



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
DOUTORADO EM AGRONOMIA

ARIELE CARNEIRO DE ANDRADE

**COMPORTAMENTO DE MUDAS DE PASSIFLORA EDULIS SOB ESTRESSE
HDRICO E SUBMETIDAS A DOSES DE METASSILICATO DE SÓDIO**

BELÉM
2020

ARIELE CARNEIRO DE ANDRADE

**COMPORTAMENTO DE MUDAS DE PASSIFLORA EDULIS SOB ESTRESSE
HÍDRICO E SUBMETIDAS A DOSES DE METASSILICATO DE SÓDIO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia: Área de Concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shiguero Okumura.

Co-orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

BELÉM

2020

ARIELE CARNEIRO DE ANDRADE

**COMPORTAMENTO DE MUDAS DE PASSIFLORA EDULIS SOB ESTRESSE
HDRICO E SUBMETIDAS A DOSES DE METASSILICATO DE SÓDIO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia: Área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shiguero Okumura

Co-orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Prof. Dr. Cândido Ferreira de oliveira Neto Co-orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dr. Eduardo Cezar Medeiros Saldanha -1º Examinador
YARA FERTILIZANTES

Dr. Joze Melisa Nunes de Freitas – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Glauco André dos Santos Nogueira – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dr. Gerson Diego Pamplona Albuquerque – 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

“A Deus,
Aos meus grandes incentivadores: Pai e Mãe, que muito contribuíram para que esta
jornada se concretizasse.

DEDICO

A minha filha Lunna, por ser minha
inspiração na superação dos obstáculos
que ao longo desta caminhada foram
surgindo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda sabedoria e benção a mim concedida. Por todo amor. Gratidão.

Aos meus pais Rosa e Milton, por todo apoio, amor e confiança em mim depositada.

Ao meu esposo Fagner por todo amor, carinho e compreensão ao longo de toda essa jornada.

A minha Lunna pela força e inspiração que me ergue para continuar lutando.

Aos meus irmãos e familiares por todo respeito, carinho e confiança.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ricardo Shiguero Okumura e co-orientador Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto pela dedicação, ensinamentos e confiança em meu trabalho.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do presente curso.

A todos os professores do Doutorado que de alguma forma contribuíram na minha formação.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa EBPS (Estudo da Biodiversidade de Plantas Superiores) pelo incentivo, ajuda e amizade, em especial ao Gerson pela ajuda na tabulação dos dados.

A Júlia Mercês que em tão pouco tempo tornou-se especial e fundamental para a realização desse trabalho.

Aos colegas de Doutorado, principalmente a Débora, que acompanharam e participaram sempre confiantes durante toda essa caminhada.

Ao meu eterno amigo Pablo

As minhas amigas de fé que sempre esteve presente mesmo que distante Lillian, Jao, Myriam e Carla.

À todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

Muito obrigada!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros de crescimento, bioquímicos, o conteúdo relativo de água e avaliação nutricional de plantas de maracujá quando submetidas em diferentes concentrações de silício sob deficiência hídrica. As sementes de *Passiflora edulis* (maracujá-amarelo) foram semeadas em vaso tipo Leonard com capacidade de 4,6 L adaptados com garrafas pet contendo areia lavada e esterilizada (120 °C por 40 min.). Aos 7 dias após a semeadura as plantas receberam solução nutritiva. As concentrações de Si foram aplicadas via solução, sendo a primeira aplicação realizada no dia 30 de março de 2018. O estresse hídrico ocorreu no dia 15 de maio num período de 7 dias. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com duas 2 condições hídricas: controle e estresse, 5 concentrações de silício (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 milimolar), e cinco repetições. Os dados obtidos foram submetidos análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pela diferença mínima significativa do teste e foram ajustadas por equações de regressão polinomial $P < 0,01$ ou $0,05$ usando-se o programa Sisvar. As variáveis açúcares redutores, carboidratos solúveis totais e proteínas foram influenciadas com a aplicação de silício e sob estresse hídrico influenciando no processo energético das mesmas. Para as variáveis de crescimento (altura, diâmetro, número de folhas), o silício proporcionou um aumento à medida que as doses eram acrescidas, interferindo na produção de biomassa. As alterações dos parâmetros fisiológicos, levaram a mudanças no metabolismo do carbono e nitrogênio dessas plantas, evidenciando elevadas concentrações das variáveis que contêm nitrogênio em suas estruturas como prolina, a deficiência hídrica alterou os teores de macronutrientes influenciando na sua absorção e translocação nas mudas de maracujá amarelo. A deficiência hídrica pode acarretar vários impactos sobre o desenvolvimento da planta. No entanto, sabemos que o silício (Si) é um elemento que pode minimizar os efeitos dessa deficiência.

Palavras-chave: elemento benéfico, deficiência hídrica, *Passiflora edulis*.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate growth parameters, biochemical parameters, relative water content and nutritional evaluation of passion fruit plants when submitted to different silicon concentrations under water deficit. *Passiflora edulis* (yellow passion fruit) seeds were sown in a 4.6 L capacity Leonard pot adapted with pet bottles containing washed and sterilized sand (120 °C for 40 min.). At 7 days after sowing the plants received nutrient solution. Si concentrations were applied via solution, the first application being performed on March 30, 2018. Water stress occurred on May 15th in a 7-day period. It was used a completely randomized design in a factorial scheme 2 water conditions: control and water stress, 5 silicon concentrations (0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2.0 millimolar) and five replications. The obtained data were subjected to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$) and the means were compared by the minimum significant difference of the test and were adjusted by polynomial regression equations $P < 0.01$ or 0.05 using the Sisvar program. The variables sugar reducers, total soluble carbohydrates and proteins were influenced with the application of silicon and under water stress influencing their energy process. For growth variables (height, diameter, number of leaves), silicon increased as doses were increased, interfering with biomass production. Changes in physiological parameters led to changes in the carbon and nitrogen metabolism of these plants, showing high concentrations of nitrogen-containing variables in their structures as proline. Water deficiency can have several impacts on plant development. However, we know that silicon (Si) is an element that can minimize the effects of this deficiency.

Key words: beneficial element, water deficiency, *Passiflora edulis*.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	10
REFERÊNCIAS	13
2. SILÍCIO COMO MITIGADOR DOS EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM PLANTAS DE MARACUJÁ.....	17
RESUMO	17
ABSTRACT	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	19
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	20
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
2.4 CONCLUSÃO.....	33
2.5 REFERÊNCIAS	33
3. TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES MUDAS DE MARACUJÁ AMARELO SUBMETIDAS A ADUBAÇÃO SILICATADA	37
RESUMO	37
ABSTRACT	37
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.4 CONCLUSÃO.....	50
3.5 REFERÊNCIAS	51
4 CONCLUSÕES GERAIS.....	53

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O *Passiflora edulis* (maracujá-amarelo) é a principal espécie da família *Passifloraceae* cultivada no Brasil, devido às características físico-químicas de suas frutas, alta produtividade e grande aceitação do suco no mercado nacional (LIMA, 2002), e a qualidade de seus frutos.

O maracujazeiro é uma fruteira originária da América Tropical, sendo considerada planta rústica, com ciclo apresentando variação de 12 a 36 meses (ARAÚJO, 2016). A espécie *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*, apresenta uma grande diversidade de utilização e devido as características alimentícias, medicinais e ornamentais que apresenta (MELETTI, 2019).

Várias pesquisas têm sido feitas mostrando o potencial desse fruto para diversas finalidades. Muitas substâncias presentes nos frutos do maracujá, principalmente na polpa e casca, podem contribuir para efeitos benéficos, tais como: atividade antioxidante, antihipertensão, diminuição da taxa de glicose e colesterol do sangue (ZERAIK, 2010).

O maracujazeiro é considerado uma planta que necessita de grandes quantidades de água para ter sucesso na produção de frutos. Caso contrário, a baixa disponibilidade hídrica, poderá afetar diretamente no desenvolvimento da planta. 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 também pelos danos no aparelho fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Condições adversas podem ocorrer em diferentes estádios, intensidades e períodos de desenvolvimento das plantas, tendo diferentes resultados em relação a fisiologia ou adaptação (LIMA, 2017). Diante disso, as plantas terão diversas respostas frente à essa deficiência (VERSLUES *et al.*, 2006), sendo elas, fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento (QUEIROZ, 2010). Essa deficiência, temporária ou permanente, influencia no desenvolvimento e crescimento da planta (LIMA, 2017).

A primeira resposta da planta é a diminuição da turgescência celular, que consequentemente afeta seu crescimento (LARCHER, 2004; ANJUM *et al.*, 2011). Outras respostas das plantas à deficiência hídrica será a diminuição na fotossíntese e na condutância estomática causada pelo fechamento dos estômatos, resultando, na redução da fixação de carbono (LIMA, 2017). Temos como exemplos das alterações morfológicas nas plantas sob esse déficit, a diminuição da área foliar, queda de folhas e senescência (PAULA; PAULA; MARINO, 2012).

Os nutrientes apresentam um papel importante na diminuição do estresse das plantas. O silício (Si) despertou o interesse entre técnicos, pesquisadores e agricultores, por ser um elemento químico

que proporciona maior resistência as plantas quando são submetidas a um estresse, sendo biótico ou abiótico (HASHEMI *et al.*, 2010).

Apesar do silício não ser considerado essencial, do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o aumento de sua disponibilidade no sistema radicular de algumas espécies tem revelado, em alguns casos, efeitos benéficos em diversas culturas, especialmente, quando submetidas a algum tipo de estresse, seja ele biótico e abiótico (GONG *et al.*, 2005 HATTORI *et al.*, 2005).

Nem todas as plantas são capazes de absorver ou acumular o silício, que constitui de 0,1% a 10% da matéria seca das mesmas (QUEIROZ, 2018). A absorção de silício pelas plantas dá-se como ácido monossilícico, (H_4SiO_4), de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água (JONES; HANDRECK, 1967). Mesmo para plantas não acumuladoras de silício, vários autores têm demonstrado que este mineral apresenta efeitos benéficos às plantas, melhorando a resistência das mesmas aos estresses bióticos e abióticos (HATTORI *et al.*, 2005; GUNES *et al.*, 2008; CRUSCIOL *et al.*, 2009).

