



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FABIANO SIMPLICIO BEZERRA**

**SILÍCIO NOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE  
MARACUJAZEIRO AMARELO SOB SALINIDADE HÍDRICA**



**AREIA**

**2020**

**FABIANO SIMPLICIO BEZERRA**

SILÍCIO NOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE  
MARACUJAZEIRO AMARELO SOB SALINIDADE HÍDRICA

Sob a Orientação do Professor

**Walter Esfrain Pereira**

e Coorientação do Professor

**Lourival Ferreira Cavalcante**

Dissertação submetida como requisito para  
obtenção do título de **Mestre em**  
**Agronomia**, no Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia.

Areia  
2020

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

B574s Bezerra, Fabiano Simplicio.

Silício nos aspectos fisiológicos e produção de mudas de maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica / Fabiano Simplicio Bezerra. - Areia:UFPB/CCA, 2020.  
85 f. : il.

Orientação: Walter Esfrain Pereira.

Coorientação: Lourival Ferreira Cavalcante.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Passiflora edulis Sims. 3. Doses de silício. 4. Estresse salino. 5. Eficiência fotoquímica.  
I. Pereira, Walter Esfrain. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CAMPUS II - AREIA – PB**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** SILÍCIO NOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO AMARELO SOB SALINIDADE HÍDRICA

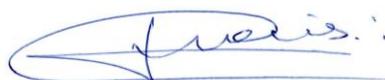
**AUTOR:** FABIANO SIMPLICIO BEZERRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA (Agricultura Tropical) pela comissão examinadora:



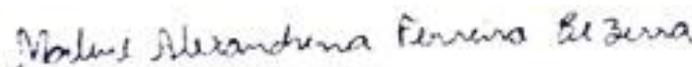
---

Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira - CCA/UFPB  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias - CCHSA/UFPB  
(Examinador)



---

Dr<sup>a</sup>. Marlene Alexandrina Ferreira Bezerra - PNPB  
(Examinadora)

Data de realização: 19 de fevereiro de 2020

Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Eurides Simplicio Bezerra e Cleonizio Felizardo Bezerra, pelas orações, apoio, confiança e ensinamentos, por sempre me motivarem para que eu continuasse lutando em busca dos meus sonhos.

A minhas irmãs, Fabiana Simplicio Bezerra e Maria de Fatima Simplicio Bezerra, por todo carinho e incentivo

A minha sobrinha, Larissa Gabrielly Simplicio Gonçalves, por me mostrar a simplicidade da vida.

Aos demais familiares, em especial a minha tia Irene Simplicio dos Santos, e meu primo, Raumiery Soares dos Santos, pelo apoio e carinho.

## AGRADECIMENTO

A **Deus**, pelo dom da vida, por estar presente em todos os momentos, e sempre me dar força para continuar lutando para transformar meus sonhos em realidades, além de me dar a capacidade intelectual e física para a realização desta conquista.

À Universidade Federal da Paraíba por toda infraestrutura e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade do estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo durante o meu curso.

Ao meu orientador, professor Dr. Walter Esfrain Pereira, e a meu coorientador, professor Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, pela orientação, ensinamentos, amizade e por toda contribuição na minha vida acadêmico-científica e pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), por ter me recebido para fazer parte do seu corpo docente.

À banca examinadora, Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira, Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias e a Dr<sup>a</sup>. Marlene Alexandrina Ferreira Bezerra pela participação na banca e valiosas sugestões.

Aos professores e professoras do Centro de Ciências Agrárias, UFPB, pelo convívio e ensinamentos para minha formação e crescimento profissional, além de todos os funcionários que fazem parte deste âmbito em que pude conviver.

À equipe LOFECA: Francisco Thiago Coelho Bezerra, Marlene Alexandrina Ferreira Bezerra, Altamiro Oliveira de Malta, Antônio Gustavo de Luna Souto (Guga), Isabel Cristina dos Santos Oliveira, e a todos os funcionários do sítio Macaquinhos, em especial a Zezinho.

Aos meus pais, por todos os ensinamentos, pela educação, respeito, carinho, compreensão e amor. Aprendi com eles que caráter e humildade são virtudes grandiosas.

A minhas irmãs, pelo apoio, carinho, compreensão e por toda confiança em mim depositada

A Jacira Silva de Oliveira, pelo carinho e incentivo.

Aos meus avós, Manoel Simplicio dos Santos “*in memoriam*”, Hilda Augusto de Oliveira Simplicio “*in memoriam*”, Felizardo Inácio Bezerra “*in memoriam*” e Noeme Estevam Bezerra.

Aos meus tios e tias, primos e demais familiares que sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos meus amigos David de Paulo Farias, Fábio Araújo dos Santos, Aldeir Ronaldo silva, Elica Santos Carvalho Rios, Francisco Jeanes Silva Soares e em especialmente a Isabel Cristina dos Santos Oliveira, pela ajuda dispensada na realização dessa pesquisa.

Aos meus colegas de mestrado e doutorado: Manoel Ricardo de Andrade Junior, Jardel Pereira Sousa, Jackson Teixeira Lobo, Reynaldo Teodoro de Fatima, Jean Têlvio Andrade Ferreira, Wilma Freitas Celedonio... e tantos outros. Obrigado pela boa convivência e por todo respeito!

Aos meus amigos de convivência diária: Manoel Ricardo de Andrade Junior, Robério de Oliveira e Adjair José da Silva, pela amizade, respeito, confiança e pela excelente convivência que temos.

A todos, que de alguma forma contribuíram de forma direta ou indiretamente para o meu crescimento pessoal e profissional.

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas” (Claude Lévi-Strauss).

BEZERRA F. S. **Silício nos aspectos fisiológicos e produção de mudas de maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica.** Areia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2020, 85f. Trabalho de dissertação em Agronomia. Orientador: Dr. Walter Esfrain Pereira e coorientação: Dr. Lourival Ferreira Cavalcante.

## RESUMO GERAL

O cultivo do maracujazeiro amarelo tem se destacado no setor de frutas tropicais, no entanto, seu rendimento pode ser prejudicado devido aos danos causados pela salinidade. Diante disto, é necessário apontar, técnicas que atenuem tais danos, como a adubação silicatada para mitigar os efeitos negativos do excesso de sais na água de irrigação. Neste sentido, esta pesquisa foi dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo teve como objetivo avaliar o efeito de doses de silício em mitigar os efeitos da salinidade da água de irrigação na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. No segundo, objetivou-se investigar o efeito de doses de silício na fisiologia de mudas de maracujazeiro amarelo sob estresse salino. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco doses de silício (0; 29; 100; 171 e 200 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>), com quatro repetições, geradas da matriz Composto Central de Box. No primeiro capítulo foi observado que a dose de silício 40,3 mg dm<sup>-3</sup> com a água de 1,0 dS m<sup>-1</sup> proporcionou incremento de 1,5 % na área foliar em comparação a ausência de silício. O efeito do silício em aliviar o estresse salino é atribuído à diminuição drástica na concentração de Na<sup>+</sup> na parte aérea de plantas estressadas por sal. A dose de silício 199,4 mg dm<sup>-3</sup> atenua os efeitos da salinidade da água de irrigação em mudas de maracujazeiro amarelo, permitindo o uso de água com salinidade de até 1,41 dS m<sup>-1</sup>. Para o segundo capítulo foi verificado valor máximo na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII (Fv/Fm) (0,77 elétrons quânticos<sup>-1</sup>) com a suplementação de 199,7 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob salinidade de 4,4 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo a um incremento de 3,2% na Fv/Fm aos 60 DAE, sinalizando que o aparato fotossintético das mudas continuou intacto, ou seja, não apresentou danos por fotoinibição no centro de reação do fotossistema II, confirmando os efeitos benéficos do silício em atenuar os danos da salinidade em uma água com um alto nível de sais. A dose de silício de 199,6 mg dm<sup>-3</sup> atenua a salinidade da água de irrigação de 4,4 dS m<sup>-1</sup>, permitindo incremento de 5,2% na razão índice de clorofila *a/b* aos 60 DAE.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims. Estresse salino. Eficiência fotoquímica.

## GENERAL ABSTRACT

The cultivation of yellow passion fruit has stood out in the tropical fruit sector; however, its yield may be impaired due to the damage caused by salinity. In view of this, it is necessary to point out techniques that mitigate such damages, such as silicate fertilization to mitigate the negative effects of excess salts in irrigation water. In this sense, this research was divided into two chapters. The first chapter aimed to evaluate the effect of silicon doses on mitigating the effects of salinity of irrigation water on the formation of yellow passion fruit seedlings. In the second, the objective was to investigate silicon in the physiology of yellow passion fruit seedlings under salt stress. The experimental design was in randomized blocks, with five doses of silicon (0; 29; 100; 171 and 200 mg dm<sup>-3</sup>) and five electrical conductivities of irrigation water (0.3; 0.9; 2.4; 3.9 and 4.5 dS m<sup>-1</sup>), with four replications, generated from the Central Composite Box matrix. In the first chapter it was observed that the silicon dose 40.3 mg dm<sup>-3</sup> with water of 1.0 dS m<sup>-1</sup> provided an increase of 1.5 % in leaf area compared to the absence of silicon. The effect of silicon on relieving salt stress is attributed to the drastic decrease in na<sup>+</sup> concentration in the aerial part of salt-stressed plants. The silicon dose 199.4 mg dm<sup>-3</sup> attenuates those made of salinity of irrigation water in yellow passion fruit seedlings, allowing the use of water with salinity of up to 1.41 dS m<sup>-1</sup>. For the second chapter, the maximum value in the maximum photochemical efficiency of the PSII photosystem (Fv/Fm) (0.77 quantum electrons<sup>-1</sup>) was verified with the supplementation of 199.7 mg dm<sup>-3</sup> silicon under salinity of 4.4 dS m<sup>-1</sup>, corresponding to an increase of 3.2% at Fv/Fm at 60 DAE, signaling that the photosynthetic apparatus of the seedlings remains intact, that is, they do not present damage by photoinhibition in the reaction center of photosystem II, confirming the beneficial effects of silicon in attenuating the damage of salinity in a water with a high level of salts. The silicon dose of 199.6 mg dm<sup>-3</sup> attenuates the salinity of irrigation water of 4.4 dS m<sup>-1</sup>, allowing increase of 5.2% in the chlorophyll index ratio a/b at 60 DAE.

**Keywords:** *Passiflora edulis* Sims. Saline stress. Photochemical efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) durante o período experimental no interior da estufa agrícola..... 26
- Figura 2.** Altura (ALT) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE)..... 33
- Figura 3.** Diâmetro (DC) do caule de mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE)..... 35
- Figura 4.** Número de folhas em mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).....37
- Figura 5.** Área foliar (AF) em mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício, (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).....38
- Figura 6.** Massa da matéria seca da raiz (MMSR) de mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).....40
- Figura 7.** Massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).....41
- Figura 8.** Massa da matéria seca total (MMST) de mudas de maracujazeiro amarelo BRS GH1, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).....43

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) durante o período experimental no interior da estufa agrícola.....52

<b>Figura 2.</b> Índice de clorofila <i>a</i> de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	57
<b>Figura 3.</b> Índice de clorofila <i>b</i> de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	58
<b>Figura 4.</b> Índice de clorofila total de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	59
<b>Figura 5.</b> Razão entre os índices de clorofila <i>a/b</i> de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	60
<b>Figura 6.</b> Fluorescência inicial (Fo) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	61
<b>Figura 7.</b> Fluorescência máxima (Fm) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	62
<b>Figura 8.</b> Fluorescência variável (Fv) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	63
<b>Figura 9.</b> Eficiência fotoquímica primária do fotossistema II (Fv/Fo) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	64
<b>Figura 10.</b> Eficiência quântica máxima da fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	66
<b>Figura 11.</b> Taxa fotossintética líquida (A) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	67
<b>Figura 12.</b> Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	67

<b>Figura 13.</b> Condutividade estomática ( $g_s$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	68
<b>Figura 14.</b> Concentração interna de carbono (Ci) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	69
<b>Figura 15.</b> Eficiência no uso de água (EUA) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	79
<b>Figura 16.</b> Transpiração foliar (E) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).....	71

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Esquema dos tratamentos utilizados no experimento em matriz Composto Central de Box (Montgomery, 2013).....27
- Tabela 2.** Atributos químicos (fertilidade e salinidade) e físicos do substrato utilizado para a produção das mudas de maracujazeiro-amarelo.....28
- Tabela 3.** Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água do poço.....29
- Tabela 4.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: altura do caule (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área folia (AF), massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), massa da matéria seca da raiz (MMSR), e massa da matéria seca total (MMST) de mudas de maracujazeiro amarelo ao 15, 30, 45, 60 e 75 dias após o plantio (DAE), Areia-PB.....31

### CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Atributos químicos (fertilidade e salinidade) e físicos do substrato utilizado para a produção das mudas de maracujazeiro-amarelo.....53
- Tabela 2.** Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água do poço.....54

### ANEXOS

### CAPÍTULO II

- Tabela 3.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: índice de clorofila a (ICLa) , índice de clorofila b (ICLb), índice de clorofila total (ICLt), razão entre os índices de clorofila a/b, fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm),

fluorescência variável (Fv), eficiência fotoquímica primária do fotossistema II (Fv/Fo), eficiência quântica máxima da fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 60 DAE, Areia-PB.....82

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: fotossíntese líquida (A), eficiência de carboxilação (EiC) condutância estomática (gs), concentração interna de carbono (ci), eficiência instantânea de uso da água (EiUA), e transpiração (E) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 60 DAE, Areia-PB.....83

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: índice de clorofila a (ICLa) , índice de clorofila b (ICLb), índice de clorofila total (ICLt), razão entre os índices de clorofila a/b, fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), eficiência fotoquímica primária do fotossistema II (Fv/Fo), eficiência quântica máxima da fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos aos 75 DAE, Areia-PB.....84

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A), concentração interna de carbono (ci), eficiência instantânea de uso da água (EiUA), eficiência de carboxilação (EiC) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 75 DAE, Areia-PB.....85

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	16
REFERÊNCIAS.....	18

## CAPÍTULO I

### **SILÍCIO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE SALINO EM MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO**

Resumo. ....	23
Abstract. ....	24
Introdução .....	24
Material e Métodos .....	26
Caracterização do Local da pesquisa.....	26
Tratamentos e Delineamento experimental.....	27
Preparo do Substrato.....	28
Condução do experimento e Preparo da água de irrigação.....	29
Variáveis analisadas e análise estatística.....	30
Resultados e Discussão .....	30
Conclusões.....	43
Referências.....	44

## CAPÍTULO II

### **O SILÍCIO NOS ASPCTOS FISIOLÓGICOS DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO - AMARELO SOB ESTRESSE SALINO**

Resumo. ....	49
Abstract. ....	49
Introdução .....	50
Material e Métodos .....	51
Caracterização do Local da pesquisa.....	51
Tratamentos e Delineamento experimental.....	52
Coleta do solo e Preparo do substrato.....	53

Condução do experimento e Preparo da água de irrigação.....	54
Variáveis analisadas.....	55
Índices foliares de clorofila.....	55
Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	55
Trocas gasosas.....	55
Análise estatística.....	56
Resultados e Discussão .....	56
Conclusões.....	72
Referências.....	73

## INTRODUÇÃO GERAL

Maracujá é o nome geral atribuído para as várias espécies de *Passiflora*; a estimativa é que o gênero *Passiflora*, reúna mais de 500 espécies, sendo a maioria produzindo frutos para consumo *in natura*, com destaque para a espécie *Passiflora edulis* Sims (maracujá azedo, maracujá amarelo, 'maracuya'), encontrado em mais de 90% dos pomares cultivados com maracujá no Brasil (Faleiro et al., 2019).

