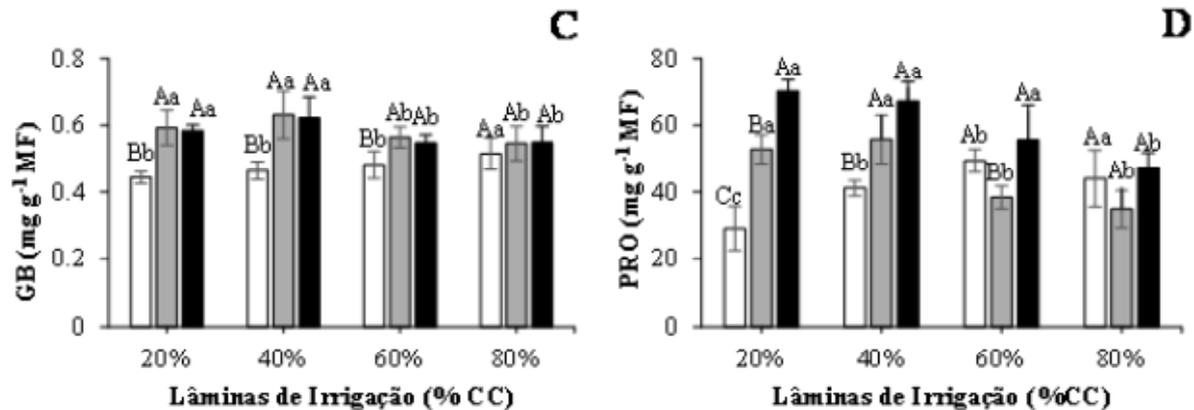


Fig. 2 Glicina-betaina (GB) (C), Prolina (PRO) (D) de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se às doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018

A concentração de amido reduziu em folhas proporcionalmente 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%. 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 observadas reduções nas concentrações deste soluto nos tratamentos sem Si em plantas sob déficit hídrico. Souza et al., (2014) encontraram menores concentrações de amido em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico, porém quando aplicou-se o Si os autores relataram aumento na concentração desses compostos.

A maior concentração de AST foi observada na lâmina de 80% no tratamento S1, ocorrendo redução proporcional à redução hídrica. Houve ainda decréscimo de 19% entre a menor e a maior lâmina de irrigação (Figura 3F). Porém, foi verificado que o tratamento S2 promoveu acréscimo nos níveis de AST a medida que se reduzia a disponibilidade hídrica, chegando a 74,14 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF na lâmina de 80%, enquanto que na lâmina de 20% esse valor foi de 118,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF, ocasionando a uma diferença de 60,1%. Já para o tratamento S3, não foi verificado alteração significativa dos conteúdos de AST nas lâminas de 20, 40 e 60%, no entanto, os valores reduziram na lâmina de 80% da CC em aproximadamente 11%.

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 3F). Cruz et al. (2015) não encontraram efeito significativo no conteúdo de açúcares solúveis totais com diminuição da lâmina de irrigação em tangerineira ‘ponkan’ e limeira ácida ‘tahit. Costa et al. (2015) avaliando plantas de aroeira, também verificaram declínio na concentração de AST e AR nas folhas no 80 dia após a suspensão da irrigação, o que pode ser um possível ajustamento fisiológico em estresse hídrico. Esses fatos comprovam a eficácia do Si no aumento desses compostos em plantas de mamoeiro sob déficit hídrico.

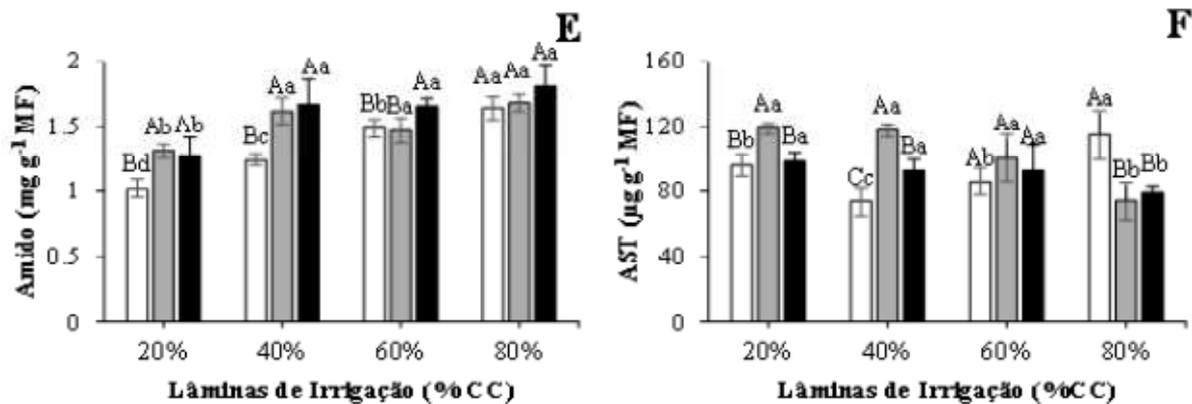


Fig. 3 Amido (AM) (E) e Açúcares solúveis totais (AST) (F), de plantas de mamoeiro cultivadas sob aplicação de diferentes doses de silicato de potássio e lâminas de irrigação, analisados aos 60 DAE. Barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade: as letras maiúsculas referem-se as doses de silício e as minúsculas às lâminas de irrigação, Catolé do Rocha-PB, 2018

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 1 e 2) sugerindo que para haver um possível ajustamento osmótico por compostos nitrogenados foi necessária a aplicação de pelo menos 1,5mL L⁻¹ de Si.