O Si pode também fornecer maior resistência ao acamamento, redução do ataque por pragas e doenças e maior resistência a condições adversas (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Além de melhorar a absorção de água que, conseqüentemente, aumenta a tolerância da cultura ao déficit hídrico (SONOBE *et al.*, 2011).

O Si é absorvido pela via radicular ou foliar pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sendo esta a principal fonte disponível para as plantas no solo (EPSTEIN; BLOOM 2006). O processo de absorção ocorre após o contato do elemento com a epiderme superior, inferior ou em ambas, em seguida, o Si atravessa a cutícula e as paredes epidérmicas pelo processo de difusão, alcançando o plasmalema e o movimento através da membrana citoplasmática com a entrada no citoplasma, eventualmente no vacúolo, depois de atravessar o tonoplasto (Taiz *et al.* 2017).

Camargo *et al.* (2007), estudando a reação do solo sobre a disponibilidade de Si para a cultura do arroz, utilizando-se materiais silicatados (silicato de cálcio e magnésio, ácido silícico puríssimo e wollastonita), além da testemunha calcário, observou que a absorção de Si pela parte aérea da cultura foi linearmente crescente com as doses da wollastonita, seguida do silicato de cálcio e magnésio, ácido silícico e calcário, as quais diferem entre si de acordo com a porcentagem de Si existente no material. Por outro lado, Pereira Junior *et al.* (2010), avaliando a influência de doses de Si na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) não observaram influência significativa sobre as características agronômicas e também sobre a produtividade final da cultura.

Epstein (2001) citou alguns exemplos de ações benéficas que o silício é capaz de promover na planta, em casos cientificamente comprovados, tais como: resistência ao ataque de organismos

patogênicos; melhor estruturação da arquitetura das plantas; resistência à herbivoria de insetos fitófagos; redução da fitotoxidez das plantas causadas por metais pesados, entre outras. De acordo com Caciue *et al.*, (2013), o fornecimento de Si para plantas de arroz, tanto na forma solúvel aplicada nas raízes ou a sua pulverização sobre a parte aérea, pode aumentar a resistência das plantas ao ataque de fungos. Segundo Pinto *et al.*, (2009), a adição do Si ameniza o efeito negativo de metais pesados, como por exemplo o excesso de Zn sobre o crescimento de plantas de *Eucalyptus urophylla* e proporciona uma utilização mais eficiente de P, Ca, Mg e S por estas plantas

Os estudos ainda não estão muito bem definidos sobre os benefícios do Si em plantas leguminosas ou não-acumuladoras, o que depende de estudos mais aplicados, haja vista que, para a *Eucalyptus urophylla*, Castro e Crusciol (2013) obtiveram resultados positivos com a aplicação de silício. Mancuso *et al.*, (2014) observaram que houve translocação de Si das raízes para a parte aérea de plantas de café arábica (não-acumuladoras).

Em virtude disso, o presente estudo tem por objetivo avaliar o comportamento fisiológico, bioquímico, de crescimento e nutricional em mudas de maracujá amarelo quando submetidos a diferentes concentrações de metassilicato de sódio sob deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- ANJUM, S. A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Islands, v. 6, n. 9, p. 2026 – 2032, 2011.
- ARAÚJO, M.M.V.; FERNANDES, D.Á.; CAMILI, E.C **Seed Emergence and Vigor of Yellow Passion Fruit Due to Different Hydric Regimes**. UNICIÊNCIAS, v.20, n.2, p.82-87, 2016.
- BEDON, F.; MAJADA, J.; FEITO, I.; CHAUMEIL, P.; DUPUY, J. W.; LOMENECH, A. M.; BARRE, A.; GION, J. M.; PLOMION, C. Interaction between environmental factors affects the accumulation of root proteins in hydroponically grown *Eucalyptus globulus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Maryland, v. 49, p. 69 – 76, 2011.
- BLUM, A. Drought resistance – is it really a complex trait? **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 38, n. 1, p. 753 – 757, 2011.
- BRUCKNER, C.H. *et al.* **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV, 2002.
- CACIQUE, I. S. et al. Effect of root and leaf applications of soluble silicon on blast development in rice. **Bragantia**, Campinas, v. 72, 2013.
- CAMARGO, M.S.; PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; QUEIROZ, A.A.; REIS, C.B. Soil reaction and absorption of silicone by rice. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.176-180, 2007.
- CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. UNESP Botucatu, 2009. Dissertação Mestrado, p.160.
- CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v.195-196, p.234-242, 2013a.
- CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 673-681, 2013b.
- EPSTEIN, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology, Palo Alto, 50:641–664. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>>
- EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E. et al. (Ed.). Silicon in Agriculture. Netherlands: **Elsevier Science**, 2001. p. 1-15.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and

respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 127, p. 343 – 352, 2006.

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

GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1904-1927, 2008.

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.

HATTORI T.; INANAGA S.; ARAKI H.; PING A.; MORITA S.; LUXOVA M.; LUX A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v.123, p.459-466, 2005.

HATTORI T.; INANAGA S.; ARAKI H.; PING A.; MORITA S.; LUXOVA M.; LUX A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v.123, p.459-466, 2005.

HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-147, 1967.

KENNAN, T.; SABATE, S.; GRACIA, C. The importance of mesophyll conductance in regulating forest ecosystem productivity during drought periods. **Global Change Biology**, Weinheim, v. 16, p. 1019 – 1034, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos: RIMA, Artes e Textos, 531p., 2004.

LIMA, A. de A. Maracujá produção: Aspectos Técnicos. Brasília: Embrapa. **Informação Tecnológica**, 2002. p.9.

LIMA, J. Aplicação foliar de silício em mudas de eucaliptos e sua relação com a tolerância à deficiência hídrica. UNESP Botucatu. 2017. **Dissertação** Mestrado, 70p.

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

MANCUSO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1448-1456, 2014.

MELETTI, L.M.M. *Maracujá: diferencial de qualidade da cv. IAC 275 leva agroindústria de sucos a triplicar demanda por sementes.* 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/maracuja/index.htm>. Acesso em: 30 mar. 2019.

PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; MARINO, C. L. Breeding Perennial Species for Abiotic Stress. In: FRITSCHÉ – NETO, R.; BORÉM, A. **Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance**. Berlin: Springer – Verlag, 2012, p.157 – 172.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P.M.; MALFITANO, S.C.; LIMA, R.K.; CORRÊA, L.V.T.; CARVALHO, E.R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p.908-913, 2010.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 869 – 882, 2011.

PINTO, S. I. C. et al. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1005-1014, 2009.

QUEIROZ, R. J. B. **Resposta fisiológica e molecular de dois genótipos de milho à limitação hídrica.** 2010. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008.

SONOBE K.; HATTORI T.; AN P.; TSUJI W.; ENEJI A. E.; KOBAYASHI S.; KAWAMURA Y.; TANAKA K.; INANAGA S. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.34, p. 71 – 82, 2011

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Sunderland: Sinauer Assoc, 2010, 782p.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I; MURPHY, A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre, BR:Artmed. 888 p.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic

stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, Oxford, v. 45, p. 523 – 539, 2006.

WARREN, C. R.; ARANDA, I; CANO, F. J. Responses to water stress of gas exchange and metabolites in *Eucalyptus* and *Acacia* spp. **Plant, Cell And Environment**. Oxford, p. 1609 – 1629, 2011.

ZERAIK, M. L.; PEREIRA, C. A. M.; ZUIN, V. G.; YARIWAKE, J. H. Maracujá: um alimento funcional? **Revista Brasileira de Farmacognosia**, p.459-471, 2010.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, Z. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.

2. Artigo I: Silício como mitigador dos efeitos da deficiência hídrica em plantas jovens de maracujá

*Artigo I: Normas da Revista Australian

Resumo

O maracujá pertence à família *Passifloraceae*, apresenta uma grande aceitação por conta de suas características de alta produtividade e diversidade na utilização na indústria alimentícias, medicinais e ornamentais. O déficit hídrico é o fator mais limitante para obtenção altas produtividades e produtos de qualidade afetando também o desenvolvimento e os processos fotossintéticos das plantas. Com isso, sabemos que o silício (Si) é um elemento que pode minimizar os efeitos da deficiência hídrica. Contribui para minimizar os efeitos dessa deficiência, capaz de promove proteção às plantas, redução da perda de água, aumentar a capacidade fotossintética, auxilia no crescimento e na produção. Da mesma maneira, o Si pode também atuar no metabolismo do nitrogênio, auxiliando também na absorção de nutrientes pelas plantas de maracujá. O objetivo deste trabalho foi avaliar por meio dos parâmetros de crescimento, bioquímicos, fisiológicos das plantas de maracujá quando submetidas em diferentes concentrações de silício sob deficiência hídrica. Os açúcares redutores, carboidratos solúveis totais e proteínas foram influenciadas com a aplicação de silício e sob estresse hídrico. Para altura, diâmetro, número de folhas, o silício proporcionou um aumento, interferindo na produção de biomassa. Os parâmetros fisiológicos, proporcionou mudanças no metabolismo do carbono e nitrogênio. A deficiência hídrica pode acarretar vários impactos sobre o desenvolvimento da planta. No entanto, sabemos que o silício (Si) é um elemento que pode minimizar os efeitos dessa deficiência.

Palavras-chave: *Passifloraceae*, déficit hídrico, fisiológicos.