O Brasil e a Colômbia são os países que possuem maior tradição no cultivo do maracujazeiro (Bernacci et al., 2005), e apresentam maior importância econômica e social com destaque para a agricultura familiar (Faleiro et al., 2019). Entretanto, uma das formas para garantir maior potencial produtivo ao maracujazeiro; diz respeito a etapa de formação de mudas, pois cerca de 60% do sucesso da produção em espécies frutíferas está atrelado a boa qualidade da muda (Minami, 1995), correlacionando a características como: vigor, equilíbrio (parte aérea e sistema radicular) e melhor pegamento após transplante até o local definitivo (Lima et al., 2016).

Atualmente, mais de 20% das terras agrícolas irrigadas do mundo são prejudicadas pelo estresse de salinidade, e essa problemática continua a se agravar devido à aplicação inadequada da irrigação com água salina (Zhu e Gong, 2014), principalmente nas regiões áridas e semi-áridas (Eneji et al., 2008; Farooq et al., 2009). Assim, pôde aumentar a tolerância das plantas cultivadas a estresses abióticos (salinidade) é um desafio de grande importância para atender à demanda de alimentos da crescente população mundial (Shah e Wu, 2019).

O estresse salino traz como consequências a inibição no crescimento e desenvolvimento das plantas por meio do estresse hídrico e da fitotoxicidade gerada pela absorção excessiva de íons como sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) (Wang et al., 2015; Isayenkov e Maathuis, 2019); também gera, deficiência no uso de água e nutrientes (por exemplo, N, Ca, K, P, Fe e Zn), o que leva ao estresse oxidativo nas plantas (Rehman et al., 2019), reduzindo assim a produtividade e os rendimentos agrícolas (Shahid et al., 2018). Altas concentrações de  $\text{Na}^+$  provocam estresse osmótico, acarretando em morte celular (Munns, 2002; Ahanger et al., 2017).

A fotossíntese nas plantas também é prejudicada pelo estresse salino, principalmente devido à uma diminuição na área foliar, condutância estomática e níveis de clorofila, e em menor severidade gera redução na eficiência do fotossistema II (Netondo et al., 2004). Sob condições salinas, ocorre redução na absorção do dióxido de carbono atmosférico, o que gera

em maior fechamento estomático e menor utilização do NADPH pelo ciclo de Calvin (Suo et al., 2017).

Diante desta problemática, vem se estudando intensivamente nas últimas décadas os benefícios do silício (Si) para as plantas, principalmente sob estresse (Coskun et al., 2016) de salinidade (Almeida et al., 2017).

O termo genérico “silício” é utilizado apenas quando a natureza do (s) composto (s) de silício não é mencionada (Currie e Perry, 2007). As concentrações de silício nas plantas variam de 0,1 a 10% do peso seco nas diferentes espécies de plantas (Epstein, 1999). Já no solo essa concentração varia de 14 a 20 mg de Si/L (Montpetit et al., 2012; Vivancos et al., 2015); estando disponível para as plantas na forma de ácido silícico ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) na solução do solo em uma faixa de concentração de 0,1 a 0,6 mM (Luyckx et al., 2017).

As plantas são classificadas como acumuladoras e não acumuladoras de silício; as que possuem níveis de silício em suas folhas acima de 1,5% de sua biomassa seca são acumuladoras e aquelas que apresentam níveis menores que 0,5% não acumuladoras (Marafon e Endres, 2013). Nas plantas, o silício é transportado das raízes para a parte aérea através da corrente do xilema e envolve tanto o transporte passivo quanto o ativo (Mitani e Ma, 2005; Bakhat et al., 2018).

Os nutricionistas de plantas ainda consideram o silício como elemento não “essencial” para plantas superiores, pois na sua ausência as plantas podem cumprir seus ciclos de vida (Epstein, 1999; Liang et al., 2015). No entanto, para alguns autores o silício é considerado um elemento “quase essencial” (Epstein e Bloom, 2005), devido ao seu valioso papel no crescimento e no rendimento das plantas sob estresses abióticos (Rodrigues e Datnoff, 2015; Khan et al., 2018; Wu et al., 2019). Porém essa essencialidade ainda não foi comprovada devido à falta de evidências concretas sobre seu papel bioquímico e fisiológico na biologia dos vegetais (Bakhat et al., 2018).

Recentemente, as pesquisas tem progredido na elucidação dos efeitos mitigadores do silício no estresse osmótico induzido por salinidade e toxicidade de  $\text{Na}^+$  (Zhu et al., 2019), trazendo melhorias no crescimento da parte aérea e na taxa fotossintética líquida, em plantas estressadas por sal (Zargar et al., 2019; Coskun et al., 2019).

Os mecanismos pelos quais a suplementação com silício traz melhorias para a fotossíntese das plantas sob estresse salino está relacionada ao poder deste elemento em reduzir a toxicidade de íons e o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) para

preservar a estrutura e a função das organelas encarregadas pela fotossíntese em plantas sob estresse de salinidade (Liang, 1999; Liang et al., 2003).

Desta forma, o silício para as culturas agrícolas está associado a características nutricionais, morfológicas e fisiológicas, devido à sua deposição nas paredes celulares dos diferentes órgãos vegetais (caules e folhas) (Isa et al., 2010). Além disso, sob diferentes condições de estresse, os efeitos benéficos do silício vem se tornando evidentes, sendo esses efeitos relatados em uma grande variedade de culturas, incluindo melão (Zhang et al., 2020), manga (Helaly et al., 2017), tomate (Korkmaz et al., 2018; Khan et al., 2019), morango (Park et al., 2018), uva (Qin et al., 2016) e groselha-do-cabo (*Physalis peruviana* L. - Solanaceae) (Rezende et al., 2018).

## Referências

AHANGER, M. A.; TOMAR, N. S.; TITTAL, M.; ARGAL, S.; AGARWAL, R. M. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. **Physiology and molecular biology of plants**, v. 23, n. 4, p. 731-744, 2017.

ALMEIDA, D. M.; OLIVEIRA, M. M.; SAIBO, N. J. Regulation of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. **Genetics and molecular biology**, v. 40, n. 1, p. 326-345, 2017.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z., ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G.M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.

BERNACCI, L. C.; MELETTI, L.M.M.; SOARES-SCOTT, M. D.; PASSOS, I. R. S. Espécies de maracujá: caracterização e conservação da biodiversidade. *In*: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M. F. (Org.). **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. p.559-586.

COSKUN, D.; BRITTO, D. T.; HUYNH, W. Q.; KRONZUCKER, H. J. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1072, 2016.

COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H.J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019.

CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1383-1389, 2007.

ENEJI, A. E.; INANAGA, S.; MURANAKA, S.; LI, J.; HATTORI, T.; AN, P.; TSUJI, W. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 2, p. 355-365, 2008.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2005. p. 1- 400.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N. D.; MIRANDA, D.; OTONI, W. C. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 2, p. 1- 17, 2019.

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

HELALY, M. N.; EL-HOSEINY, H.; EL-SHEERY, N. I.; RASTOGI, A.; KALAJI, H. M. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant physiology and biochemistry**, v. 118, p. 31-44, 2017.

ISA, M.; BAI, S.; YOKOYAMA, T.; MA, J. F.; ISHIBASHI, Y.; YUASA, T.; IWAYA-INOUE, M. Silicon enhances growth independent of silica deposition in a low-silica rice mutant, *lsi1*. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1-2, p. 361-375, 2010.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1–11, 2019.

KHAN, A.; KAMRAN, M.; IMRAN, M.; AL-HARRASI, A.; AL-RAWAHI, A.; AL-AMRI, I.; LEE, I.; KHAN, A. L. Silicon and salicylic acid confer high-pH stress tolerance in tomato seedlings. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2019.

KHAN, W. U. D.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M. A.; FAROOQ, M.; ABDULLAH, Y.; RAMZANI, P. M. A.; BILAL, H. M. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018.

KORKMAZ, A.; KARAGÖL, A.; AKINOĞLU, G.; KORKMAZ, H. The effects of silicon on nutrient levels and yields of tomatoes under saline stress in artificial medium culture. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 1, p. 123-135, 2018.

LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. **Plant and soil**, v. 209, n. 2, p. 217-224, 1999.

LIANG, Y.; CHEN, Q. I. N.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, R. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of plant physiology**, v. 160, n. 10, p. 1157-1164, 2003.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. Silicon in agriculture. **Dordrecht: Springer. doi**, v. 10, p. 978-94, 2015.

LIMA, I. M. O.; SILVA JÚNIOR, J. S.; COSTA, E.; CARDOSO, E. D.; BINOTTI, F. F. S.; JORGE, M. H. A. Diferentes substratos e ambientes protegidos para o crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo doce. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 39-47, out./dez. 2016.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 411 p.1-22, 2017.

MARAFON, A. C., ENDRES, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 4, p. 380-388, 2013.

MINAMI, K. **Fisiologia da produção de mudas**. São Paulo: T. A. Queiroz, 129 p. 1995.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.

MONTPETIT, J.; VIVANCOS, J.; MITANI-UENO, N.; YAMAJI, N.; RÉMUS-BOREL, W.; BELZILE, F.; MA, J. F.; BÉLANGER, R. R. Cloning, functional characterization and heterologous expression of *TaLsi1*, a wheat silicon transporter gene. **Plant molecular biology**, v. 79, n. 1-2, p. 35-46, 2012.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 806-811, 2004.

PARK, Y. G.; MUNEER, S.; KIM, S.; HWANG, S. J., JEONG, B. R. Foliar or subirrigational silicon supply modulates salt stress in strawberry during vegetative propagation. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 59, n. 1, p. 11-18, 2018.

QIN, L.; KANG, W. H.; QI, Y. L.; ZHANG, Z. W.; WANG, N. The influence of silicon application on growth and photosynthesis response of salt stressed grapevines (*Vitis vinifera* L.). **Acta physiologiae plantarum**, v. 38, n. 3, p. 1-9, 2016.

REHMAN, S.; ABBAS, G.; SHAHID, M.; SAQIB, M.; FAROOQ, A. B. U.; HUSSAIN, M.; MURTAZA, B.; AMJAD, M.; NAEEM, M.A.; FAROOQ, A. Effect of salinity on cadmium tolerance, ionic homeostasis and oxidative stress responses in conocarpus exposed to cadmium stress: Implications for phytoremediation. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 171, p. 146-153, 2019.

REZENDE, R. A. L. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. D. R.; SILVEIRA, H. R. D. O.; PASQUAL, M.; DIAS, G. D. M. G. Salt stress and exogenous silicon influence physiological and anatomical features of in vitro-grown cape gooseberry. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-9, 2018.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. (Ed.). **Silicon and plant diseases**. Cham, Switz.: Springer, 2015.

SHAH, F.; WU, W. Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1485, 2019.

SHAHID, S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. *In: **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques***. Springer, Cham, 2018. p. 43-53.

SUO, J.; ZHAO, Q.; DAVID, L.; CHEN, S.; DAI, S. Salinity response in chloroplasts: insights from gene characterization. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 5, p. 1-17, 2017.

VIVANCOS, J.; LABBÉ, C.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated resistance of *A. rabidopsis* against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. **Molecular plant pathology**, v. 16, n. 6, p. 572-582, 2015.

WANG, S.; LIU, P.; CHEN, D.; YIN, L.; LI, H.; DENG, X. Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. **Frontiers in plant science**, v. 6, p.1-10, 2015.

WU, J.; MOCK, H. P.; GIEHL, R. F.; PITANN, B.; MÜHLING, K. H. Silicon decreases cadmium concentrations by modulating root endodermal suberin development in wheat plants. **Journal of hazardous materials**, v. 364, p. 581-590, 2019.

ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; BHAT, J. A.; NAZIR, M.; DESHMUKH, R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. **3 Biotech**, v. 9, n. 3, p. 1- 17, 2019.

ZHANG, Z.; FAN, J.; WU, J.; ZHANG, L.; WANG, J.; ZHANG, B.; WANG-PRUSKI, G. Alleviating effect of silicon on melon seed germination under autotoxicity stress. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 188, p. 1-9, 2020.

ZHU, Y. X.; GONG, H. J.; YIN, J. L. Role of Silicon in Mediating Salt Tolerance in Plants: A Review. **Plants**, v. 8, n. 6, p.1-22, 2019.

ZHU, Y.; E GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014.

## CAPÍTULO I

### **Silício como mitigador do estresse salino na formação de mudas de maracujazeiro-amarelo**

**Resumo:** O silício desempenha efeitos positivos em muitas espécies de plantas, atenuando estresses bióticos e abióticos. Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o efeito de doses de silício em mitigar os efeitos da salinidade da água de irrigação no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, estado da Paraíba, Brasil. Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box pela combinação de doses do silício (0; 29; 100; 171 e; 200 mg dm<sup>-3</sup>) e condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5 dS m<sup>-1</sup>). As avaliações ocorreram aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência. Foram mensuradas as seguintes variáveis: altura do caule, número de folhas, área foliar e massa da matéria seca (raiz, parte aérea e total). O silício na dose de 40,3 mg dm<sup>-3</sup> com a água de 1,0 dS m<sup>-1</sup> proporcionou incremento de 1,5 % na área foliar em comparação a ausência de silício. O efeito do silício em aliviar o estresse salino é atribuído à diminuição drástica na concentração de Na<sup>+</sup> na parte aérea de plantas estressadas por sal. As dosagens de silício 44,3 e 45,9 mg dm<sup>-3</sup>, na condutividade elétrica água de 1,0 dS m<sup>-1</sup> proporcionam uma resposta na área foliar de 44,3 e 45,9 mg dm<sup>-3</sup> aos 60 e 75 DAE. A dose de silício 199,4 mg dm<sup>-3</sup> atenua os efeitos da salinidade da água de irrigação em mudas de maracujazeiro amarelo, permitindo o uso de água com salinidade de até 1,41 dS m<sup>-1</sup>. A salinidade da água de irrigação 1,6; 1,5; 1,5; 1,6 e 1,0 dS m<sup>-1</sup>, reduz a massa da matéria seca total em 29,8; 17,2; 13,4; 12,7 e 7,0 % respectivamente, para os 60 e 75 DAE.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims. Doses de silício. Estresse salino.