4. CONCLUSÃO

Para mudas de mamoeiro variedade hawaii a dose ótima de Silício (Si) encontrada é a S2 (1,5 mL L⁻¹), apesar de que a dose S3 (2,5 mL L⁻¹) apresentar respostas significantes de melhoramento no ajustamento osmótico das plantas.

O déficit hídrico aumenta a quantidade de ajustadores osmóticos (PST, AALT, GB, PRO) e diminui a quantidade de reservas energéticas (Amido), convertendo e/ou aumentando AST.

ABSTRACT

Water deficiency is one of the main factors affecting the agricultural productivity of the northeast region, necessitating the use of technologies to alleviate this problem. The objective of this study was to evaluate the efficiency of silicon (Si) in the mechanisms of osmoprotection and compartmentalization of papaya seedlings of the Hawaii variety, submitted to water deficiency. In order to establish the amount of water available in the tubes, for each water regime, the field capacity (CC) of the substrate was considered, after 45 days after emergence (DAE), the plants were submitted to water regimes (20, 40 , 60 and 80% of the CC), taking 80% of the CC as reference (control of the water blade). The samples were concomitantly submitted to treatments with potassium silicate (K₂SiO₃) dissolved in distilled water at 0 - control concentrations; 1.5 and 2.5 mL L⁻¹, performed every six days until the 60th DAE. Finally, the following parameters were evaluated: Total Soluble Proteins, Total Free Amino Acids, Glycine Betaine, Proline, Starch and Total Soluble Sugars. It was concluded that the optimal dose of Silica (Si) found was (1.5 mL L⁻¹) for PST, AALT, GB and AST, although the dose of 2.5 mL L⁻¹) also promotes significant responses in the improvement of osmotic adjustment of plants. It can also conclude that the water deficit increases the number of osmotic adjusters (PST, AALT, GB, PRO) and decreases the amount of energy reserves (Starch).

Keywords: *Carica papaya* L; potassium silicate; water deficit; osmotic mechanisms.

Graduate student in Full Degree in Agrarian Sciences at the State University of Paraíba - Campus IV.

Email: dhayane_uzl@hotmail.com

REFERÊNCIAS

AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. H. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* v.27,n.1 p. 2101-2115, 2004.

ALI, M. A. M., RAMEZANI, A., FAR, S. M., SADAT, K. Application of silicone ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. v. 6, n. 20, p.1367-1372, 2013

Araújo, E. D. D. (2017). Silício como atenuador do estresse hídrico em feijão-caupi por meio do mecanismo antioxidante e desempenho agrônômico.

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

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

BHARGAVA, S.; SAWANT, K. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*, v.32, n.1, p.21-32, 2013.

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

Blum A (2017) Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant Cell Environ* 40: 4-10

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.

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

CLAEYS, H; INZE, D. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions . **Plant Physiology**, v. 162, n. 4 ,p. 1768 – 1779, Ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.220921>.

Cruz, M. D. C. M., de Siqueira, D. L., Salomão, L. C. C., Cecon, P. R., & dos Santos, D. (2015). Teores de carboidratos em tangerineira ‘ponkan’ e limeira ácida ‘tahiti’ submetidas ao estresse hídrico. *Ceres*, 55(4).

DAWOOD, M. G. Influence of osmoregulators on plant tolerance to water stress. *Scientia Agriculturae*, v. 13, p. 42-58, 2016.

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.

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.

EMBRAPA, **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. – Mamão: o produtor pergunta, a Embrapa responde 2013: Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mamao>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Acesso em: 12 de janeiro 2018.

FANG, Y.; XIANG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 72: 673–689; 2015.

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:10.5433/1679-0359.2014v.35n.2p.735.

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

FERNANDES-SILVA, A.A.; ÓPEZ-ERNAL, A.; FERREIRA, C.; VILLALOBOS, Leaf water relations and gas exchange response to water deficit of olive (cv. Cobrançosa) in field grown conditions. *Plant Soil*, v. 402, n.1, p. 191-209, 2016.

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

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley, California Agriculture Experiment Station, 1950. 32p. (Bulletin, 347)

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.

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 μ M Cu. **Planta**, v. 241, p. 847–860, 2015.

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.

MANSORI, M.; CHERNANE, H.; LATIQUE, S.; BENALIAT, A.; HSISSOU, D.; KAOUA, M.E Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of applied phycology*, v.27, n.4, p.1689-1698, 2015.

MARIJUAN, M.P.; BOSCH, S.M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. *Trends in Plant Science*, v.18, n.12, p.660-666, 2013.

MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, G. C. de; RESCK, D. V. S.; LIMA, J. M. de; DIAS JÚNIOR, M. de S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, jul./ago. 2002.

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

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.

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.

SANDERS, G.J.; ARNDT, S.K. Osmotic adjustment under drought conditions. In *Plant Responser to Drought Stress*. Cap. 8, 199-229; 2016.

SANTOS, Cleberlito Fernandes; LIMA, Giuseppina Pace Pereira; MORGADO, Luiz Balbino. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**, p. 34-44, 2010.

SILVA, Emerson Lucio Gomes. Eficiência de gluconacetobacter diazotrophicus no aumento de osmoprotetores em arroz vermelho sob deficiência hídrica. 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, Raimundo Thiago Lima et al. Resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. **Nucleus**, v. 9, n. 2, 2012.

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

SOUZA, L. C., SIQUEIRA, J. A. M., SILVA, J. L. S., DA SILVA, J. N., COELHO, C. C. R., NEVES, M. G., ... & LOBATO, A. K. D. S. (2014). Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13(2), 117-128.

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

VITORINO, Hermes dos Santos et al. Efeito do déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de picão-preto. **Bioscience Journal**, 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 *Carthamus tinctorius*. **Journal of Oil Plant Production**, 1(2): p.27-40,2015.