Silicon application in passion fruit plants under water stress

ABSTRACT- Passion fruit belongs to the *Passifloraceae* family, has a wide acceptance because of its characteristics of high productivity and diversity in use in the food, medicinal and ornamental industry. Water deficit is the most limiting factor for high yields and quality products, also affecting plant development and photosynthetic processes. Thus, we know that silicon (Si) is an element that can minimize the effects of water deficiency. It contributes to minimize the effects of this deficiency, capable of promoting plant protection, reducing water loss, increasing photosynthetic capacity, aiding growth and production. In the same way, Si can also act on nitrogen metabolism, also assisting in the

absorption of nutrients by passion fruit plants. The objective of this work was to evaluate the growth, biochemical and physiological parameters of passion fruit plants when submitted to different silicon concentrations under water deficit. Reducing sugars, total soluble carbohydrates and proteins were influenced by silicon application and under water stress. For height, diameter, number of leaves, silicon provided an increase, interfering with biomass production. The physiological parameters provided changes in carbon and nitrogen metabolism. Water deficiency can have several impacts on plant development. However, we know that silicon (Si) is an element that can minimize the effects of this deficiency.

Key words: *Passifloraceae*, water deficit, metabolism

2.1 Introdução

As espécies de maracujazeiros (*Passiflora* spp.) pertencem à família *Passifloraceae*, sendo seu centro de origem a América Tropical. O Brasil é o centro de origem de um grande número de espécies desta família, onde mais de 520 espécies pertencentes ao gênero *Passiflora* são descritas (SHRESTHA *et al.*, 2019). Dentre as frutíferas o maracujá-amarelo tem ocupado um lugar de destaque na fruticultura, mesmo quando comparado a outras frutas tropicais com maior tradição de consumo. Sua participação no mercado de hortifrutigranjeiros é garantida, adequando-se perfeitamente a este segmento que valoriza produtos de alto valor agregado (MELETTI, 2011).

Para a obtenção de um pomar com uniformidade e alta produtividade é imprescindível que as mudas sejam de boa qualidade e com baixo investimento, pois, além de ser um componente importante do investimento na fruticultura, torna-se uma condição fundamental ao sucesso da atividade, principalmente nos empreendimentos que tendem a atingir as parcelas mais nobres do mercado consumidor o agronegócio da cultura e colaborando para o desenvolvimento econômico do país (SANTOS *et al.*, 2017).

A deficiência hídrica é o fator mais limitante à obtenção de maiores produtividades ou produtos de boa qualidade e quando em excesso é prejudicial ao desenvolvimento da planta (KAVADIA *et al.*, 2020). Esse estresse apresenta-se como um dos fatores que pode prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Quando há incidência de estresse hídrico no solo, o potencial da água na folha diminui, indicando o status hídrico da planta. Além disso, as células guardas perdem o turgor e os estômatos fecham (ROCHA *et al.*, 2019).

O acúmulo de silício, que aumenta tolerância ao déficit hídrico, tem sido associado ao acúmulo de enzimas na parte aérea, regulando a planta em funções como o fechamento dos estômatos e ao desenvolvimento de processos oxidativos, por meio do acúmulo de prolina (WANI *et al.*, 2016).

Estudos também comprovaram que muitas culturas apresentaram maiores produtividades quando submetidas à adubação silicatada, como o estudo feito por Marodin *et al.* (2014) com tomateiro cultivados em vaso, onde observou-se que a aplicação de Si no substrato diminuiu o número de frutos não comerciais e aumentou a produtividade.

O efeito benéfico do Si tem sido associado ao aumento da capacidade de defesa antioxidante diante deficiência hídrica (NUNES *et al.*, 2019) e à manutenção da taxa fotossintética, da condutância estomática da planta, mesmo em níveis de salinidade (HAGHIGHI; PESSARAKLI, 2013), devido à redução da transpiração através da cutícula (ADAMS *et al.*, 2016). O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de diferentes doses de metassilicato de sódio em plantas de maracujá,

conferindo resistência às condições de estresse hídrico, sobretudo na fase inicial da cultura, considerada a de maior sensibilidade à seca.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Condição experimental e material vegetal

O estudo foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) localizada no município de Capitão Poço, no Estado do Pará no período de 22 de fevereiro a 22 de maio de 2018 (Figura A). As sementes foram adquiridas em casa agropecuária e pertencem a marca Feltrin.



Figura A.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)

2.2.2 Produção de mudas e exposição das plantas às dosagens de silício

O experimento foi conduzido em vasos feitos garrafa pet, simulando um sistema hidropônico (Figura B, C e D). Na parte superior do vaso colocou-se um substrato areia branca, lavada e esterilizada. Na Parte inferior, a solução nutritiva, com base Hoagland e Arnon (1950). A solução era

preenchida nos vasos 2 vezes ao dia (Figura E). Foi realizado correção do pH da solução deixando na faixa de 5,8 – 6,0. Aos 7 dias após a emergência das plantas iniciou-se o tratamento com a solução nutritiva. A fonte de silício utilizada foi o metassilicato de sódio e as concentrações foram aplicadas via solução, sendo a primeira aplicação realizada no dia 30 de março de 2018. O estresse hídrico ocorreu no dia 15 de maio num período de 7 dias.



Figura B.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)



Figura C.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)



Figura D.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)



Figura A.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)

2.2.3 Coleta e armazenamento do material

Ao final do experimento as plantas foram levadas ao laboratório para pesagem em balança analítica e a contagem das mesmas. Em seguida, foram feitas as separações em parte aéreas e raiz, medição do comprimento da raiz que foi realizado com auxílio de uma régua graduada e pesagem para aferimento da massa fresca. Em sequência, todas as plantas foram lavadas individualmente em água corrente e enxaguadas com água destilada.

Todos os materiais foram transferidos para estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70 °C, onde permaneceram até que as plantas atingissem peso constante, obtendo os resultados em grama. Após a secagem, foi determinada a massa seca de cada planta e o material foi moído para realização das análises bioquímicas e fisiológicas.

2.2.4 Variáveis de Crescimento

As determinações para os parâmetros de crescimento foram baseadas em mensurações realizadas durante o período experimental, obtendo as seguintes variáveis: altura de planta: medida da superfície do solo até o ápice da planta, através do uso de uma régua milimetrada. O resultado foi expresso em cm, diâmetro do coleto: medido utilizando-se um paquímetro digital 200 mm o resultado foi expresso em mm e número de folhas: foi realizado a contagem do número de folhas vivas.

2.2.5 Produção de biomassa

Para a produção de biomassa as plantas foram separadas em parte aérea e raiz. Essa biomassa após secagem em estufa de circulação forçada, a 70°C por 72 horas, foi utilizada para determinar a massa seca da raiz, a massa seca da parte aérea e a massa seca total, em balança analítica. Após a secagem, foi determinada a massa seca de cada planta e o material foi moído para realização das análises bioquímicas e fisiológicas.

2.2.6 Variáveis bioquímicas analisadas

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Estudos em Biodiversidades de Plantas Superiores (EBPS), localizado na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará. Os parâmetros avaliados foram: sacarose (VAN HANDEL, 1968); carboidratos solúveis totais (DUBOIS et al., 1956); açúcares redutores (MILLER, 1959); atividade da enzima redutase do nitrato (RN) (HAGEMAN; HUCKLESBY, 1971); os teores de proteínas solúveis (BRADFORD, 1976) e prolina (BATES; WALDREN; TEARE 1973).

2.2.7 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial de 2 x 5, sendo 2 condições hídricas: controle e estresse hídrico e 5 concentrações de metassilicato de sódio (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 milimolar), cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pela diferença mínima significativa do teste e foram ajustadas por equações de regressão polinomial $P < 0,01$ ou $0,05$ usando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Variáveis de crescimento

Para as características morfométricas das mudas de maracujá amarelo não foi observado interação entre o controle e o estresse hídrico e as doses de metassilicato de sódio, desta forma esses avaliados individualmente.

Para a variável número de folhas as mudas de maracujá amarelo apresentaram uma redução quanto para o tratamento controle e quando submetidas a estresse hídrico. De acordo com Taiz e Zeiger (2017), em resposta a deficiência hídrica o número de folhas acaba diminuindo, o que se observou neste experimento. Com base na Tabela 1, constata-se que no estresse hídrico apresentaram diferença nas avaliações.

A altura é um parâmetro de crescimento que demonstra a capacidade que as plantas possuem em responder à influência dos fatores bióticos e abiótico que norteiam o metabolismo e seu desenvolvimento. Neste estudo as mudas de maracujá-amarelo apresentaram um desenvolvimento retardado, apresentando um aumento quando submetidas a estresse hídrico (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Ferraz et al., (2014), que constataram efeitos significativos na aplicação de silício na altura da planta de algodoeiro, e concentrações maiores promoveram decréscimos na altura da planta.

A aplicação de Si normalmente estimula várias ações na planta, tais como: maior rigidez estrutural dos tecidos, por aumento da resistência mecânica das células, folhas mais eretas e diminuição do autossombreamento (CAMARGO, 2016), mas não há nenhum fator direto que evidencie maior crescimento efetivo da planta (FREITAS *et al.*, 2011).

O diâmetro do caule não apresentou desenvolvimento nas mudas de maracujá quando submetidas a doses de silício sob déficit hídrico. Enquanto para o tratamento controle houve um aumento no diâmetro do caule. Tal característica foi observada por Nunes et al. (2019), na qual as mudas irão refletir na capacidade que as plantas possuem de sustentação dos frutos.

O déficit hídrico promove diversas alterações biométricas e fisiológicas na cultura, como o fechamento parcial de estômatos, a redução na condutância estomática pela menor eficiência aparente de carboxilação da fotossíntese, o aumento do potencial hídrico foliar, a redução do diâmetro do colmo e da área foliar (MARCOS et al., 2018). Em cana-de-açúcar, a fertilização com Si via solo, na fase de perfilhamento, proporcionou maior diâmetro do caule (CAMARGO et al., 2013).

Pode-se dizer que a nutrição com Si seja capaz de promover uma melhor qualidade de mudas, proporcionando resistência às condições de estresse hídrico, principalmente na fase inicial de desenvolvimento da cultura, considerada a de maior sensibilidade à seca.

2.3.2. Produção de biomassa

Massa fresca da raiz e da parte aérea

Houve um aumento da matéria fresca da raiz das mudas de maracujá amarelo quando comparadas as plantas que foram submetidas ao estresse hídrico e tratadas com silício (Tabela 1).