## Silicon as a mitigator of salt stress in the formation of yellow passion fruit seedlings

**Abstract:** Silicon (Si) has positive effects on many plant species, alleviating biotic and abiotic stresses. This research was carried out with the objective of evaluating the effect of silicate fertilization in mitigating the effects of irrigation water salinity on the growth of yellow passion fruit seedlings. The experiment was conducted in a protected environment, at the Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, municipality of Areia, state of Paraíba, Brazil. The treatments were obtained based on the Central Compound Box matrix by combining doses of silicon (0.0; 29; 100; 171 and; 200 mg dm<sup>-3</sup>) and electrical conductivities of irrigation water (0.3; 0, 9, 2.4, 3.9 and; 4.5 dS m<sup>-1</sup>). The evaluations took place at 15, 30, 45, 60 and 75 days after emergence. The following variables were measured: stem height, number of leaves, leaf area and dry matter mass (root, aerial part and total). Silicon at the dosage of 40.3 mg dm<sup>-3</sup> with water of 1.0 dS m<sup>-1</sup> provided an increase of 1.5 % in leaf area compared to the absence of silicon. The effect of silicon on relieving salt stress is attributed to the drastic decrease in Na<sup>+</sup> concentration in the aerial part of salt-stressed plants. The silicon doses of 44.3 and 45.9 mg dm<sup>-3</sup>, in the electrical conductivity water of 1.0 dS m<sup>-1</sup> provide a response in the leaf area of 44.3 and 45.9 mg dm<sup>-3</sup> at 60 and 75 DAE. The silicon dose 199.4 mg dm<sup>-3</sup> attenuates those made of salinity of irrigation water in yellow passion fruit seedlings, allowing the use of water with salinity of up to 1.41 dS m<sup>-1</sup>. The salinity of irrigation water 1,6; 1,5; 1,5; 1,6 and 1,0 dS m<sup>-1</sup>, reduces the total dry matter mass by 29.8; 17.2; 13.4; 12.7 and 7.0% respectively, for 60 and 75 DAE.

**Keywords:** *Passiflora edulis* Sims. Doses of silicon. Saline stress.

### 1. Introdução

O maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), representa entre 90 e 95% da área cultivada com essa frutífera no Brasil (Jesus et al., 2018; Faleiro et al., 2019), contribuindo para a expansão do agronegócio nacional. Um dos fatores responsáveis para o melhor rendimento do maracujazeiro é a muda, tendo como critérios os aspectos fenotípicos (morfológicos), que são usualmente utilizados para definir sua qualidade (Gomes et al., 2002).

Dentre as características morfológicas amplamente utilizadas em estudos sobre a qualidade das mudas, é destacada a altura, diâmetro e matéria seca, devido a praticidade de seu uso em viveiros e sua correlação com o crescimento e a sobrevivência no campo após o plantio (Santos et al., 2019).

A salinidade da água de irrigação pode ter um efeito negativo em maracujazeiro amarelo, por ser uma cultura sensível à salinidade (Souza et al., 2018), com respostas na morfologia das plantas, causando redução para as variáveis de crescimento vegetativo (altura da planta, área foliar e massa seca) (Parés et al., 2008), pois a salinidade afeta o processo de transporte de água devido ao acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que por fim, prejudica o balanço da absorção de nutrientes essenciais (Larcher, 2003; Marschner, 2012). Uma alternativa para minimizar os efeitos negativos da salinidade no crescimento e no rendimento das plantas é a suplementação com silício em regiões onde a água de irrigação é tida como salina (Tuna et al., 2008).

O maracujazeiro-amarelo é uma planta classificada como acumuladora intermediária de silício (Costa et al., 2016). Pesquisas recentes mostram os benefícios do silício para as plantas sob condições de estresse (Luyckx et al., 2017; Dehghanipoodeh et al., 2018; Chen et al., 2018). Porém há carência de pesquisas com plantas dicotiledôneas (não acumuladoras de silício), como é o caso do maracujazeiro-amarelo.

Um dos efeitos do silício para as plantas sobre estresse salino é contribuir para sua atenuação por meio da inibição da absorção de  $\text{Na}^+$  (Zhu e Gong, 2014) e  $\text{Cl}^-$  (Shi et al., 2013). Além disso, fortalece as membranas das células dos vegetais, ao ser depositado em volta das paredes celulares, possibilitando alteração em sua permeabilidade ao estresse por salinidade (Zhang et al., 2017).

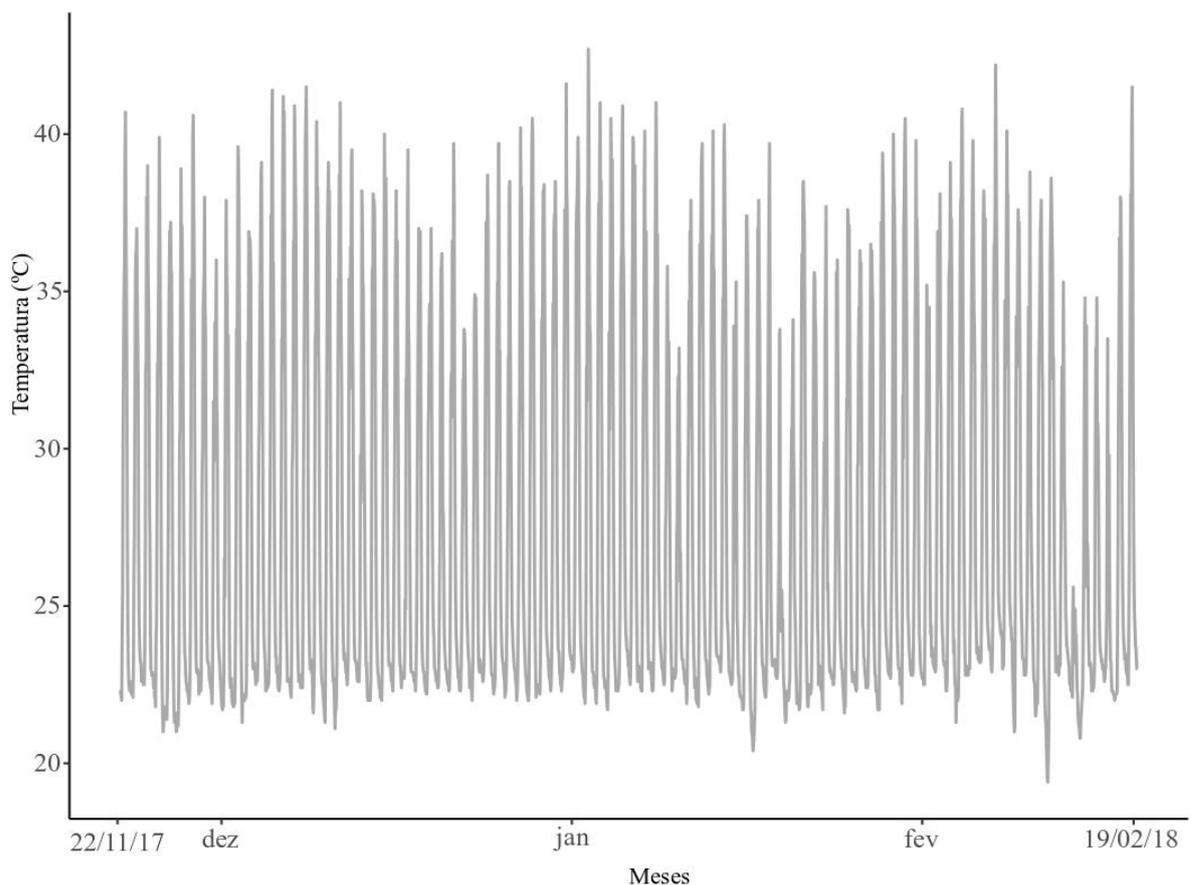
A aplicação de silício no solo no período de formação de mudas pode aumentar a resistência das mudas ao estresse salino, com efeitos positivos no seu crescimento, visto que, para a cultura do maracujá o período de crescimento inicial, é a fase do seu ciclo, em que planta é mais sensível às altas concentrações de sais (Cavalcante et al., 2009; Dias e Blanco, 2010).

Objetivou-se neste experimento avaliar o efeito de doses de silício em mitigar as consequências da salinidade da água de irrigação na formação de mudas de maracujazeiro amarelo.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Caracterização do Local da Pesquisa

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com cobertura plástica transparente de 150 micras e tela com malha de 50 mm nas laterais, no Viveiro de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, estado da Paraíba, Brasil, localizado nas coordenadas geográficas 6° 58' 05" S, 35° 42' 59 "W, a 463 m de altitude. Os dados das temperaturas máxima e mínima durante a condução do experimento no interior do ambiente protegido são apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Variação diária de temperatura durante o período experimental.

### 2.2 Tratamentos e Delineamento Experimental

Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box (Montgomery, 2013), mediante a combinação de doses do silício (0,0; 29; 100; 171 e 200 mg

$\text{dm}^{-3}$ ) e condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5  $\text{dS m}^{-1}$ ). As avaliações ocorreram aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência (DAE) tabela 1.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por 16 mudas, sendo avaliadas três mudas retiradas aleatoriamente em cada período.

**Tabela 1.** Esquema dos tratamentos utilizados no experimento em matriz Composto Central de Box (Montgomery, 2013)

Tratamentos	Níveis		Doses		Idades (DAS)
	Si	Ceai	Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	CEai ( $\text{dS m}^{-1}$ )	
1	-1	-1	29	0,9	15
2	-1	1	29	3,9	15
3	1	-1	171	0,9	15
4	1	1	171	3,9	15
5	-1,41(- $\alpha$ )	0	0,0	2,4	15
6	1,41( $\alpha$ )	0	200	2,4	15
7	0	-1,41(- $\alpha$ )	1,00	0,3	15
8	0	1,41( $\alpha$ )	100	4,5	15
9	0	0	100	2,4	15
10	-	-	0,0	0,3	15
11-20					30
21-30					45
31-40					60
41-50					75

<sup>1</sup> Número de tratamentos =  $2^k + 2k + 1$  ( $k=2$ , n° de fatores)  $\therefore 2^2 + 2 \times 2 + 1 = 9$ ;  $\alpha = \sqrt{k}$ .

### 2.3 Preparo do Substrato

O substrato constou da mistura de material de um Neossolo Regolítico e esterco curtido de gado bovino na proporção de 2:1, respectivamente. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade do perfil, no sítio Macaquinhos, Remígio, Paraíba, Brasil. Após a

coleta, o material foi destorroado e posto para secar ao ar livre e à sombra. Cada componente do substrato foi passado em peneira com malha de 4 mm e em seguida, homogeneizado. Foi retirada uma amostra para caracterização de atributos químicos, fertilidade e salinidade, e físicos empregando metodologias compiladas por Teixeira et al. (2017), sendo os resultados expressos na Tabela 2.

**Tabela 2** Atributos químicos (fertilidade e salinidade) e físicos do substrato utilizado para a produção das mudas de maracujazeiro-amarelo

Atributos químicos				Atributos físicos <sup>3</sup>	
Fertilidade <sup>1</sup>		Salinidade <sup>2</sup>			
pH (1:2,5)	7,10	pH	7,7	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	790
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,71	CEes (dS m <sup>-1</sup> )	5,17	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	135
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,67	Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	10,00	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	75
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,92	Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	10,08	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	1,32
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	34,17	Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	2,53
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37	Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	6,97	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,48
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,00	Umidade atual (%)	5
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,67	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	22,50	0,033 MPa (g kg <sup>-1</sup> )	97,0
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,67	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,42	1,5 MPa (g kg <sup>-1</sup> )	42,0
PST (%)	4,27	Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	39,17	Água disponível (%)	5,5
V (%)	100,00	RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	2,20		
P (mg dm <sup>-3</sup> )	80,47			Classe textural	Areia franca
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	24,22	Classificação	Salino		

<sup>1</sup>CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS = razão de adsorção de sódio,  $RAS = Na^+ \{ [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2} \}^{-1}$ ;

<sup>2</sup>SB = soma de bases trocáveis,  $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ ; CTC = capacidade de troca de cátions,  $CTC = SB + (H^+ + Al^{3+})$ ; V = saturação por bases,  $V = (SB/CTC) * 100$ ; M.O. = matéria orgânica;

<sup>3</sup>PST – percentagem de sódio trocável,  $PST = (Na^+/CTC) * 100$ ;

<sup>4</sup>Ds = densidade do solo; Dp = densidade da partícula.

A adubação foi feita com base nos teores dos nutrientes determinados na caracterização do substrato (Tabela 2), elevando o teor de fósforo para 300 mg kg<sup>-1</sup> e aplicando 100 mg kg<sup>-1</sup> de nitrogênio (Novaes et al., 1991). Não foi adicionado potássio devido ao elevado teor do nutriente no substrato.

## 2.4 Condução do Experimento e Preparo da água de irrigação

Nos sacos de polietileno preto com capacidade de 1,5 dm<sup>3</sup> preenchidos com 1 kg de substrato colocaram-se três sementes de maracujazeiro BRS GA1 na profundidade de 1 cm. Após emergência manteve-se uma planta por recipiente. O silício foi aplicado na forma líquida via solo, utilizando a fonte silicato de potássio (EKOSIL), composição química K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> e teor total de silício de 25%, diluído em 50 mL de água para cada saco do experimento. O preparo da água de irrigação foi realizado pela diluição de água fortemente salina (CEai = 29,3 dS m<sup>-1</sup>) de um poço tubular localizado no assentamento Oziel Pereira, Remígio-PB, com água de abastecimento não salina (0,3 dS m<sup>-1</sup>). A avaliação da água de abastecimento e da água salina utilizada no experimento seguiram metodologias de Richards (1954) (Tabela 3). As mudas foram irrigadas diariamente conforme cada condutividade elétrica.

**Tabela 3** Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água do poço

	Água de Abastecimento	Água salina
pH	6,7	7,7
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,32	29,28
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,71	26,81
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,88	7,08
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,17	1,1
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,32	116,59
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0	0,25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,75	2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,05	2,2
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	4,25	380,25
RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	2,6	28,83
PST (%)	2,52	28,83
Classificação	C1S1	C4S4

C1= Risco baixo de salinizar o solo; C4= Risco alto de salinizar o solo; S1= Baixo risco de sodicidade; S4 = Risco muito alto de sodicidade.