Para a produção de massa fresca da parte aérea os resultados obtidos (Tabela 1) com a aplicação de silício demonstraram que houve maior produção no tratamento controle. O silício não é considerado um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, no entanto ele possui a capacidade de aumentar a produtividade de massa fresca da parte aérea (*Lactuca sativa* L.) (LEMOS NETO et al., 2020).

Os resultados obtidos demonstram que ocorreu uma diminuição da massa seca da raiz nas mudas sob estresse hídrico, enquanto ocorreu um efeito adverso no controle e à medida que as doses aumentaram a massa seca da raiz diminuiu (Tabela 1). Já para a parte aérea, a deficiência hídrica diminuiu a massa seca à medida que as doses de Si aumentaram e não houve diferença significativa entre as plantas tratadas com silício e o controle (Tabela 1).

A presença do Si foi fundamental para a manutenção da massa seca da parte aérea e das raízes. Mesmo com a redução no acúmulo de massa seca, a presença do Si fornecido por via solução nutritiva foi suficiente para mitigar danos causados pelo déficit hídrico e reduzir as perdas no acúmulo de biomassa. As plantas são classificadas como acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias de silício, o maracujá é considerada como uma cultura acumuladora sendo que esse elemento não é essencial para a conclusão do seu ciclo vegetal (MENEGALE et al., 2015).

2.3.3- CRA nas folhas

O tratamento controle foi superior em relação ao estresse hídrico para a variável CRA em mudas de maracujá amarelo, quando submetida a estresse hídrico o metassilicato de sódio apresentou um acréscimo desse conteúdo no decorrer do aumento das doses (TABELA 1), isso ocorre devido a dupla camada na cutícula da parede celular, podendo reduzir assim a perda de água e o fluxo transpiratório (LEMOS NETO et al., 2020). O conteúdo relativo de água é considerado como um indicador das condições hídricas da planta, que corresponde à quantidade de água no tecido, num dado instante, comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter.

A aplicação de Si amenizou os danos causados pela deficiência hídrica sobre o conteúdo relativo de água, pois segundo estudo com abóbora sobre estresse salino de Siddiqui et al. (2014), relatam que o acúmulo de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de dupla camada de

sílica, causando assim redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos limitando assim a perda de água.

O controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o conteúdo hídrico da planta e alterações no CRA afetam diretamente todo o aparato fotossintético (ZHANG et al., 2014; QAYYUM et al., 2017; ZEGAQUI et al. 2017). Para Kuromori et al. (2018), se o período de seca for prolongado, a deficiência hídrica pode afetar a cultura, com redução na altura da planta, na taxa de crescimento relativo, o índice de área foliar, conteúdo relativo de água e na taxa fotossintética.

Tabela 1 - Equações de regressão e percentual de redução e aumento (PRA) dos parâmetros relacionados a fisiologia e de crescimento na parte aérea e radicular das mudas de maracujá submetidas à doses crescentes de silício.

Variável	Condição hídrica	Doses de silício (mM)					Equação de regressão	R ²	CV (%)	PRA
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0				
NF	Cont	14.4 (0.2)	14.6 (0.6)	15.8 (0.7)	13.8 (0.6)	13.2 (0.6)	$y = 14.3143+2.1029x-1.3714x^2$ *	70.4	8.9	-8.3
	Def	11.6 (0.5)	13.2 (0.4)	13.0 (0.3)	11.6 (0.5)	11.2 (0.4)	$y = 11.8571+2.4914x-1.4857x^2$ **	75.3	7.8	-3.4
AP (cm)	Cont	86.4 (3.4)	78.4 (3.3)	77.0 (6.2)	79.0 (2.1)	68.6 (7.5)	$y = 84.88-7x$ *	76.1	14.2	-20.6
	Def	70.6 (4.6)	80.8 (3.9)	72.8 (3.4)	72.6 (2.0)	60.0 (5.5)	$y = 71.84+15.72x-10.8x^2$ *	84.8	12.7	-15
DC (mm)	Cont	5.8 (0.1)	6.3 (0.2)	6.2 (0.2)	5.9 (0.2)	5.5 (0.1)	$y = 5.8444+0.9376x-0.56x^2$ **	95.2	6.1	-4.8
	Def	5.6 (0.2)	5.5 (0.1)	5.3 (0.1)	5.5 (0.1)	5.4 (0.2)	$y = 5.4532$ ^{ns}	-	5.4	-3.1
MFR (g)	Cont	21.2 (1.8)	28.4 (0.9)	25.8 (1.5)	24.7 (1.2)	21.1 (0.6)	$y = 22.1288+10.7468x-5.764x^2$ **	78.2	11.9	-0.6
	Def	17.1 (0.6)	18.1 (0.8)	17.5 (0.8)	17.1 (0.9)	16.7 (0.6)	$y = 17.306$ ^{ns}	-	9.9	-1.9
MFPA (g)	Cont	31.2 (1.3)	37.4 (1.7)	34.2 (1.4)	25.5 (1.0)	24.4 (2.0)	$y = 32.7212+6.4888x-5.792x^2$ **	75.8	11	-21.8
	Def	17.3 (3.0)	18.6 (0.7)	18.1 (1.6)	19.4 (0.8)	26.0 (0.8)	$y = 16.2016+3.6564x$ *	67.3	18.3	50.7
MSR (g)	Cont	3.4 (0.1)	2.9 (0.1)	2.7 (0.1)	2.6 (0.1)	2.4 (0.1)	$y = 3.2472-0.4696x$ *	94.4	9.2	-30.1
	Def	2.8 (0.1)	2.7 (0.1)	2.6 (0.1)	2.5 (0.1)	2.4 (0.1)	$y = 2.7732-0.1968x$ *	98.1	8.3	-14.2
MSPA (g)	Cont	6.6 (0.4)	7.2 (0.8)	5.6 (1.0)	6.0 (0.6)	5.6 (0.6)	$y = 6.1696$ ^{ns}	-	26	-15.7
	Def	4.7 (0.4)	4.8 (0.3)	4.8 (0.3)	4.8 (0.4)	5.6 (0.7)	$y = 4.924$ ^{ns}	-	19.8	18.9
CRAF (%)	Cont	96.4 (1.9)	94.8 (1.8)	95.1 (2.0)	94.8 (1.5)	95.1 (2.3)	$y = 95.2304$ ^{ns}	-	4.5	-1.3
	Def	52.7 (3.3)	59.6 (2.8)	65.3 (1.7)	69.4 (2.1)	79.1 (3.2)	$y = 52.6718+12.5476x$ *	98.4	9.2	50.2

Tabela 2 - Equações de regressão e percentual de redução e aumento (PRA) dos parâmetros relacionados bioquímico na parte aérea e radicular das mudas de maracujá submetidas à doses crescentes de silício.

Variável	Condição hídrica	Doses de silício (mM)					Equação de regressão	R ²	CV (%)	PRA (%)
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0				
RNR (nmoles de NO ₂ ⁻ .g.MF ⁻¹ .h ⁻¹)	Cont	140.4 (36.5)	255.0 (54.2)	805.8 (55.9)	197.3 (35.6)	250.3 (20.1)	y = 114.1263+765.2629x-366.4114x ² **	41.2	28.9	78.3
	Def	70.0 (6.8)	45.2 (13.2)	36.9 (9.4)	35.2 (11.5)	34.8 (8.1)	y = 60.5352-16.1184x *	72.9	50.5	-50.4
RNF (nmoles de NO ₂ ⁻ .g.MF ⁻¹ .h ⁻¹)	Cont	754.8 (35.3)	648.7 (81.0)	804.0 (77.3)	916.2 (36.1)	256.2 (46.7)	y = 657.516+511.732x-328.84x ² **	57.5	19.4	-66.1
	Def	42.8 (14.4)	31.7 (8.6)	52.0 (3.7)	88.2 (30.1)	21.6 (9.4)	y = 47.264 ^{ns}	-	76.1	-49.6
ProtR (μg prot g ⁻¹ MS)	Cont	16.4 (1.2)	25.4 (1.5)	24.6 (1.8)	26.8 (0.7)	24.2 (0.9)	y = 17.1943+14.9429x-5.7714x ² **	87.2	12.4	47.6
	Def	18.6 (2.1)	24.8 (1.2)	14.8 (0.6)	9.3 (1.5)	4.4 (1.1)	y = 20.6343+1.3189x-5.0514x ² **	85.4	21.7	-76.3
ProtF (μg prot g ⁻¹ MS)	Cont	31.6 (11.2)	909.2 (27.1)	735.7 (83.2)	70.4 (42.6)	44.9 (12.3)	y = 192.5531+1150.6114x-656.5257x ² **	60.4	27.5	42
	Def	85.6 (18.1)	720.4 (31.7)	91.4 (13.8)	50.2 (6.5)	31.0 (8.6)	y = 248.6966+255.6937x-205.7829x ² **	28.2	20.7	-63.8
ProlR (nmol.g ⁻¹ .MS)	Cont	201.8 (21.5)	140.8 (18.6)	80.2 (6.9)	146.6 (11.7)	131.0 (4.0)	y = 198.3543-151.6171x+62.2286x ² **	69.6	22.7	-35.1
	Def	739.8 (43.5)	230.0 (16.8)	293.8 (23.2)	331.2 (13.5)	320.6 (26.7)	y = 669.3771-702.8686x+277.7143x ² **	73.7	15.7	-56.7
ProlF (nmol.g ⁻¹ .MS)	Cont	217.6 (41.4)	226.4 (30.5)	263.2 (53.6)	325.4 (47.5)	308.2 (38.8)	y = 268.16 ^{ns}	-	35.9	41.6
	Def	1495.8 (85.2)	1752.6 (124.0)	1973.0 (137.1)	1763.6 (83.7)	1289.8 (98.7)	y = 1465.0171+1000.3714x-540.2857x ² **	96.6	14.6	-13.8
CSTR (nmol carb. g ⁻¹ MS)	Cont	764.4 (46.7)	535.2 (22.8)	422.0 (48.8)	338.0 (13.3)	593.4 (46.1)	y = 781.0686-678.3543x+285.2571x ² **	93.3	16.2	-22.4
	Def	452.4 (17.6)	546.0 (32.2)	765.2 (59.1)	758.6 (52.9)	629.2 (40.5)	y = 421.0686+497.1257x-191.9429x ² **	87.6	15.3	39.1
CSTF (nmol carb. g ⁻¹ MS)	Cont	1084.6 (69.6)	1841.8 (37.3)	1149.2 (61.9)	1061.2 (53.2)	871.8 (36.4)	y = 1258.8743+495.1029x-368.1714x ² **	47.6	9.9	-19.6
	Def	723.4 (48.2)	675.6 (22.9)	746.6 (35.0)	832.8 (13.4)	1003.0 (27.4)	y = 717.4571-114.5486x+128.9143x ² **	99.2	8.9	38.7
ARR (nmol carb. g ⁻¹ MS)	Cont	164.2 (15.5)	120.4 (7.7)	37.8 (6.2)	43.6 (7.1)	131.8 (10.3)	y = 178.2229-229.6914x+100.6857x ² **	86.3	22.3	-19.7
	Def	29.2 (14.1)	156.8 (12.0)	174.0 (9.4)	166.0 (6.7)	78.2 (5.3)	y = 34.2571+282.0114x-130.2857x ² **	97.7	18.6	167.8
ARF (nmol carb. g ⁻¹ MS)	Cont	150.6 (16.1)	211.0 (19.3)	255.4 (18.8)	320.8 (15.8)	257.8 (10.8)	y = 142.0229+193.8686x-64.5143x ² **	88.9	15.4	71.2
	Def	342.6 (1.9)	194.8 (18.1)	173.6 (10.1)	170.6 (14.4)	145.4 (15.1)	y = 326.7486-234.2343x+75.2571x ² **	90.8	14.3	-57.6