## **2.5 Variáveis analisadas e Análise estatística**

Aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência (DAE) foram mensuradas: diâmetro do caule ao nível do solo, com paquímetro digital; altura das mudas - região do colo até o ápice, com régua milimetrada; número de folhas - contagem; área foliar - através de imagens dos limbos foliares obtidas em scanner e processadas no software Sigma Scan; massa da matéria seca das raízes, parte aérea e total, após serem secas em estufa a 65° C.

Os dados foram submetidos a análise de variância e regressão pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). Os pontos de máxima das equações foram calculados utilizando algoritmo genético, disponível no pacote GA (Scrucca, 2013). A análise estatística foi realizada no software R versão 3.5.3.

## **3. Resultados e Discussão**

Para as variáveis altura do caule, número de folhas, área foliar e massa seca (raiz, parte aérea e total), foi verificado efeito significativo entre a condutividade elétrica da água de irrigação, silício e os períodos de avaliação. Esses resultados indicam que a adubação com silicato de potássio influenciou nas respostas do maracujazeiro amarelo irrigado com água salina, na fase de produção de mudas. Entretanto, o diâmetro do caule, não apresentou este mesmo comportamento (Tabela 4).

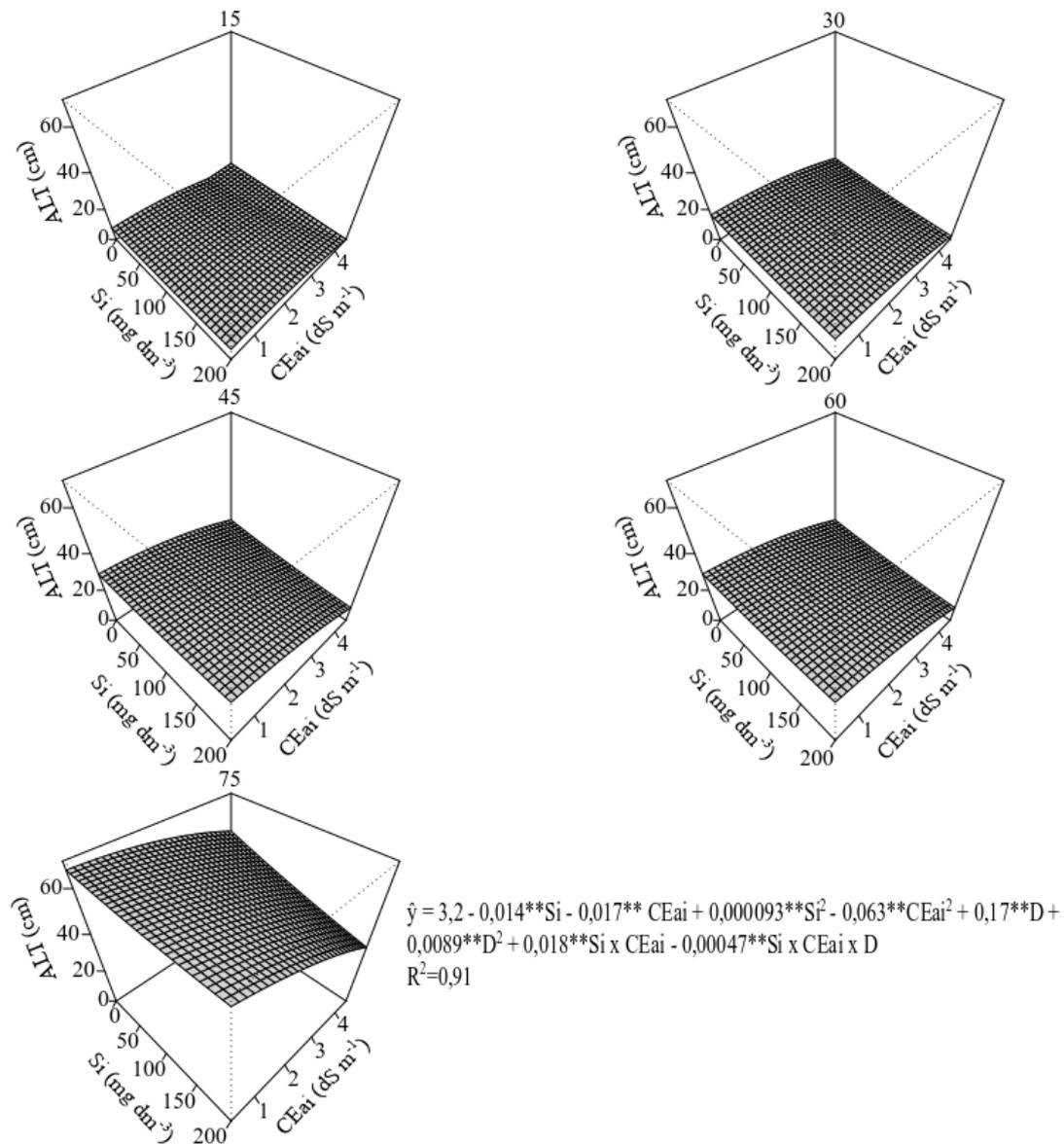
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: altura da muda (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa da matéria seca das raízes (MMSR), da parte aérea (MMSPA) e total (MMST) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação, Areia-PB

Fonte de variação	gl	F calculado						
		ALT	DC	NF	AF	MMSPA	MMSR	MMST
<b>Blocos</b>	3	9,57	13,05	10,56	8,071	4,80	12,45	13,52
<b>Trat (T)</b>	(9)	78,00**	24,38**	24,11**	83,49**	81,93**	27,98**	138,34**
<b>Idade (I)</b>	4	1488,70**	697,86**	616,58**	1217,36**	1045,41**	246,67**	1621,62**
<b>T x I</b>	36	12,27**	4,58**	1,16 <sup>ns</sup>	6,26**	5,65**	4,74**	10,55**
<b>SiL</b>	1	64,62**	13,15**	26,59**	30,68**	53,64**	26,95**	102,96**
<b>SiQ</b>	1	34,26**	9,69**	19,46**	41,95**	18,61**	16,73**	42,74**
<b>CEL</b>	1	547,23**	180,92**	179,88**	588,74**	667,80**	218,06**	1.121,78**
<b>CEQ</b>	1	24,28**	20,95**	9,16**	93,29**	14,35**	8,28**	30,34**
<b>SiL x CEL</b>	1	497,20**	1.836,80**	1.118,96**	796,36**	501,26**	135,37**	802,75**
<b>DL</b>	1	5.712,48**	2778,87**	2.419,36**	4.860,59**	4.100,22**	955,24**	6.351,61**
<b>DQ</b>	1	186,07**	0,65 <sup>ns</sup>	29,73**	0,0001 <sup>ns</sup>	7,99**	1,48 <sup>ns</sup>	97,90**
<b>DL x SiL</b>	1	0,144 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	4,04*	83,69**	1,39 <sup>ns</sup>	14,18**	11,86**
<b>DL x CEL</b>	1	0,30 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	13,31 <sup>ns</sup>	3,67 <sup>ns</sup>	6,76*	13,35**
<b>DL x CEL x SiL</b>	1	22,79**	1,81 <sup>ns</sup>	9,72**	5,91*	29,56**	5,71*	42,25**
<b>Resíduo (quadrado médio)</b>	27	12	0,04	0,87	1724	0,07	0,03	0,081
<b>CV (%)</b>		11,2	5,8	7,9	9,5	12	24	9,6

<sup>ns</sup> e \*\* e \*: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Aos 15 DAE, o maior valor de altura (9,2 cm) da muda de maracujazeiro foi obtido com adição de 199,4 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob salinidade de 0,7 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 24,5% na altura da muda comparado com a ausência do silício. Aos 30 e 45 DAE os valores máximos em altura (17,2 e 29,6 cm) da muda foram registrados com as doses de silício 198,9 e 199,8 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente na condutividade de 0,3 dS m<sup>-1</sup>. Todavia, aos 60 e 75 DAE, os valores máximos de altura da muda (46,0 e 66,8 cm) foram obtidos nas doses de silício 0,2 e 0,7 mg dm<sup>-3</sup> com a condutividade elétrica da água de irrigação (0,3 dS m<sup>-1</sup>). Desta forma o silício teve efeito sobre a salinidade até os 75 DAE, promovendo menores reduções na altura de mudas quando cultivadas nas condutividades de 0,3 a 0,7 dS m<sup>-1</sup> (Figura 2).

Os resultados deste experimento mostram que a inibição do crescimento induzida pela salinidade em mudas de maracujazeiro foi revertida pela suplementação de silício até os 75 DAE, pois tanto na salinidade de 0,3 dS m<sup>-1</sup> como na de 0,7 dS m<sup>-1</sup> as mudas não tiveram seu crescimento em altura reduzido (Figura 2). Isso se deve pela melhoria da tolerância a salinidade, devido os benefícios do silício em aliviar o estresse osmótico causado pela salinidade (Yin et al., 2013). Estes resultados estão de acordo com pesquisas anteriores, que enfatizam os benefícios do silício em melhorar o crescimento de várias culturas sob condições de estresse salino (Shi et al., 2013; Zhu e Gong, 2014). Efeitos positivos do silício em mitigar o estresse salino foram reportados recentemente em plantas de trigo, em que o silício atenuou os impactos negativos do estresse salino (Ibrahim et al., 2016).

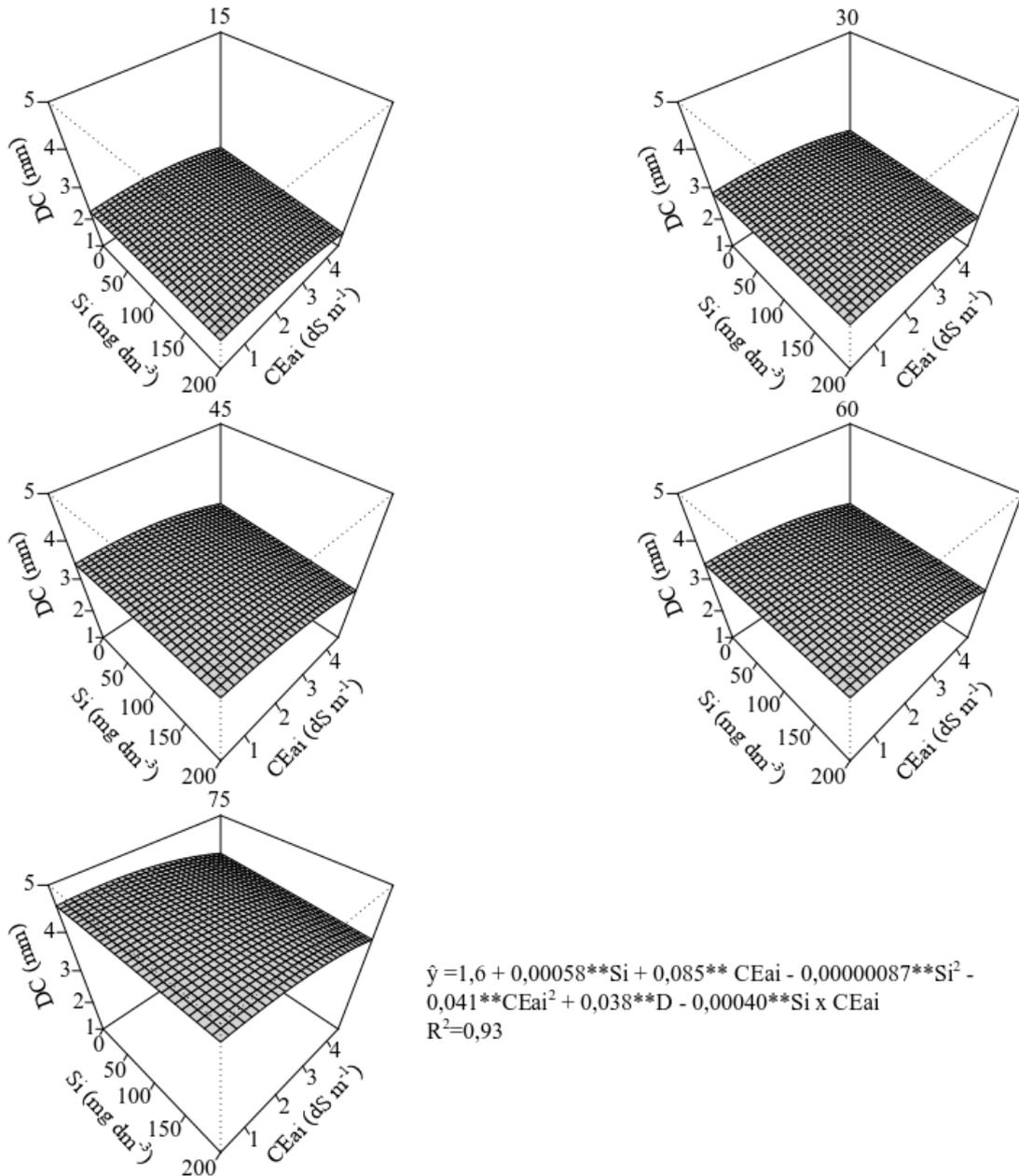


\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 2.** Altura (ALT) de mudas de maracujazeiro amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

No diâmetro do caule a combinação entre a dose de silício 199,0 mg dm<sup>-3</sup> e a condutividade elétrica da água de irrigação 0,3 dS m<sup>-1</sup> resultou aos 15; 30; 45; 60 e 75 DAE, em valores máximos de 2,3; 2,8; 3,4; 4,0 e 4,6 mm para o diâmetro do caule de mudas do maracujazeiro amarelo. Com maior efeito do silício para os 15 DAE, o que promoveu aumento de 2,4% no diâmetro do caule das mudas de maracujazeiro, comparado com a

ausência do silício. Para os demais períodos de avaliação a salinidade não restringiu o diâmetro das mudas de maracujazeiro-amarelo, entretanto o efeito do silício foi menor (Figura 3). O resultado em aumento do diâmetro do caule nas mudas de maracujazeiro, sob estresse salino com adição de silício mostra que o silício adicionado pode aliviar significativamente a inibição do crescimento das mudas. Foi observado neste experimento que na dose  $199,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício ocorreu aumento do diâmetro do caule das mudas de maracujazeiro amarelo para todos os períodos, o que mostra efeito positivo do silício no decorrer do tempo. Resultados para o diâmetro do caule em mudas de maracujazeiro foram observados por Costa et al. (2016), que observaram aumento no diâmetro do caule com aplicação de silício, sendo o maior diâmetro 2,33 mm, na concentração de 0,21 g de silício por vaso.