2.3.4- Variáveis bioquímicas

Para as análises bioquímicas o estudo apresentou interação nas raízes para as proteínas, carboidratos solúveis totais e açúcares redutores tanto para as raízes quanto para as folhas, as demais análises os fatores foram estudados isoladamente.

Redutase do nitrato

Para atividade redutase de nitrato (Tabela 2) observa-se, que as mudas de maracujá que foram submetidas ao estresse hídrico apresentaram reduções na atividade ao serem comparadas com tratamento controle. Porém a comparação entre os tratamentos sob deficiência hídrica mostrou que as plantas que receberam a aplicação de silício diminuem os efeitos negativos do estresse sobre a atividade redutase do nitrato nas raízes e nas folhas. Assim, as plantas que receberam as menores doses de Si proporcionaram melhores resultados que as plantas com estresse submetidas a maiores doses para atividade nas raízes.

É possível dizer que o estresse hídrico reduz a atividade da enzima redutase do nitrato por diminuir o fluxo de água pela corrente transpiratória e, com isso, também o fluxo de nitrato para as folhas. A interação entre nitrogênio e a condição hídrica do solo é importante porque esse nutriente frequentemente limita o crescimento das plantas cultivadas em ambientes de baixa pluviosidade (SOUZA et al., 2014).

Segundo Khouri (2007), o estresse hídrico reduz a atividade dessa enzima por diminuir o fluxo de água pela corrente transpiratória e, com isso, também o fluxo de nitrato para as folhas. A redução da atividade da redutase do nitrato diminui a formação de aminoácidos, proteínas e clorofilas, prejudicando, assim, o crescimento e o desenvolvimento da planta (SOUZA et al., 2014).

Proteína nas folhas e nas raízes

As proteínas solúveis totais em mudas de maracujá mostraram que houve uma redução nos valores quando as plantas foram submetidas a deficiência hídrica e controle, tanto para as raízes quanto para as folhas (Tabela 2). Souza et al., (2014) obteve resultados semelhantes e afirmou que provavelmente, nesse caso, as altas doses de Si podem ter sido tóxicas para as concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes.

O Si pode formar uma dupla camada silicatada sobre a epiderme da folha, reduzindo, dessa forma, a perda de água pelas plantas, amenizando, assim, os efeitos negativos da deficiência hídrica (SIDDIQUI et al., 2014).

Prolina nas raízes e nas folhas

Quanto ao teor de prolina nas raízes, observou-se que na condição de estresse hídrica, houve uma redução (Tabela 2). No entanto nas folhas ocorreu um aumento na concentração de prolina. Em geral, o teor de prolina nas folhas aumentam com o declínio da disponibilidade hídrica, sugerindo que a produção de prolina é provavelmente uma resposta comum sob condições de deficiência hídrica (FARHAD, et al., 2011).

A prolina sob condições de estresse, se acumula em grandes quantidades no citosol, contribuindo substancialmente para o ajuste osmótico citosólico, sendo esse aumento associado à tolerância de plantas à desidratação (SOUZA et al., 2013).

O acúmulo de prolina sob estresse é um sintoma de lesão, e a diminuição induzida pelo Si no acúmulo de prolina foi um sinal de alívio das lesões provocadas pelo déficit hídrico, pois o nitrogênio acumulado pode ser incorporado em outros compostos orgânicos (TEIXEIRA, 2018).

Estudos realizados por Alzahrani et al. (2018), verificaram que houve um aumento expressivo de prolina nas plantas de trigo quando estas foram submetidas a aplicação de silício sob condição de estresse. Altos níveis de prolina permitem que a planta mantenha o potencial de água baixo porque o acúmulo de osmólitos compatíveis permite que as plantas absorvam mais água do ambiente, dessa forma, amenizando os efeitos do déficit hídrico (PAULUS, 2010).

Carboidratos solúvel total

Para as concentrações de carboidratos solúveis totais nas folhas e raízes de maracujá amarelo, o tratamento controle com adição de silício apresentaram redução com aumento das doses. No entanto para o tratamento com estresse hídrico, nas folhas e raízes das mudas obteve aumento nos teores de carboidratos conforme as doses de silício aumentavam (Tabela 2).

Nas plantas sob deficiência hídrica, o aumento dos carboidratos solúveis totais está relacionado ao processo de ajustamento fisiológico no metabolismo dessas plantas,

reduzindo seus potenciais osmóticos no sentido de manter a planta hidratada e de, conseqüentemente, retardar a desidratação dos seus tecidos (SOUZA et al., 2014).

O Uso do silício na agricultura tem trazido diversos resultados benéficos para uma diversidade de espécies de vegetais, principalmente quando essas plantas estão submetidas a estresse biótico ou abiótico.

Açúcares redutores

As concentrações de açúcares redutores das raízes das mudas controle foram maiores na ausência de silício diminuindo com aumento desse elemento (Tabela 2). As mudas de maracujá em estresse e cultivadas com as concentrações de Si apresentaram um aumento na concentração de açúcares, apresentando uma queda na última dose.

Nas folhas as maiores concentrações de açúcares foram observadas no controle. Os tratamentos de déficit hídrico apresentaram altas concentrações de açúcares nas folhas das mudas e foram reduzindo com o aumento da concentração de Si em comparação ao controle (Tabela 2).

As concentrações de açúcares redutores das raízes das plantas sem déficit hídrico foram maiores na ausência de silício diminuindo com aumento desse elemento (Tabela 2). As plantas em estresse e cultivadas com as concentrações de Si apresentaram um aumento na concentração de açúcares, exceto as que foram tratadas com 2,0mM de Si.

Nas folhas de maracujá, os tratamentos em déficit hídrico apresentaram altas concentrações de açúcares e foram reduzindo com o aumento da concentração de Si em comparação ao controle (Tabela 2).

Os açúcares redutores fazem parte dos açúcares não estruturais cujos teores são sensíveis as variações ambientais e injúrias sofridas pelas plantas (NOGUEIRA, 2018). São utilizados para avaliar as respostas das plantas às condições de estresse, e sua acumulação é de grande importância, uma vez que são utilizados como fonte de energia no processo respiratório (FERREIRA 2016).

O teor de açúcares redutores é maior nos primeiros estágios de amadurecimento (FERREIRA 2016). Além disso, o avanço da maturação promove a conversão de maior parte dos açúcares livres em amido (KAYS, 1991). Portanto, quanto menor a concentração de amido, maior a palatabilidade do produto, porém a proporção ideal entre açúcares.

A aplicação de silício se mostra uma interessante ferramenta quando se busca a manutenção dos teores de açúcares em diferentes culturas.

2.4. Conclusão

O estresse hídrico não afetou a morfometria das mudas de maracujá amarelo, no entanto para as avaliações bioquímicas da cultura observou-se efeito direto do metassilicato de sódio sobre as mudas com estresse. Demonstrando assim o efeito benéfico do silício na formação da dupla camada na cutícula da parede celular, observando um aumento do conteúdo relativo de água na folha o que pode vir alterar a osmorregulação das mudas.

2.5 Referências

Adams WW, Adams IIIWW, Stewart JJ, Cohu CM, Muller O, Demmig-Adams B (2016) Habitat temperature and precipitation of *Arabidopsis thaliana* ecotypes determine the response of foliar vasculature, photosynthesis, and transpiration to growth temperature. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1-18.

Ashraf M, Foolad MR (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59: 206-216.

Bates LS, Waldren RP, Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Short communication. Plant and Soil*. 39: 205-207.

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*. 72: 248-254.

Camargo MS, Rocha G, Korndörfer GH (2013) Silicate fertilization of tropical soils: silicon availability and recovery index of sugar cane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37: 602–612.

Camargo MSD (2016) Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. *Informações Agronômicas*. 155: 1-8.

Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28: 350-356.

Farhad MS, Masoudi-Sadaghiani F, Babak AM, Zardoshti MR, Hassan RSM, Tavakoli A (2011) Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science. 5: 55-60.

Ferraz RLD, Macedo Beltrao NED, Melo ASD, Magalhaes ID, Fernandes PD, Rocha MDS (2014) Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. Semina-ciencias Agrarias. 35: 735-748.

Ferreira DF (2014) Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia. 38: 109-112.

Freitas LB, Coelho EM, Maia SCM, Silva TRB (2011) Adubação foliar com silício na cultura do milho. Revista Ceres. 58: 262-267.

Hageman RHG, Hucklesby DP (1971) Nitrate reductase from higher plants. In: Methods in enzymology. 17A: 491-503.

Haghighi M, Pessarakli M (2013) Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae. 161: 111-117.

Hoagland DR, Arnon DI (1950) The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: California Agricultural Experiment Station. 347: 39.

Kavadia A, Omirou M, Fasoula D, Trajanoski S, Andreou E, Ioannides IM (2020) Genotype and soil water availability shape the composition of AMF communities at chickpea early growth stages. Applied Soil Ecology. 150: 103443.

Kuromori T, Seo M, Shinozaki K (2018) ABA transport and plant water stress responses. Trends in Plant Science. 23: 513-522.

Lemos Neto HS, Guimarães MA, Sampaio IMG, Rabelo JS, Viana CS, Mesquita RO (2020) Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce? Australian Journal Of Crop Science. 14: 71-77.

Marcos FCC, Silveira NM, Mokochinski JB, Sawaya AC, Marchiori PE, Machado EC, Souza GM, Landell MGA, Ribeiro RV (2018) Drought tolerance of sugarcane is improved by previous exposure to water deficit. Journal of Plant Physiology. 223: 9-18.

- Marodin JC, Marodin JC, Resende JT, Morales RG, Silva ML, Galvão AG, Zanin DS (2014) Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*. 32: 220-224.
- Meletti LMM (2011) Avanços na cultura do maracujá no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33: 83-91.
- Menegale MLC, Castro GSA, Mancuso MA (2015) Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*. 4: 435-454.
- Miller GL (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. 31: 426- 428.
- Nunes AMC, De Lima NLR, Rodrigues AJO, Uchôa KSA (2019) Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. *Revista Científica Rural*. 21: 239-258.
- Paulus D, Dourado Neto D, Frizzone JA, Soares TM (2010) Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. *Horticultura Brasileira*. 28: 29-35.
- Qayyum A, Razzaq A, Bibi Y, Khan SU, Abbasi KS, Sher A, Mehmood A, Ahmed W, Mahmood I, Manaf A, Khan A, Farid A, Jenks MA (2017) Water stress effects on biochemical traits and antioxidant activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) under In vitro conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 68: 283–290.
- Rocha MRL, Coutinho PWR, Abade MTR, Inagaki AM, Cadorin DA, Hoepers LML (2019) Morfofisiologia de plantas de couve manteiga sob concentrações de húmus líquido. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 18: 438-443.
- Santos TV, Lopes TC, Silva AG, Paula RDCM, Costa E, Silva BFF (2017) Produção de mudas de maracujá amarelo com diferentes materiais refletores sobre bancada. *Journal of Neotropical Agriculture*. 4: 26-32.
- Shrestha B, Weng ML, Theriot EC, Gilbert LE, Ruhlman TA, Krosnick SE, Jansen RK (2019) Highly accelerated rates of genomic rearrangements and nucleotide substitutions in plastid genomes of *Passiflora* subgenus *Decaloba*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 138: 53-64.

Siddiqui MH, Al-Whaibi MH, Faisal M, Al Sahli AA (2014) Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucubita pepo* L. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 33: 2429-2437.

Souza LC, Siqueira JAM, Silva JLS, Silva JN, Coelho CCR, Neves MG, Neto CFO, Lobato AKDS (2014) Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*.13: 117-128.

Taiz L, Zeiger E, Moller I, Murphy A (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre, BR:Artmed. 888.

Wani AS, Ahmad A, Hayat S, Tahir I (2016) Is foliar spray of proline sufficient for mitigation of salt stress in *Brassica juncea* cultivars? *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 13413–13423.

Zegaoui Z, Planchais S, Cabassa C, Djebbar R, Belbachir OA, Carol P (2017) Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. *Journal of Plant Physiology*. 218: 26–34.

Zhang LX, Lai JH, Liang ZS, Ashraf M (2014) Interactive effects of sudden and gradual drought stress and foliar-applied glycinebetaine on growth, water relations, osmolyte accumulation and antioxidant defence system in two maize cultivars differing in drought tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200: 425–433.

3. Artigo II: Teores foliares de nutrientes em mudas de maracujá amarelo submetidas a doses de silício e deficiência hídrica

Resumo

Atualmente, as pesquisas desenvolvidas sobre o silício buscam entender os efeitos desse nutriente em diferentes culturas, entretanto, são ainda incipientes para a cultura do maracujá amarelo em condições de estresse abiótico com ênfase a deficiência hídrica. Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar o efeito do metassilicato de sódio em mudas de maracujá amarelo em condição de estresses hídrico sobre os teores de macronutrientes. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, estudando duas condições hídricas e 5 concentrações de metassilicato de sódio (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 milimolar). Os dados obtidos foram submetidos análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que o estresse hídrico influenciou na absorção e translocação dos macronutrientes nas folhas e raízes das mudas de maracujá, contudo, a aplicação de Si atenuou esse efeito, evidenciando como importante elemento no estudo nutricional de plantas em condições de estresse.

Palavras chaves: maracujá, estresse hídrico, absorção e translocação de macronutrientes.

Abstract

Currently, research on silicon seeks to understand the effects of this nutrient on different cultures, however, they are still incipient for the culture of yellow passion fruit under abiotic stress conditions with emphasis on water deficiency. Thus, the objectives of the present work were to evaluate the effect of sodium metasilicate in yellow passion fruit seedlings under water stress conditions on macronutrient levels. The experiment was conducted in a completely randomized design, studying two water conditions and 5 concentrations of sodium metasilicate (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 milimolar). The data obtained were subjected to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$). The results showed that water stress influenced the absorption and translocation of macronutrients in the leaves and roots of passion fruit seedlings, however, Si application attenuated this effect, showing it as an important element in the nutritional study of plants under stress conditions.

Keywords: passion fruit, water stress, macronutrient absorption and translocation.

3.1 Introdução

A fruticultura brasileira vem se consolidando como um dos principais setores da economia brasileira, isso devido ao seu grande potencial de geração de emprego e renda, sendo o Brasil um dos países que apresenta uma maior diversificação de frutas cultivadas no mundo superando 2 milhões de hectares, onde o maracujazeiro e umas das frutíferas que é bastante cultivada e explorada (COELHO et al., 2010). Considerada essencial no fator sócio-econômico para quase todos os estados brasileiros (GONDIM et al., 2009). O gênero *Passiflora* possui mais de 400 espécies sendo que cerca de 200 delas são nativas do Brasil (BARROS et al., 2013).

O método de propagação mais utilizado do maracujazeiro é através da semente, por ser um método mais fácil, natural e simplificado para a produção de mudas (DANTAS, 2014). A cultura de maracujá-amarelo depende de diversos fatores que proporcione uma produção de frutos adequada e satisfatória que estão diretamente relacionados com a escolha de propagação da planta, tipo de solo, irrigação, polinização, tipo de poda e plantio. Possui uma série de utilidade o seu uso em *in natura*, para produção de sucos, processado na forma de polpas e tantas outras de ordem medicinal e culinária (ANDRADE NETO et al., 2015).

Embora seja uma cultura de alto risco, devido à grande suscetibilidade a doenças, por utilizar insumos de alto valor aquisitivo e de ser necessário atender à exigência de qualidade dos mercados a que se destina, e considerado ainda uma atividade bastante atrativa pelo alto valor agregado da produção (MELETTI, 2011). E no que tange à nutrição mineral, é altamente exigente em nutrientes, e a ausência de elementos essenciais no solo poderá resultar em desempenho insatisfatório da cultura no campo.

A planta em estresse hídrico sofre diversas mudanças fisiológicas e bioquímicas, o que acaba alterando a absorção e translocação de nutrientes (GARG, 2003), podendo assim reduzir o potencial hídrico dos tecidos (LAVINSKY et al., 2015), o que vem gerar uma perturbação no metabólicas, as quais influenciam negativamente seu crescimento e desenvolvimento (ÁVILA, 2018). A água é essencial para plantas de maracujá, pois promove bom crescimento, aumenta a produtividade, permite uma produção contínua e regular, com boa qualidade de frutos (SOUSA et al., 2005). O déficit hídrico no maracujazeiro provoca a queda das folhas e dos frutos, principalmente no início de seu desenvolvimento e, quando se forma, podem com enrugamento, prejudicando a qualidade da produção (MANICA, 1981; RUGGIERO et al., 1996). Pode apresentar a diminuição

no crescimento de folhas, na produção de flores, no tamanho de frutos e no volume de polpa produzida e também acelera a abscisão foliar (VASCONCELLOS; DUARTE FILHO, 2000). O desenvolvimento de brotos florais também é afetado com o estresse hídrico bem mais do que a perda de flores ou frutos por queda prematura (COSTA et al., 2009).

E para melhorar o desempenho das culturas frente à seca destaca-se a suplementação mineral, chamando a atenção para o silício (Si) (LIU et al., 2015), nutriente que quando metabolizados atuam como componentes estruturais e agentes sinalizadores que estimulam positivamente o metabolismo celular e portanto, podem aumentar a tolerância de culturas agrícolas à seca (ÁVILA, 2018).

O silício é o classificado como o segundo elemento mais abundante no solo (SAHEBI et al., 2015). Sua absorção ocorre pelas raízes na forma de ácido silícico [Si(OH)₄], sendo translocado posteriormente para a parte aérea através do xilema (YANG; ZHANG, 2018). Apesar de não ser considerado um elemento essencial, se tem efeitos benéficos sobre o estresse biótico e abiótico (HADDAD et al., 2018).

Fawe et al. (2001), indicam que o silício nas raízes desempenha papel importante na rede de sinalização, podendo induzir resistência sistêmica em outros órgãos. Estudo realizado por Souza (2015) com maracujazeiro, evidenciou que o maracujazeiro é acumulador de silício prioritariamente nas raízes, em vez de folhas e caule. Diante disso, objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito do Si no estado nutricional de mudas de maracujá-amarelo submetidas à estresse hídrico.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizada no município de Capitão Poço-PA (01°44'47" Sul 47°03'57" e Oeste, a 73 m de altitude), no período de 22 de fevereiro a 22 de maio de 2018. De acordo com Koppen, o clima regional é classificado como Ami, apresentando temperatura média anual de 26,9°C e precipitação pluviométrica anual 2.499mm (ALVARES et. al, 2013).