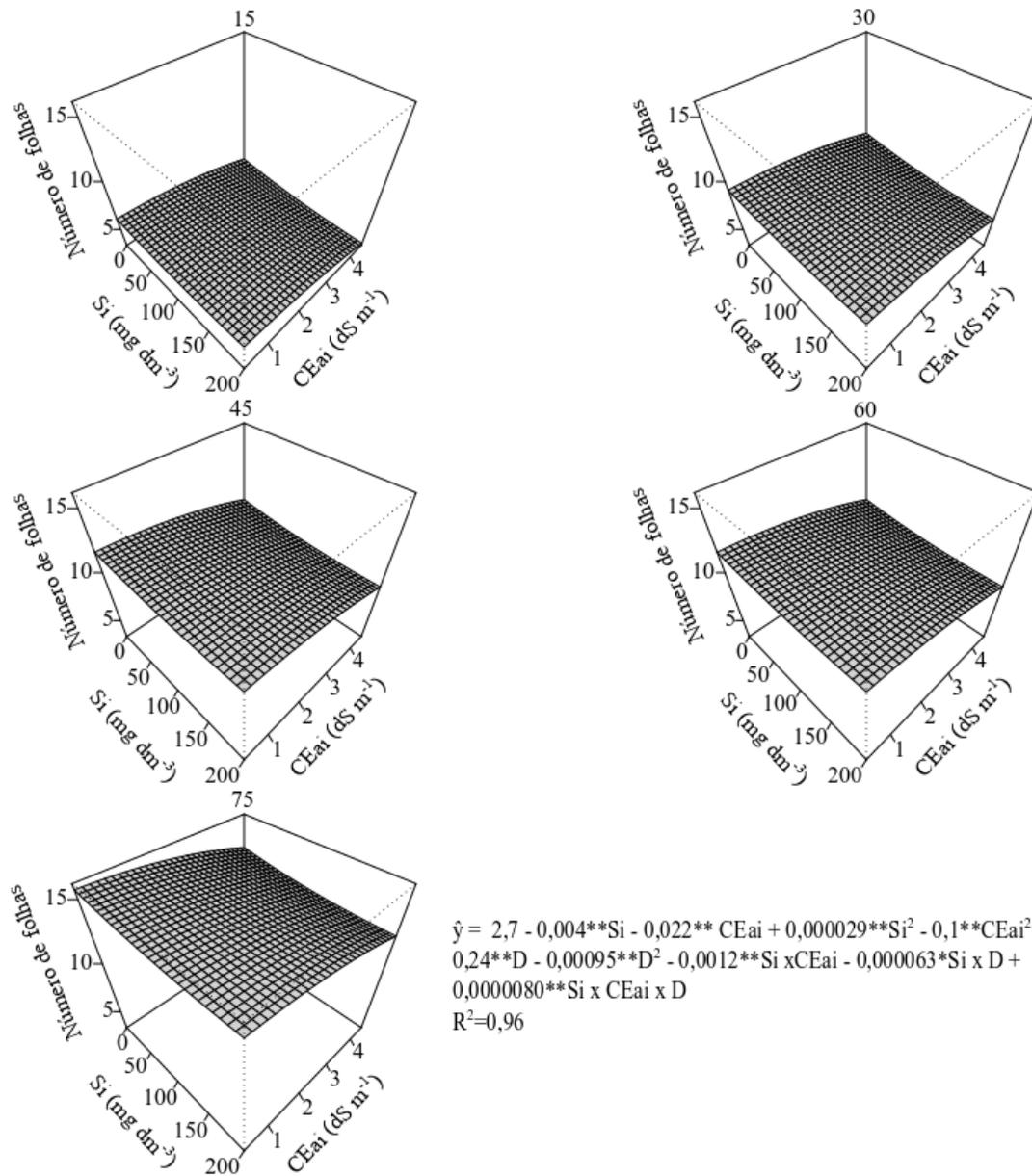


\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 3.** Diâmetro (DC) do caule de mudas de maracujazeiro-amarelo, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

Houve efeito quadrático em função das doses de silício para o número de folhas sob estresse salino aos 15 DAE, em que a dose de silício  $199,5 \text{ mg dm}^{-3}$  e a condutividade elétrica da água de irrigação  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionou valor máximo de 6,0 folhas, correspondendo a um aumento de 21,07% no número de folhas comparado com a ausência do silício. Porém dos

30 aos 75 DAE, o silício pouco teve efeito no número de folhas com as doses 0,0; 0,4; 0,2 e 0,3 mg dm<sup>-3</sup>, apontando valores máximos de 9,0; 11,0; 14,0 e 15,0 folhas, respectivamente, sob água de 0,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 4).



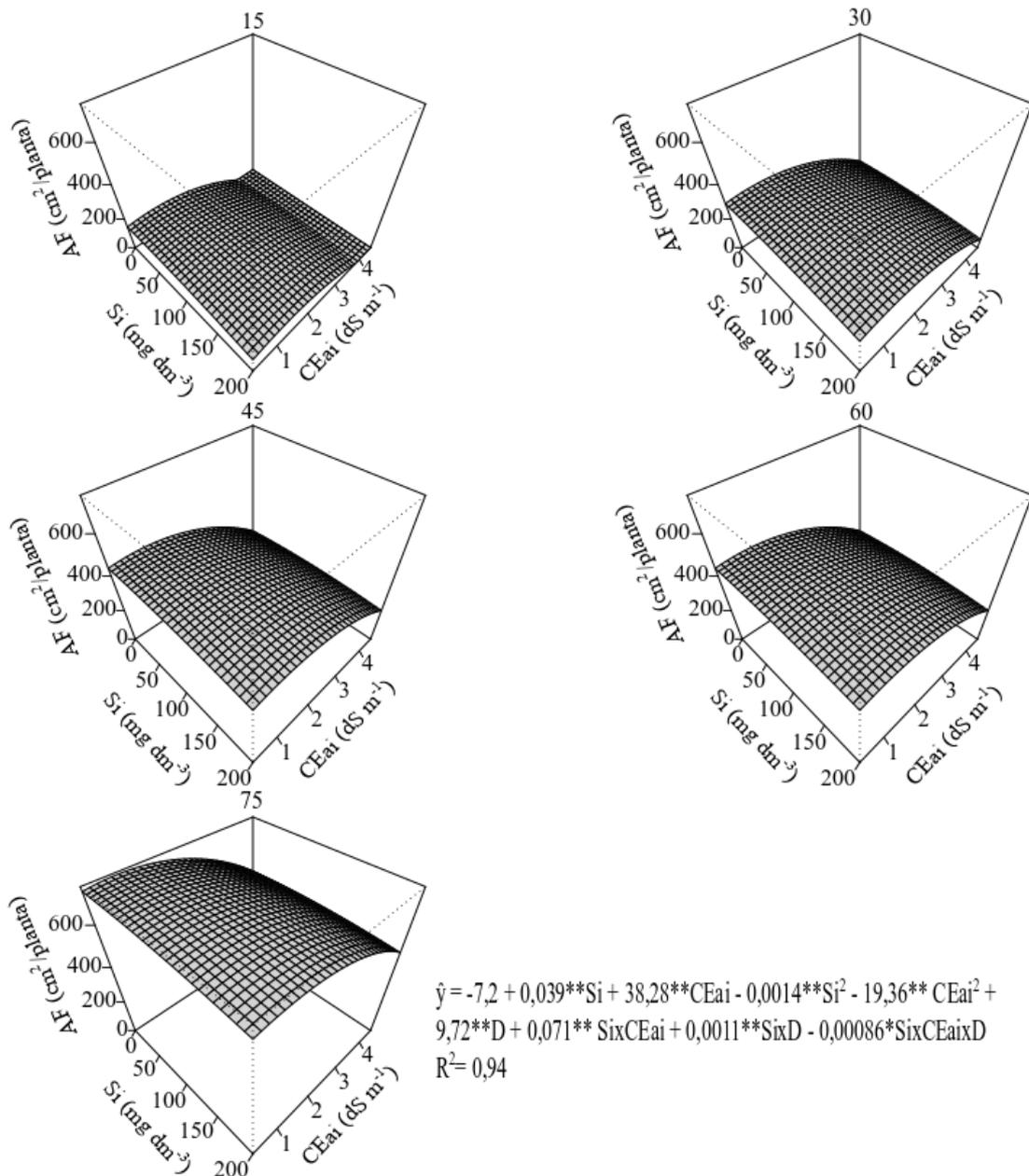
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Figura 4.** Número de folhas em mudas de maracujazeiro amarelo, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

Esse efeito positivo do silício aos 15 DAE, sob salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , com acréscimo de 21,07% no número de folhas comparado com a ausência do silício, provavelmente se deu pelo efeito que o silício proporciona ao atenuar o estresse osmótico causado pela salinidade (Yin et al., 2013). Já para os demais períodos de avaliação o baixo efeito do silício pode ter ocorrido devido a menor absorção desse elemento pelas mudas, esta baixa absorção pode estar relacionada a espécie em estudo ou a alta temperatura no interior da casa de vegetação; visto que, no seu interior da casa de vegetação ocorreu grandes variações de temperatura que pode culminar no fechamento estomático foliar diminuindo a transpiração pelas mudas; pois com menor transpiração ocorre redução na atividade metabólica e na energia disponível para absorção de nutrientes (Taiz e Zeiger, 2013). Portanto, como a absorção de silício é ativa e requer mais energia (Ma e Yamaji, 2015).

Para a área foliar aos 15; 30; 45; 60 e 75 DAE, as dosagens de silício 40,3; 41,5; 42,9; 44,3 e 45,9  $\text{mg dm}^{-3}$ , sob água de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionaram valores máximos de 159,8; 305,9; 452,1; 598,2 e 744,3  $\text{cm}^2/\text{planta}$  (Figura 5). O silício na dosagem de  $40,3 \text{ mg dm}^{-3}$  com a água de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  proporcionou incremento de 1,5 % na área foliar em comparação a ausência de silício. Para os demais períodos sob mesma salinidade o efeito do silício foi menor, porém a água de irrigação de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  não restringiu o número de folhas das mudas, apenas reduziu a resposta da área foliar em 3,4 e 2,2% para os 30 e 75 DAE, respectivamente, ao incremento das doses de silício.

Uma maior área foliar observada em plantas sob estresse salino tratadas com silício indicam que o silício pode estar envolvido no metabolismo da parede celular, melhorando a possibilidade da parede celular de se expandir e, conseqüentemente, aumentar o alargamento celular (Romero-Aranda et al., 2006). Pesquisas recentes apontaram que o silício, exerceu aumento percentual 23,8% na área foliar de mudas de pimenta cultivar Demre, sob a salinidade de 75 Mm, provavelmente o silício, impediu que a salinidade, exercesse efeito sob as células vegetais, diminuindo a disponibilidade de água para o crescimento das mudas (Altuntas et al., 2018). Esses resultados do silício sobre a salinidade corroboram com os observados neste experimento. Pois o silício promoveu redução no potencial osmótico; com isso as mudas absorveram mais água o que promoveu aumento da pressão do turgor em folhas e maior crescimento.



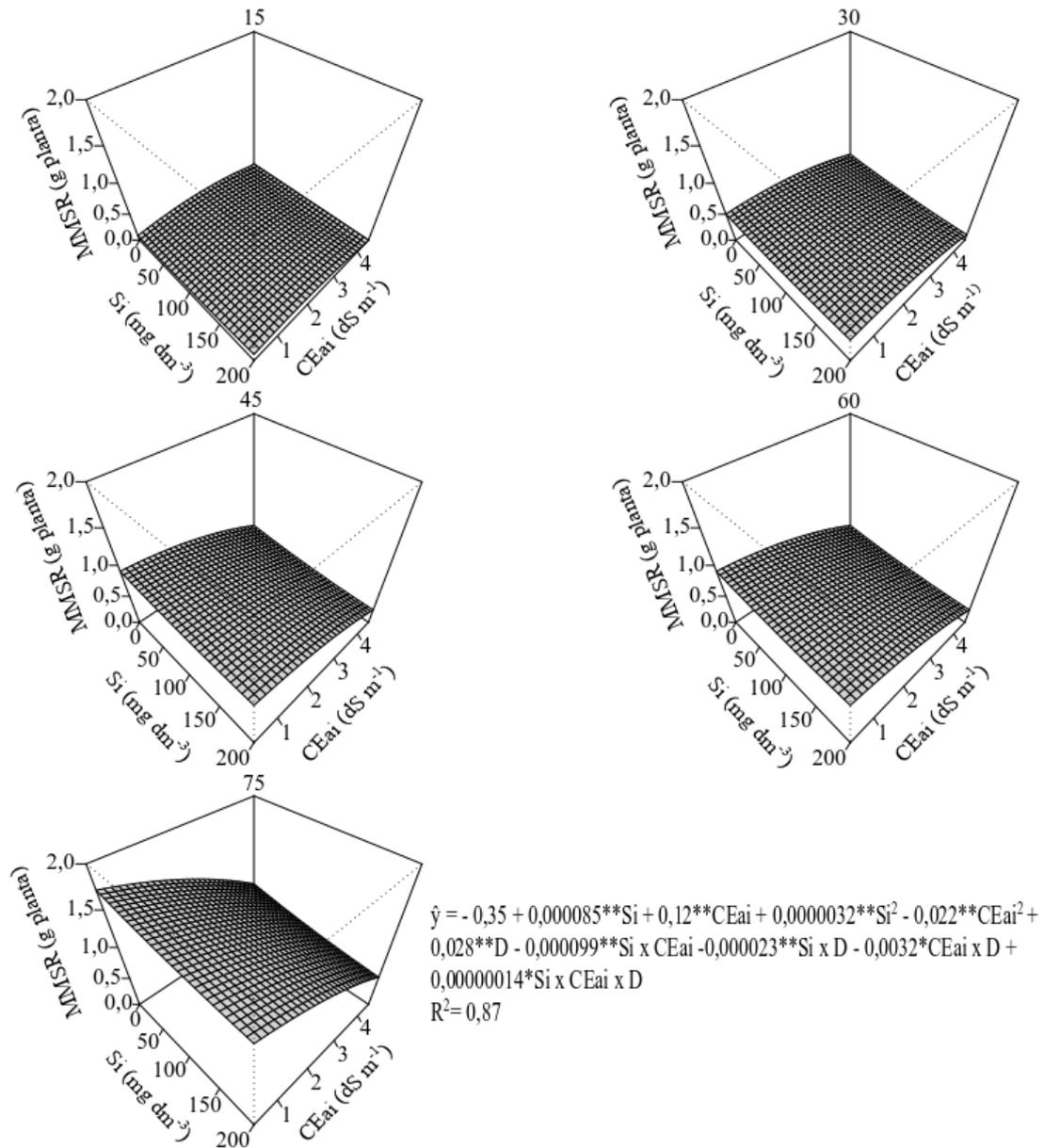
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Figura 5.** Área foliar (AF) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função de doses de silício, (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

Para massa da matéria seca da raiz aos 15 DAE o valor máximo foi 0,1 g planta na dose  $199,9 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício com a água de  $1,4 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo a um incremento de 27% na massa da matéria seca da raiz comparado com a ausência do silício. Já dos 30 aos 75 DAE, o silício teve pouco efeito na massa da matéria seca da raiz em condições de salinidade

variando de 0,7 à 0,3 dS m<sup>-1</sup>. Porém aos 15 DAE a salinidade da água de 1,4 dS m<sup>-1</sup> reduziu a resposta da matéria seca da raiz em 9,5%, comparado com a menor salinidade 0,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 6).

O silício aplicado na dose de 199,9 mg dm<sup>-3</sup> aos 15 DAE proporcionou um efeito positivo na massa da matéria seca da raiz, atenuando os efeitos adversos da salinidade em mudas de maracujazeiro amarelo, visto que é nesta fase, em que o maracujazeiro é mais sensível ao excesso de sais (Dias e Blanco, 2010). A deposição de silício nas raízes, resulta na diminuição da translocação de sais das raízes para a parte aérea, combatendo as tensões abióticas, devido ao aumento da taxa de seletividade K / Na em altos níveis, permitindo para a planta melhor crescimento e maior acúmulo de matéria seca (Kafi e Rahimi, 2011; Meena et al., 2014). Reduções na biomassa seca das raízes também foram verificados por Navarro et al. (2000) em tomate, e por Cavalcante et al. (2009) em maracujazeiro – amarelo.

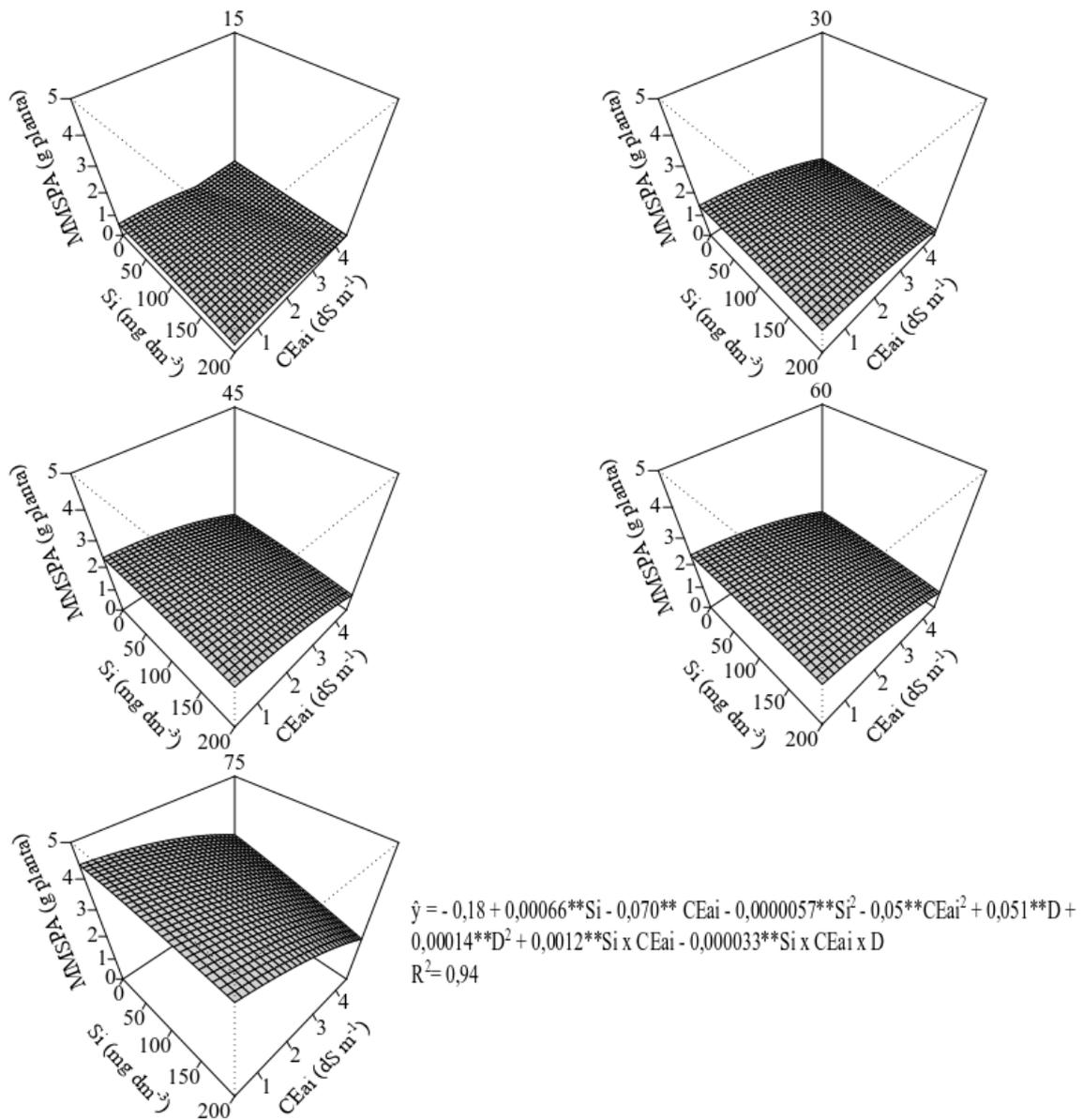


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Figura 6.** Massa da matéria seca da raiz (MMSR) de mudas de maracujazeiro amarelo, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

Na massa da matéria seca da parte aérea aos 15; 30; 45; 60 e 75 DAE o valor máximo foi 0,6; 1,4; 2,3; 3,3 e 4,42 g por planta nas doses 78,0; 65,2; 51,8; 39,7 e 26,10 mg dm<sup>-3</sup> de Si, sob a salinidade de 0,3 dS m<sup>-1</sup>. O efeito do silício foi benéfico dos 15 aos 30 DAE com aumento de 5,4 e 2,8% respectivamente, na massa seca da parte aérea, em comparação com a

ausência de silício, sob estresse de salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Entretanto para os 60 e 75 DAE o silício teve seu efeito reduzido (Figura 7).



\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

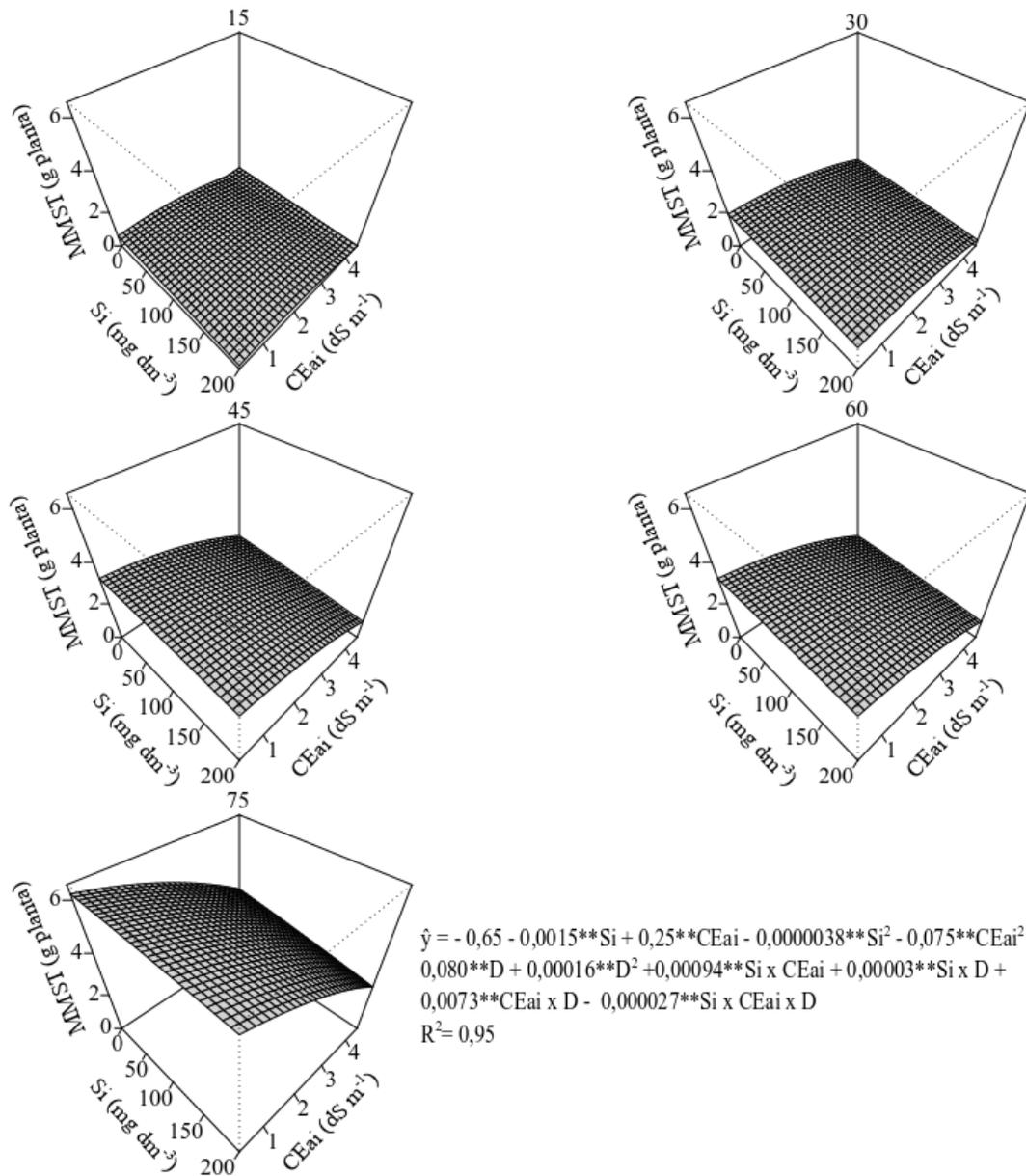
**Figura 7.** Massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de mudas de maracujazeiro amarelo, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

Pesquisas realizadas recentemente relacionam o efeito de melhoria pelo silício no crescimento da parte aérea de espécies cultivadas (Zargar et al., 2019; Cosku et al., 2019), sendo, portanto, correlacionada a maior matéria seca das plantas (Camargo et al. 2017;

Moradtalab et al. 2018). Khan et al. (2018) verificaram que a aplicação de silício aumentou a massa da matéria seca da parte aérea de dois genótipos de milho ('EV 1089' sensível a salinidade e 'Syngenta 8441' tolerante a salinidade), cultivados com e sem NaCl 50 mM. Prado e Natale (2005) em maracujazeiro - amarelo, também verificaram aumento na massa da matéria seca da parte aérea.

Para a massa da matéria seca total em mudas de maracujazeiro, o efeito mitigador do silício não se expressou para todos os períodos de avaliação. No entanto as salinidades 1,6; 1,5; 1,5; 1,6 e 1,0 dS m<sup>-1</sup>, reduziram a massa da matéria seca total em 29,8; 17,2; 13,4; 12,7 e 7,0 % respectivamente (Figura 8).

Khan et al (2018) observaram que ocorreu redução na massa seca das cultivares de milho VE 1089 em (44%) e Syngenta (38%). A redução na absorção de silício dos 15 aos 75 DAE pode ser atribuída à menor transpiração da planta ao ser submetida ao estresse salino (Ashraf e Harris, 2013). Os resultados deste experimento para redução na massa seca total das mudas de maracujazeiro, mostraram uma resposta típica das plantas que não são tolerantes a salinidade, sendo observado uma diminuição significativa na matéria seca de vários órgãos das plantas (Zhonghua et al., 2011; Feijão et al., 2013).



\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 8.** Massa da matéria seca total (MMST) de mudas de maracujazeiro amarelo, em função de doses de silício (Si), condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após emergência (DAE).

#### 4. Conclusão

As doses de silício 44,3 e 45,9 mg dm<sup>-3</sup>, na condutividade elétrica água de 1,0 dS m<sup>-1</sup> proporcionam área foliar de 44,3 e 45,9 mg dm<sup>-3</sup> aos 60 e 75 DAE.

A dose de silício 199,4 mg dm<sup>-3</sup> atenua os efeitos da salinidade da água de irrigação em mudas de maracujazeiro amarelo, permitindo o uso de água com salinidade de até 1,41 dS m<sup>-1</sup>.

A condutividade elétrica da água de irrigação 1,6; 1,5; 1,5; 1,6 e 1,0 dS m<sup>-1</sup> em todos os períodos de avaliação, reduziu a massa da matéria seca total em 29,8; 17,2; 13,4; 12,7 e 7,0 % respectivamente.

## 5. Referências

ALTUNTAS, O.; DASGAN, H. Y.; AKHOUNDNEJAD, Y. Silicon-induced Salinity Tolerance Improves Photosynthesis, Leaf Water Status, Membrane Stability, and Growth in Pepper (*Capsicum annuum* L.). **HortScience**, v. 53, n. 12, p. 1820-1826, 2018.

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

CAMARGO, M. S.; BEZERRA, B. K. L.; VITTI, A. C.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. L. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 1, p. 99-111, 2017.

CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, G. G.; GONDIM, S. C.; FIGUEIREDO, F. L.; CAVALCANTE, I. H. L.; DINIZ, A. A. Crescimento inicial do maracujazeiro amarelo manejado em dois substratos irrigados com água salina. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 504-517, 2009.

CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency?. **Frontiers in plant science**, v. 9, n. 281, p. 1-7, 2018.

COSKUN, D.; DESHMUKH, R.; SONAH, H.; MENZIES, J. G.; REYNOLDS, O.; MA, J. F.; KRONZUCKER, H. J.; BÉLANGER, R. R. The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 67-85, 2019.

COSTA, B. N. S.; DIAS, G. D. M. G.; COSTA, I. D. J. S.; ASSIS, F. A. D.; SILVEIRA, F. A. D.; PASQUAL, M. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 503-511, 2016.

DEGHANIPOODEH, S.; GHOBADI, C.; BANINASAB, B.; GHEYSAARI, M.; SHIRANIBIDABADI, S. Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. **Horticultural Plant Journal**, v. 4, n. 6, p. 226-232, 2018.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In*: Gheyi, H.R.; Dias, N. S.; Larcercda, C. F. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. Cap. 9, p. 129-141.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N. D.; MIRANDA, D.; OTONI, W. C. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 2, p. 1- 17, 2019.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B. D.; LACERDA, C. F. D.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 10-19, 2013.

GOMES J. M.; PAIVA H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**, Série didática. Editora UFV, 2012.

IBRAHIM, M. A.; MERWAD, A. M.; ELNAKA, E. A.; BURRAS, C. L.; FOLLETT, L. Application of silicon ameliorated salinity stress and improved wheat yield. **Journal of Soil Science and Environmental Management**, v. 7, n. 7, p. 81-91, 2016.