3.2.2 Material vegetal e condições de crescimento

As sementes foram adquiridas em casa agropecuária e pertencem a marca Feltrin. O experimento foi conduzido em vasos de Leonard de 5 L adaptados com garrafas pet (Figura A e B). preenchidos com areia lavada e esterilizada, sendo cultivada de maneira semi-hidropônica (Figura C).



Figura A.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)



Figura B.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)



Figura C.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)

O fornecimento a solução nutritiva foi com base Hoagland e Arnon (1950) preparada com reagentes puros para análise, constituída por 5 mM KNO_3 , 5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1 mM KH_2PO_4 , 2 mM $\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 46,26 μM H_3BO_3 , 9,15 28 μM $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,09 μM $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 89,00 μM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 89,57 μM Na_2EDTA , num volume total de 800 ml por vaso (Figura D). O pH foi ajustado para $5,8 \pm 0,1$ usando HCl ou NaOH. A força iônica iniciou em 25% e foi modificada para 50% e 100%, em intervalos regulares de sete dias. A fonte de silício utilizada foi o metassilicato de sódio e as concentrações foram aplicadas via solução, sendo a primeira aplicação realizada no dia 30 de março de 2018. O estresse hídrico ocorreu no dia 15 de maio num período de 7 dias.



Figura D.

Fonte: Mercês, J. K.R (2018)

3.2.3 Delineamento experimental e avaliação dos tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em um esquema fatorial 2 x 5 com quatro repetições totalizando 50 unidades experimentais, com uma planta em cada unidade. O primeiro fator constou de duas condições hídricas, onde o estresse hídrico ocorreu no dia 15 de maio num período de 7 dias. O segundo fator foi as concentrações de metassilicato de sódio (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 milimolar), sendo aplicado via solução onde a primeira aplicação realizada no dia 30 de março de 2018.

3.3.4 Determinação dos teores de nutrientes

As análises de macro e micronutrientes da parte aérea e raízes foram processadas em triplicata. Para a determinação dos teores de nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) foram analisados segundo a metodologia proposta por Tedesco et al., (1995), onde amostras de 0.2 g de matéria seca foram submetidas à digestão com ácido sulfúrico (H₂SO₄). O N foi determinado por titulação com H₂SO₄ 0,0025 N, após destilação. O P foi determinado por espectrofotometria e o K por fotometria de chama.

Os teores de magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Enxofre (S), foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Miyazawa et al. (2009), com adaptações. A matéria seca (0.5 g) de cada amostra foi digerida em tubo digestor com 8 mL de solução de ácido nítrico (HNO₃) + ácido perclórico (HClO₄) (3: 1). Após o arrefecimento, a solução no tubo foi filtrada e diluída com água deionizada até um volume final de 50 mL. Os teores de Ca, Mg, S foram determinados nesta solução por espectrometria de absorção atômica (Thermo Scientific ICE 3000).

3.2.5 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pela diferença mínima significativa do teste e foram ajustadas por equações de regressão polinomial $P < 0,01$ ou $0,05$ usando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2014).

3.3 Resultados e Discussão

Com base nos dados obtidos na análise nutricional das mudas de maracujá (TABELA 1 e 2), foi verificado que as condições hídricas e concentração de silício impostas influenciaram positivamente para a absorção e translocação dos macronutrientes como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) tanto na parte aérea como nas raízes das mudas.

Tabela 3. Teores de nutrientes nas folhas de mudas de maracujá amarelo tratadas com Si e expostas ao estresse hídrico.

Nutriente	Condição hídrica	Doses de silício (mM)					Equação de regressão	R ²	CV	PRA
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0				
		(g kg ⁻¹)								
N	Cont	41.28 (1.26)	43.18 (0.52)	47.42 (1.36)	45.84 (0.75)	38.92 (1.41)	$y = 40.3932 + 12.9911x - 6.703x^2$ **	85.1	2.6	-5.7
	Def	31.25 (1.17)	34.17 (0.57)	38.87 (0.75)	38.61 (0.97)	34.74 (1.65)	$y = 30.5951 + 12.8793x - 5.298x^2$ **	90.7	3.1	11.2
P	Cont	2.29 (0.06)	2.53 (0.07)	2.72 (0.05)	2.74 (0.10)	2.26 (0.08)	$y = 2.2453 + 0.9486x - 0.4583x^2$ **	90.3	2.9	-1.0
	Def	1.34 (0.08)	1.45 (0.07)	1.69 (0.03)	1.68 (0.06)	1.56 (0.05)	$y = 1.3126 + 0.5245x - 0.1958x^2$ **	88.9	3.9	16.2
K	Cont	27.11 (0.80)	29.45 (0.44)	31.29 (1.03)	31.81 (1.46)	29.36 (0.58)	$y = 26.8763 + 7.5909x - 3.1098x^2$ **	95.5	3.1	8.3
	Def	19.49 (0.66)	21.77 (0.82)	23.85 (0.96)	23.54 (0.70)	20.47 (1.61)	$y = 19.2094 + 8.2201x - 3.737x^2$ **	95.1	4.6	5.0
Mg	Cont	3.94 (0.04)	4.17 (0.04)	4.37 (0.11)	4.31 (0.06)	3.94 (0.11)	$y = 3.907 + 0.8615x - 0.4151x^2$ **	95.0	1.9	0.2
	Def	3.33 (0.05)	3.50 (0.04)	3.56 (0.05)	3.46 (0.08)	3.44 (0.10)	$y = 3.3447 + 0.3389x - 0.1505x^2$ **	83.0	2.0	3.4
Ca	Cont	5.14 (0.09)	5.32 (0.07)	5.36 (0.05)	5.44 (0.04)	5.35 (0.07)	$y = 5.1435 + 0.3836x - 0.1375x^2$ **	95.4	1.3	4.1
	Def	4.20 (0.08)	4.47 (0.09)	4.55 (0.06)	4.26 (0.08)	4.08 (0.24)	$y = 4.2239 + 0.629x - 0.3613x^2$ **	90.2	3.0	-3.0
S	Cont	3.85 (0.00)	3.93 (0.05)	4.07 (0.13)	4.29 (0.08)	3.83 (0.12)	$y = 3.7877 + 0.6353x - 0.2848x^2$ **	56.4	2.3	-0.4
	Def	3.24 (0.05)	3.31 (0.05)	3.41 (0.11)	3.42 (0.07)	3.44 (0.04)	$y = 3.2603 + 0.1024x$ **	87.2	2.0	6.2

Tabela 4. Teores de nutrientes nas raízes de mudas de maracujá amarelo tratadas com Si e expostas ao estresse hídrico.

Nutriente	Condição hídrica	Doses de silício (mM)					Equação de regressão	R ²	CV	PRA
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0				
		(g kg ⁻¹)								
N	Cont	20.48 (0.73)	22.78 (1.10)	24.00 (0.47)	20.61 (0.87)	18.50 (0.74)	$y = 20.5817 + 6.4459x - 3.8368x^2$ **	90.2	3.8	-9.7
	Def	13.55 (0.57)	14.12 (0.38)	15.25 (0.48)	15.29 (0.45)	14.35 (0.44)	$y = 13.3706 + 2.8973x - 1.1724x^2$ **	87.5	3.2	5.9
P	Cont	1.67 (0.05)	1.75 (0.04)	1.82 (0.03)	1.74 (0.03)	1.69 (0.02)	$y = 1.6709 + 0.2406x - 0.1169x^2$ **	87.4	2.1	1.4
	Def	1.38 (0.04)	1.52 (0.01)	1.53 (0.01)	1.57 (0.02)	1.50 (0.01)	$y = 1.3863 + 0.2872x - 0.1147x^2$ **	94.1	1.6	8.7
K	Cont	31.97 (0.53)	33.42 (0.56)	34.54 (0.76)	35.72 (0.82)	32.36 (0.97)	$y = 31.62 + 6.0843x - 2.7334x^2$ **	77.9	2.2	1.2
	Def	24.18 (0.43)	25.47 (0.67)	27.43 (0.58)	26.98 (0.69)	25.56 (0.56)	$y = 23.9537 + 5.3251x - 2.2365x^2$ **	91.7	2.3	5.7
Mg	Cont	3.28 (0.03)	3.42 (0.07)	3.55 (0.07)	3.58 (0.09)	3.36 (0.04)	$y = 3.2549 + 0.5309x - 0.2331x^2$ **	90.3	1.9	2.4
	Def	2.50 (0.04)	2.56 (0.03)	2.65 (0.06)	2.66 (0.02)	2.56 (0.07)	$y = 2.4789 + 0.2785x - 0.1161x^2$ **	87.7	1.9	2.5
Ca	Cont	3.66 (0.05)	4.02 (0.11)	4.07 (0.13)	3.76 (0.06)	3.80 (0.11)	$y = 3.7156 + 0.5738x - 0.2857x^2$ **	55.5	30.9	3.7
	Def	3.07 (0.06)	3.28 (0.06)	3.44 (0.08)	3.31 (0.07)	3.27 (0.09)	$y = 3.0787 + 0.5257x - 0.2208x^2$ **	89.0	2.2	6.5
S	Cont	3.32 (0.06)	3.50 (0.05)	3.59 (0.05)	3.51 (0.04)	3.24 (0.13)	$y = 3.3055 + 0.5873x - 0.3075x^2$ **	98.8	2.1	-2.3
	Def	2.64 (0.08)	2.90 (0.06)	2.88 (0.09)	2.76 (0.08)	2.64 (0.05)	$y = 2.6669 + 0.4671x - 0.2468x^2$ **	85.8	2.7	0.3

Para os teores de nitrogênio ((Tabela 3 e 4) na nas folhas das mudas de maracujá amarelo, verificou-se uma redução nas doses 1,5 mM e 2,0 mM de metassilicato de sódio, tanto para o tratamento controle como para as mudas em estresse hídrico. Nas raízes, o tratamento controle apresentou o mesmo comportamento da parte aérea, já as mudas que passaram por estresse hídrico esse aumento do teor de nitrogênio nas raízes foi observado até quando estas foram impostas a concentrações um pouco maiores de 1,5 mM de metassilicato de sódio, havendo uma redução após essa concentração. Parecido (2016) observou os maiores incremento teores foliares desse nutriente nas folhas de café quando foram obtidos na presença da aplicação de Si, o mesmo resultado foi observado neste trabalho, onde os maiores teores de N foram observados na parte aérea das mudas de maracujá.