KAFI, M.; RAHIMI, Z. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 57, n. 2, p. 341-347, 2011.

KHAN, W. U. D.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M. A.; FAROOQ, M.; ABDULLAH, Y.; RAMZANI, P. M. A.; BILAL, H. M. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. Springer Science and Business Media, 2003. 514p.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p.1-8, 2017.

- MA, J. F.; YAMAJI, N. A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 7, p. 435-442, 2015.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. San Diego: USA, Elsevier®, 2012. 651p.
- MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU, S.; RAO, A. S. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 84, n. 3, p. 505-518, 2014.
- MONTGOMERY, D.C. **Design e análise de experimentos**. 7.ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 724 p.
- MORADTALAB, N.; WEINMANN, M.; WALKER, F.; HÖGLINGER, B.; LUDEWIG, U.; NEUMANN, G. Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1-17, 2018.
- NAVARRO, J. M.; MARTÍNEZ, V.; CARVAJAL, M. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. **Plant Science**, v. 157, n. 1, p. 89-96, 2000.
- NOVAES, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de., GARRIDO, W. E., ARAUJO, J. D. de., LOURENÇO, S. **Método de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: Embrapa – SEA. p.189-253. 1991.
- PARÉS, J.; ARIZALETA, M.; SANABRIA, M. E.; GARCÍA, G. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. **Acta Botánica Venezuelica**, v. 31, n. 1, p. 27-34, 2008.
- PRADO, R. D. M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n.2, p.185-190, 2005.
- RICHARDS, L. A. **Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos e y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1954. 172p.

ROMERO-ARANDA, M. R.; JURADO, O.; CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal of plant physiology**, v. 163, n. 8, p. 847-855, 2006.

SANTOS, P. A. R. D.; FREITAS, E. C. S. D.; PAIVA, H. N. D. Growth and Quality of *Leucochloron incuriale* Seedlings Subjected to Liming and Phosphorus. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. 1-9, 2019.

SCRUCCA, L. GA: A Package for Genetic Algorithms in R. **Journal of Statistical Software**, v. 53, n. 4, 1-37, 2013.

SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T. J.; GONG, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of plant physiology**, v. 170, n. 9, p. 847-853, 2013.

SOUZA, J. T.; NUNES, J. C.; CAVALCANTE, L. F.; NUNES, J. A. D. S.; PEREIRA, W. E.; FREIRE, J. L. D. O. Effects of water salinity and organomineral fertilization on leaf composition and production in *Passiflora edulis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 535-540, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

TUNA, A. L.; KAYA, C.; HIGGS, D.; MURILLO-AMADOR, B.; AYDEMIR, S.; GIRGIN, A. R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 10-16, 2008.

YIN, L.; WANG, S.; LI, J.; TANAKA, K.; OKA, M. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. **Acta physiologiae plantarum**, v. 35, n. 11, p. 3099-3107, 2013.

ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; BHAT, J. A.; NAZIR, M.; DESHMUKH, R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. **3 Biotech**, v. 9, n. 3, p.1-16, 2019.

ZHANG, W.; XIE, Z.; WANG, L.; LI, M.; LANG, D.; ZHANG, X. Silicon alleviates salt and drought stress of *Glycyrrhiza uralensis* seedling by altering antioxidant metabolism and osmotic adjustment. **Journal of plant research**, v. 130, n. 3, p. 611-624, 2017.

ZHONGHUA, T.; YANJU, L.; XIAORUI, G.; YUANGANG, Z. The combined effects of salinity and nitrogen forms on *Catharanthus roseus*: the role of internal ammonium and free amino acids during salt stress. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 1, p. 135-144, 2011.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014.

## CAPÍTULO II

### **O silício nos aspectos fisiológicos de mudas de maracujazeiro amarelo sob estresse salino**

**Resumo:** O crescimento inicial do maracujazeiro-amarelo pode ser afetado pelos danos causados do estresse por salinidade. Diante disto, é necessário apontar, técnicas que atenuem tais danos, como a adubação silicatada, no que se refere à produção de mudas. Objetivou-se neste experimento avaliar o papel do silício na fisiologia de mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, estado da Paraíba, Brasil. Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box da combinação de doses do silício (0,0; 29; 100; 171 e 200 mg dm<sup>-3</sup>) e condutividades elétrica da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5 dS m<sup>-1</sup>). Aos 60 DAE a dose de 199,6 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob salinidade de 4,4 dS m<sup>-1</sup> proporcionou aumento linear com valor máximo de 3,3 no índice de clorofila *a/b*. O valor máximo na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII (Fv/Fm) (0,77 elétrons quânticos<sup>-1</sup>) foi obtido com a suplementação de 199,7 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob salinidade de 4,4 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo a um incremento de 3,2% na Fv/Fm, para os 60 DAE. Sinalizando que o aparato fotossintético das mudas continuou intacto, ou seja, não apresentou danos por fotoinibição no centro de reação do fotossistema II, confirmando os efeitos benéficos do silício em atenuar os danos da salinidade em uma água com um nível de sais considerado alto. A dose de silício de 199,6 mg dm<sup>-3</sup> atenua a salinidade da água de irrigação de 4,4 dS m<sup>-1</sup>, permitido incremento de 5,2% na razão índice de clorofila *a/b* aos 60 DAE. A aplicação 199,0 mg dm<sup>-3</sup> de silício é eficiente na mitigação dos danos causados pela água de irrigação de 4,4 dSm<sup>-1</sup> na eficiência do uso de água (EUA), em mudas de maracujazeiro-amarelo aos 60 DAE.

**Palavras chave:** Salinidade. Doses de silício. Eficiência fotoquímica.

### **The role of silicon in the physiology of yellow passion fruit seedlings under saline stress**

**Abstract:** The initial growth of the yellow passion fruit can be affected by the damage caused by stress due to salinity. In view of this, it is necessary to point out techniques that mitigate

such damages, such as silicate fertilization, especially with regard to the production of seedlings. The objective of this experiment was to evaluate the role of silicon in the physiology of yellow passion fruit seedlings under saline stress. The experiment was conducted in a protected environment, at the Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, municipality of Areia, state of Paraíba, Brazil. The treatments were obtained based on the Central Compound Box matrix of the combination of doses of silicon (0.0; 29; 100; 171 and; 200 mg dm<sup>-3</sup>) and electrical conductivities of irrigation water (0.3; 0, 9, 2.4, 3.9 and; 4.5 dS m<sup>-1</sup>). At 60 DAE a dose of 199.6 mg dm<sup>-3</sup> of silicon under salinity of 4.4 dS m<sup>-1</sup> provided a linear increase with a maximum value of 3.3 in the chlorophyll index *a/b*. The maximum value in the maximum photochemical efficiency of the PSII photosystem (Fv / Fm) (0.77 quantum electrons<sup>-1</sup>) was obtained by supplementing 199.7 mg dm<sup>-3</sup> of silicon under salinity of 4.4 dS m<sup>-1</sup>, corresponding to an increase of 3.2% in Fv / Fm, for the 60 DAE. Signaling that the photosynthetic apparatus of the seedlings remained intact, that is, it did not show damage by photoinhibition in the reaction center of photosystem II, confirming the beneficial effects of silicon in attenuating the damage of salinity in a water with a level of salts considered high. Dose of 199.6 mg dm<sup>-3</sup> attenuates the salinity of the irrigation water of 4.4 dS m<sup>-1</sup>, a permitted increase of 5.2% in the chlorophyll index ratio *a/b* at 60 DAE. An application of 199.0 mg dm<sup>-3</sup> of silicon is efficient in mitigating the damage caused by water salinity of 4.4 dSm<sup>-1</sup> in the efficiency of water use (USA), in yellow passion fruit seedlings at 60 DAE.

.

**Keywords:** Salinity. Silicon doses. Photochemical efficiency.

## 1. Introdução

O Brasil é o maior produtor e consumidor de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), com uma produção de 593.429 t em uma área planta de de 41.584 ha em 2019, tendo como destaque de produção às regiões Nordeste, Sudeste, Sul, Norte e Centro Oeste (IBGE, 2020).

No entanto, o rendimento do maracujazeiro-amarelo vem sendo afetado pelos danos causados pela salinidade da água de irrigação. Diante disto, é necessário apontar, técnicas que

atenuem tais danos, como a adubação silicatada, principalmente no que se refere à produção de mudas (Costa et al., 2018).

O estresse causado por salinidade é um problema comum em regiões agrícolas áridas e semi-áridas (Ahmed et al., 2016); trazendo sérios prejuízos para as culturas, que são cultivadas nesses ambientes. Nas plantas a elevada salinidade tende a diminuir sua fotossíntese e a eficiência do uso da água, levando as plantas à uma seca fisiológica; outro problema está relacionado à toxicidade de íons provocado pela salinidade, reduzindo, portanto, a produtividade e os rendimentos agrícolas (Shahid et al., 2018).

Ultimamente as pesquisas com a utilização do silício vem comprovando os efeitos benéficos desde elemento sob várias condições abióticas (estresse) no crescimento das plantas (Liang et al., 2007, Zia et al., 2017). Elementos benéficos (silício), são considerados indispensáveis para determinadas espécies de plantas que crescem sob certas condições ambientais (estresse por salinidade); entretanto, mesmo que toda e qualquer planta tenha silício, sua essencialidade ainda não foi comprovada em pesquisas até o momento, pois faltam indicativos sobre o seu papel bioquímico e fisiológico na biologia dos vegetais (Bakhat et al., 2018).

Assim, plantas suplementadas com silício são capazes de elevar a condutância estomática e transpiração sob estresse salino, devido a uma redução no  $\text{Na}^+$ , em virtude da deposição do Si na raiz (Rios et al., 2017). Essa deposição concentra-se nas paredes celulares das plantas, acarretando melhora nas suas propriedades mecânicas e ajudando as plantas a resistirem as condições de estresse (Soukup et al., 2017), resultando em folhas mais eretas, vindo a melhorar a interceptação de luz, colaborando para melhores taxas fotossintéticas (Zanetti et al., 2016).

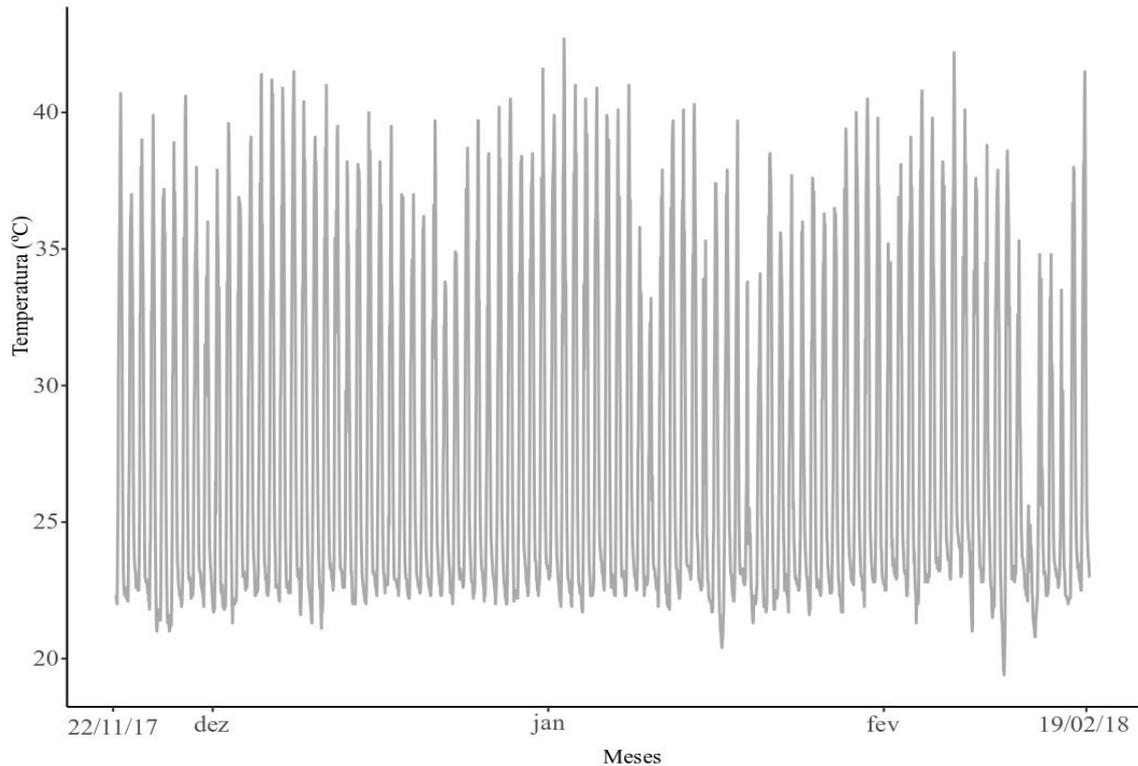
Objetivou-se neste experimento avaliar o silício na fisiologia de mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Caracterização do local da pesquisa**

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com cobertura plástica transparente de 150 micras e tela com malha de 50 mm nas laterais, no Viveiro de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, no Centro de Ciências Agrárias,

Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, estado da Paraíba, Brasil, localizado nas coordenadas geográficas 6° 58' 05" S, 35° 42' 59 "W, a 463 m de atitude. Os dados das temperaturas máxima e mínima durante a condução do experimento são apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) durante o período experimental.

## 2.2 Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box (Montgomery, 2013) da combinação entre doses de silício (0,0; 29; 100; 171 e; 200 mg dm<sup>-3</sup>) e condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5 dS m<sup>-1</sup>). As avaliações ocorreram aos 60 e 75 dias após a emergência (DAE). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi composta por 16 mudas, sendo avaliadas três mudas retiradas aleatoriamente em cada período.

### 2.3 Coleta do solo e Preparo do substrato

O solo foi coletado na camada de 0 à 20 cm de profundidade de um Neossolo Regolítico, no sítio Macaquinhos, Remígio, Paraíba, Brasil. O substrato constou da mistura do Neossolo Regolítico e esterco curtido de gado bovino na proporção de 2:1, respectivamente. Após a coleta, o material foi destorroado e posto para secar ao ar e à sombra. Cada componente do substrato foi passado em peneira com malha de 4 mm e homogeneizado. Foi retirada uma amostra para caracterização quanto a sua substância química (fertilidade e salinidade) e propriedades físicas (Teixeira et al., 2017), sendo os resultados expressos na Tabela 1.

A adubação foi feita com base nos teores dos nutrientes determinados na caracterização do substrato, elevando os teores de fósforo e nitrogênio para e 300 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Novaes et al., 1991). Não foi adicionado potássio devido ao elevado teor do nutriente no substrato.