Foi observado que as mudas de maracujá amarelo submetidas ao estresse hídrico obtiveram um aumento nas concentrações de P e K (Tabela 3 e 4) tanto para as folhas quanto para as raízes, havendo uma redução dos teores nas maiores concentrações de Si. Freire et al. 2012, trabalhando com estresse hídrico observaram o acúmulo dos nutrientes P e K na parte aérea das plantas de gliricídia, contrariamente a esse estudo, onde ocorreu um aumento no conteúdo de P e K.

O déficit hídrico pode diminuir ou inibir a absorção de alguns nutrientes pelas plantas, uma vez que a água serve como meio de movimentação dos íons da solução do solo para o sistema radicular, portanto as plantas submetidas ao estresse hídrico pode ter uma limitação na absorção de elementos como P e K (PEIXOTO, 2017). Além disso, o tempo de imposição do estresse hídrico também é determinante para ocorrência de alterações fisiológicas e de crescimento (PEIXOTO, 2017). Portanto o tempo em que as mudas foram impostas ao estresse hídrico pode não ter sido suficiente para permitir efeitos significativos sobre a absorção dos nutrientes.

Ao analisar os teores de Ca e Mg (Tabela 3 e 4) em folhas e raízes nas mudas de maracujá amarelo, foi observado que houve uma redução na última concentração de metassilicato de sódio em ambos os nutrientes nos tratamentos controle, o mesmo resultado foi observado para raiz expostas ao estresse hídrico.

O cálcio e o magnésio são nutrientes classificados como essenciais para o crescimento e desenvolvimento de diversas culturas, e ambos necessitam de um equilíbrio, já que o desequilíbrio do mesmo pode causar deficiência de outros elementos como o cálcio, magnésio ou potássio (Coutinho et. al, 2020).

Trabalhos realizados em tomateiro, o tecido foliar apresentou maiores concentrações de magnésio que os frutos, mostrando também que as folhas do tomateiro apresentou maior concentração

de cálcio em relação ao magnésio, sabe-se que estes nutrientes apresentam interrelação na nutrição vegetal, onde a excesso de um pode prejudicar a adsorção e absorção do outro (Coutinho et. al, 2020).

Para os teores de S (Tabela 3 e 4) da parte aérea das mudas de maracujá amarelo reduziu com a dose máxima de silício no tratamento controle, já as que foram expostas a deficiência hídrica apresentaram aumento do teor de S conforme o acréscimo de metassilicato de sódio. Em relação ao teor de S nas raízes, observou-se um aumento seguindo de uma redução desse nutriente nas maiores doses de metassilicato de sódio.

Souza et. al (2017), observaram que a concentração de S na parte aérea foi alterada no nível mais alto de estresse salino, o que influenciou na absorção e transporte de S das raízes para a parte aérea, e conforme Parecido (2016) o conteúdo nutricional de S da cultura da cebolinha na presença de Si não foi influenciado.

3.4 Conclusão

Concentrações de metassilicato de sódio menores que 2,0 mM) favorece maiores incrementos nos teores de macronutrientes, o aumento nos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. é verificado nas mudas que receberam menores doses de metassilicato;

O estresse hídrico reduziu a absorção e translocação dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S.

3.5 Referências

- ANDRADE NETO, R. de C.; RIBEIRO, A. M. A. de S.; ALMEIDA, U. O. de; Negreiros, J. R. da S. Caracterização química, rendimento em polpa bruta e suco de diferentes genótipos de maracujazeiro azedo. I ENAG, Bananeiras-PB, 2015.
- ANDRADE NETO, R.C.; NEGREIROS, J. R. S.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, K. P.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, R. S.; ALMEIDA, U. O.; RIBEIRO, A. M. A. S. Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro-amarelo cvs. BRS gigante amarelo e BRS sol do cerrado. Rio Branco: Embrapa Acre, 2015. 12p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 187).
- BARROS, C. M. B.; MÜLLER, M. M. L.; BOTELHO, R. V.; MICHALOVICZ, L.; VICENSI, M.; NASCIMENTO, R. Substratos com compostos de adubos verdes e biofertilizante via foliar na formação de mudas de maracujazeiro-amarelo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina-PR, v. 34, n. 6, p. 2575-2588, 2013.
- COELHO, A. A.; CENCI, S. A.; RESENDE, E. D. de. Qualidade do suco de maracujá amarelo em diferentes pontos de colheita e após o amadurecimento. Ciênc. agrotec, Lavras, v. 34, n. 3, p. 722-729, 2010.
- COSTA, M. M.; BONOMO, R.; JÚNIOR, D. G. DE S.; FILHO, R. R. G.; RAGAGNIN, V. A. Produção do maracujazeiro amarelo em condições de sequeiro e irrigado em JATAÍ – GO. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada- INOVAGRI, Fortaleza, CE, v.3, n.1, p.13–21, 2009.
- COUTINHO, P. W. R.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; LANA, M. C.; ALVES, T. N., INAGAKI, A M. Productivity of tomato hybrids due to the application of calcium silicate. Scientia Agraria Paranaensis, Marechal Cândido Rondon, v. 19, n. 3, 2020.
- DANTAS, K. C. Elaboração e análise de projeto para implantar a estrutura necessária à produção de um hectare de maracujá amarelo-azedo em propriedade do Núcleo Rural de Sobradinho/DF. Planaltina: Universidade de Brasília, 2014. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHERIF, M.; BELANGER, R.R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. editors. Silicon in agriculture. The Netherlands: Elsevier Science; p. 159-169, 2001.
- FREIRE, A. L. O., LEÃO, D. A. S., MIRANDA, J. R. P. Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e doses de fósforo. Semina: Ciências Agrárias [en linea]. 2012, 33 (1), 19-26 [fecha de Consulta 15 de Octubre de 2020]. ISSN: 1676-546X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744111002>.
- GARG, B. K. Nutrient uptake and management under drought: nutrient-moisture interaction. Current Agricultural, New York, v. 27, n. 1/2, p. 1-8, Jan. 2003.

- GONDIM, S. C.; CAVALCANTE, L. F.; CAMPOS, V. B.; MESQUITA, E. F. de; GONDIM, P. C. Produção e composição foliar do maracujazeiro amarelo sob lâminas de irrigação. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.22, n.4, p.100-107, 2009
- HADDAD, C. et al. Silicon Promotes Growth of *Brassica napus* L. and Delays Leaf Senescence Induced by Nitrogen Starvation. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 516, 23 abr. 2018.
- LAVINSKY, A. O. et al. Analysis of maize photosynthesis parameters and whole plant oxidative damage under long-term drought. *Advances in Crop Science and Technology*, London, Suppl. 1, p. 1-6, May 2015.
- LIU, P. et al. Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 111, p. 42-51, Mar. 2015.
- MANICA, I. Fruticultura tropical: maracujá. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 151p.
- MELETTI, L.M.M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal-SP v. 33, n. SPE1, p. 83-91, 2011.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., MURAOKA, T., CARMO, C.A.F.S., Melo, W.J. (2009). Chemical Analysis of Plant Tissues. – In: Silva F.C, (ed): Manual of chemical analysis of soils, plants and fertilizers. Pp. 191-233. Embrapa Informação Tecnológica 2009.
- PARECIDO, Renan José. Doses de nitrogênio via solo e aplicação de silício via foliar na cultura do café arábica. Tese. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, 63p, 2016.
- PEIXOTO, W. F. S., Prins, C. L., Cassaro, S., Vidal, A. K. F., & Freitas¹, R. S. Produção de princípios ativos, nutrição mineral e trocas gasosas em salsa (*petroselinum crispum*) submetidas ao estresse hídrico. *Agrarian_Academy*. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.4, n.7; p. 2017.
- RUGGIERO, C. Situação da cultura do maracujazeiro no Brasil. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 5-9, 2000.
- SAHEBI, M. et al. Importance of Silicon and Mechanisms of Biosilica Formation in Plants. *BioMed Research International*, v. 2015, p. 1–16, 2015.
- SOUZA, B. N. Silício no desenvolvimento morfofisiológico de mudas de maracujazeiro amarelo 2015. Dissertação (Mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras. p. 79. 2015.
- SOUZA, N. S., LIMA, L. I., SILVA, M. K. F. Diagnóstico dos viveiros de mudas cítricas em Santa Luzia do Induá, Capitão Poço – PA. *Agrarian Academic Journal*, v.3, n.1, Jan/Fev (2020).
- SOUZA, Roberta Santos et al. Concentração de macronutrientes e de sódio em mudas de mogno submetidas ao estresse salino. *Nativa*, v. 5, p. 127-132, 2017.
- VASCONCELLOS, M. A. S.; DUARTE FILHO, J. Ecofisiologia do maracujazeiro. *Informe agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 25-28, 2000.

YANG, J.-L.; ZHANG, G.-L. Silicon cycling by plant and its effects on soil Si translocation in a typical subtropical area. *Geoderma*, v. 310, p. 89–98, jan. 2018.

CONCLUSÕES GERAIS

O estresse hídrico nas mudas de maracujá amarelo provoca diminuição no crescimento e na absorção de macronutrientes proporcionando limitações às mudas.

O tratamento das mudas de *Passiflora edulis* com metassilicato de sódio atenuou os efeitos do estresse causados pela deficiência hídrica no crescimento, no estado nutricional, na fisiologia, indicando que esse elemento benéfico pode ser utilizado para aumentar o potencial de defesa destas plantas em ambientes em estresse hídrico.