**Tabela 1** Atributos químicos (fertilidade e salinidade) e físicos do substrato utilizado para a produção das mudas de maracujazeiro-amarelo

Atributos químicos				Atributos físicos <sup>3</sup>	
Fertilidade <sup>1</sup>		Salinidade <sup>2</sup>			
pH (1:2,5)	7,10	pH	7,7	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	790
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,71	CEes (dS m <sup>-1</sup> )	5,17	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	135
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,67	Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	10,00	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	75
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,92	Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	10,08	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	1,32
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	34,17	Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	2,53
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,37	Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	6,97	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,48
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,00	Umidade atual (%)	5
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,67	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	22,50	0,033 MPa (g kg <sup>-1</sup> )	97,0
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,67	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,42	1,5 MPa (g kg <sup>-1</sup> )	42,0
PST (%)	4,27	Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	39,17	Água disponível (%)	5,5
V (%)	100,00	RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	2,20		
P (mg dm <sup>-3</sup> )	80,47			Classe textural	Areia franca
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	24,22	Classificação	Salino		

<sup>1</sup>CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS = razão de adsorção de sódio, RAS =  $\text{Na}^+ \{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2}\}^{-1}$ ;

<sup>2</sup> SB = soma de bases trocáveis,  $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K + Na^+$ ; CTC = capacidade de troca de cátions,  $CTC = SB + (H^+ + Al^{3+})$ ; V = saturação por bases,  $V = (SB/CTC) \cdot 100$ ; M.O. = matéria orgânica;

<sup>3</sup> PST – percentagem de sódio trocável,  $PST = (Na^+/CTC) \cdot 100$ ;

<sup>4</sup> Ds = densidade do solo; Dp = densidade da partícula.

## 2.4 Condução do experimento e preparo da água de irrigação

As sementes foram obtidas da empresa multinacional do ramo agroindustrial (Flora Brasil). Em sacos de polietileno com capacidade de 1,5 dm<sup>3</sup> preenchidos com 1 kg de substrato colocou-se três sementes na profundidade de 1 cm. Após emergência foi realizado desbaste mantendo uma planta por saco. O silício foi aplicado na forma líquida via solo, utilizando a fonte silicato de potássio (EKOSIL), composição química K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> e teor total de silício de 25%, diluído em 50 mL de água para cada saco do experimento. O preparo da água de irrigação foi realizado pela diluição de água fortemente salina (CEa = 29,3 dS m<sup>-1</sup>) de um poço tubular localizado no assentamento Oziel Pereira, Remígio-PB, com água de abastecimento não salina (0,3 dS m<sup>-1</sup>). A avaliação da água de abastecimento e da água salina utilizada no experimento seguiram metodologias de Richards (1954) (Tabela 2). A irrigação foi realizada diariamente, observando-se a umidade da superfície e impedindo a drenagem.

**Tabela 2** Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água do poço

	Água de Abastecimento	Água salina
pH	6,7	7,7
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,32	29,28
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,71	26,81
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,88	7,08
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,17	1,1
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,32	116,59
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0	0,25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,75	2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,05	2,2
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	4,25	380,25
RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	2,6	28,83

PST (%)	2,52	28,83
Classificação	C1S1	C4S4

C1= Risco baixo de salinizar o solo; C4= Risco alto de salinizar o solo; S1= Baixo risco de sodicidade; S4 = Risco muito alto de sodicidade.

## 2.5 Variáveis analisadas

### 2.5.1 Índices foliares de clorofila

As leituras dos índices foliares de clorofila foram realizadas no turno da manhã (8-12h), aos 60 e 75 DAE, com um clorofilômetro da marca comercial ClorofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola. Sendo os valores expressos em ICF (Índice de Clorofila Falker). Foram mensurados os índices de clorofila *a*, índice de clorofila *b*, índice de clorofila total e razão entre os índices de clorofila *a/b*.

### 2.5.2 Fluorescência da clorofila *a*

As medições da fluorescência da clorofila *a* aos 60 e 75 DAE foram realizadas no turno da manhã (8-12h), com a utilização de um fluorômetro portátil (LI-1600, USA), em folhas intermediárias das mudas, pré-adaptadas ao escuro após período de 30 min, sendo mensuradas a fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), eficiência fotoquímica primária do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) e eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ).

### 2.5.3 Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas aos 60 e 75 (DAE) no turno da manhã (8-12h). Foram mensuradas: taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); concentração interna de carbono ( $c_i$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ); transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); eficiência no uso da água (EUA-  $A/E$ ) calculada relacionando-a à fotossíntese líquida com a transpiração [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$ ]; eficiência instantânea de carboxilação ( $E_iC - A/C_i$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ] a partir da relação entre a fotossíntese líquida e a concentração interna de carbono. Foi utilizado o

analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LCpro-SD da BioScientific®, com fluxo de ar de  $300 \text{ mL min}^{-1}$  e fonte de luz acoplada de  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Para avaliar essas variáveis, folhas totalmente expandidas foram selecionadas em três plantas por parcela.

## 2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e regressão pelo teste F ( $p \leq 0,10$ ). Os pontos de máxima das equações foram calculados utilizando algoritmo genético, disponível no pacote GA (Scrucca, 2013). A análise estatística foi realizada no software R versão 3.5.3.

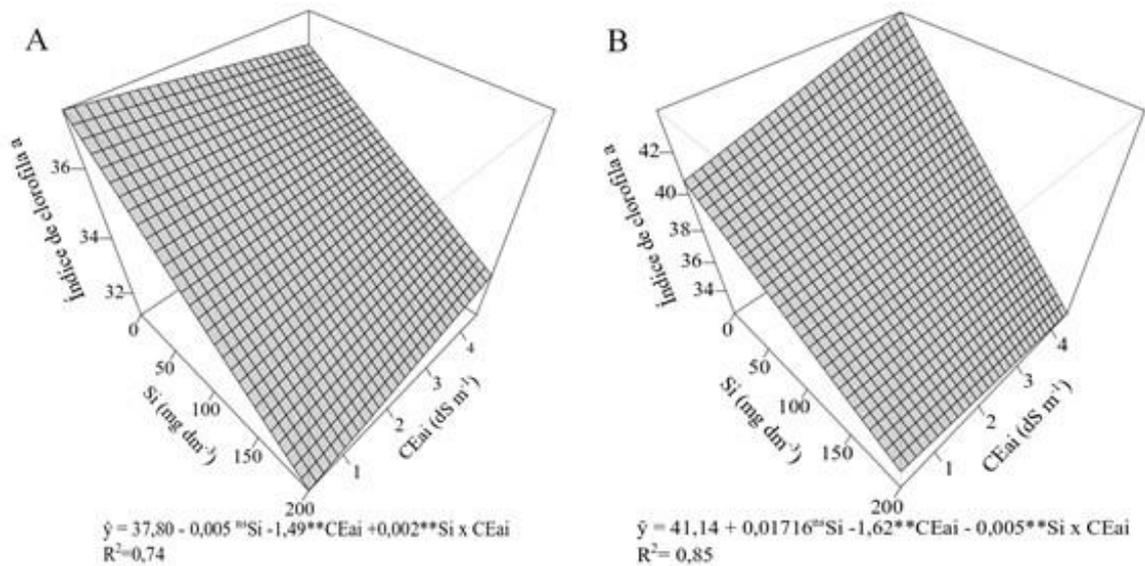
## 3. Resultados e Discussão

Houve interação significativa ( $p < 0,10$ ) entre as doses de silício e as condutividades elétricas da água de irrigação, para os índices foliares de clorofila, variáveis de fluorescência da clorofila *a*, e trocas gasosas, exceto para a condutância estomática (Tabela 3, 4, 5 e 6 em anexo).

Para o índice de clorofila *a* aos 60 DAE, a dose de  $0,63 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , proporcionou valor máximo de 37,3. Entretanto, essa dosagem de silício exerceu pouco efeito sobre o índice de clorofila *a* na salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ . (Figura 2A). Aos 75 DAE, a dose de silício de  $199,3 \text{ mg dm}^{-3}$  sob salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , resultou em valor máximo de 43,7 no índice de clorofila *a*, com aumento de 7,0 % comparado com a ausência do silício (Figura 2B). Para os dois períodos de avaliação a salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  não restringiu o índice de clorofila *a*.

Rezende et al. (2018), observaram nos resultados do seu experimento que os tratamentos suplementados com silício aumentaram o teor de clorofila *a* sob salinidade em concentração menor que (0,5%) NaCl, corroborando com os resultados deste experimento, em que o silício favoreceu o aumento de 7,0% do índice de clorofila *a*, em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a salinidade da água de irrigação de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  (figura 2B). Todavia, Santos (2004) em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.), expostas a salinidade de 100 mM, observou que o teor de clorofila foi reduzido. Desta forma, os resultados deste experimento enfatizam que água de baixa salinidade ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ) não acarreta efeitos

negativos para os índices de clorofila *a* nos períodos de formação de mudas em maracujazeiro amarelo.



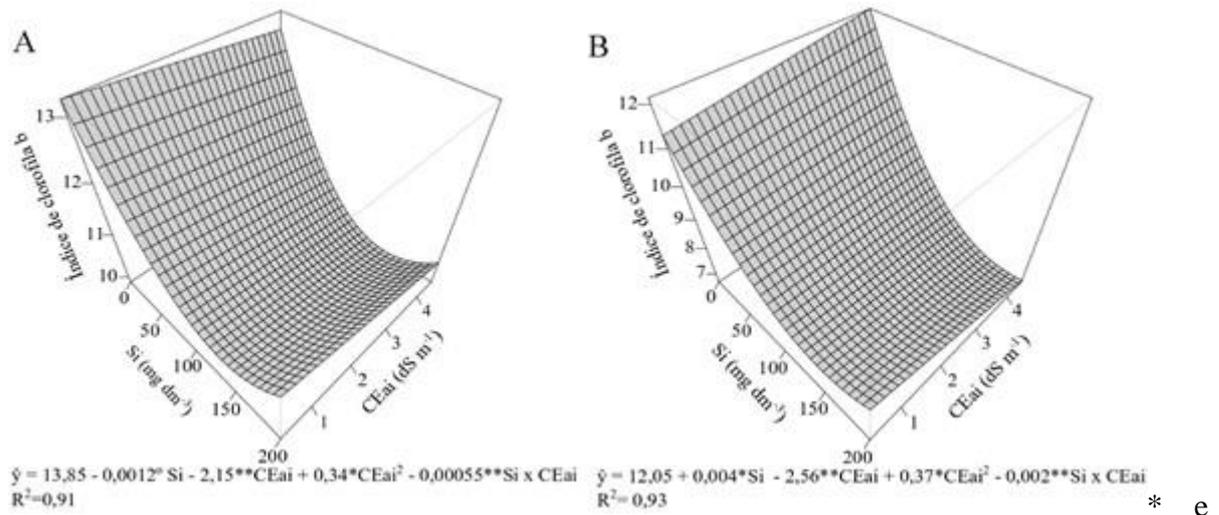
\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 2.** Índice de clorofila *a* de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

No índice de clorofila *b* aos 60 DAE o ajuste foi quadrático, em que a combinação da dose de  $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$  com a salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , resultou no valor máximo de 13,3 índice de clorofila *b*. Entretanto, o silício e a salinidade exerceram pouco efeito sobre o índice de clorofila *b* para este período (Figura 3A). Para os 75 DAE, quando as mudas receberam a dosagem de silício  $198,6 \text{ mg dm}^{-3}$  sob salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , o índice de clorofila *b* aumentou em 6,6% quando comparado a ausência de silício. No entanto, apesar da salinidade não ter restringido o índice de clorofila *b*, ela reduziu a resposta da clorofila em 0,5% ao incremento de silício (Figura 3B).

Souza Junior et al. (2019) observaram aumento na clorofila *b* com a aplicação de silício em plantas de algodoeiro; corroborando com o que foi reportado neste trabalho em mudas de maracujazeiro amarelo. Os resultados de redução na resposta do índice de clorofila *b* causadas devido ao teor salino da água de irrigação neste experimento (Figura 3B), estão em consonância com Cavalcante et al. (2011) em maracujazeiro-amarelo, e Silva et al. (2017) em goiaba cv. Paluma, após constatarem redução no teor de clorofila *b* devido à salinidade da

água de irrigação. De acordo com Ayers e Westcot (1999), o maracujazeiro-amarelo, é sensível a salinidade, portanto uma diminuição na clorofila, é compatível com o aumento da salinidade (Cavalcante et al., 2011).

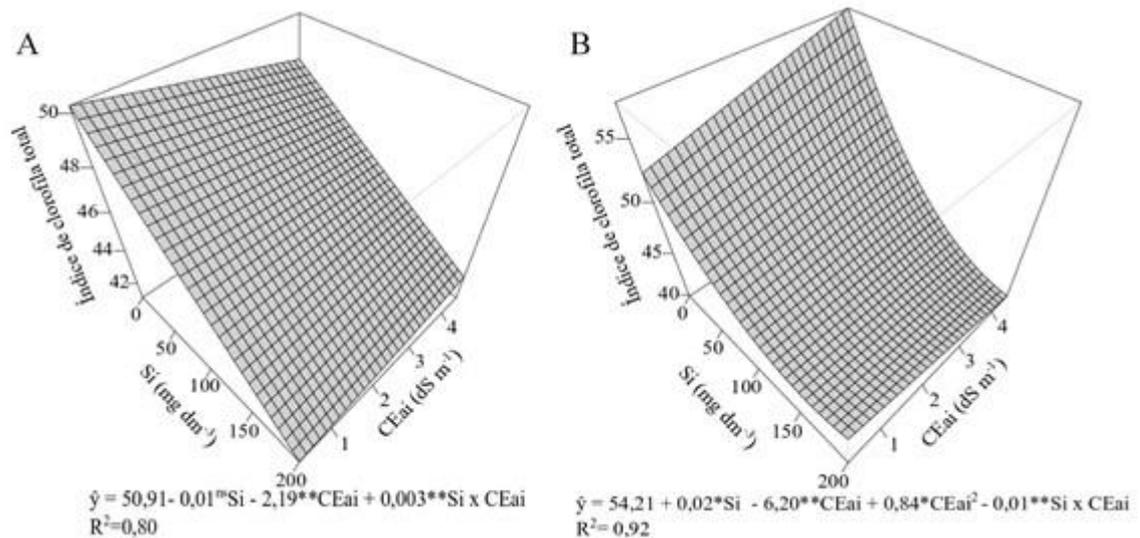


**Figura 3.** Índice de clorofila *b* de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

No índice de clorofila total aos 60 DAE, o valor máximo foi 50,2 com dose de silício ( $0,07 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e a salinidade ( $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ ), porém ocorreu pouco efeito do silício e da salinidade sobre o índice de clorofila total (Figura 4A). Aos 75 DAE a adição de  $57,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício, sob salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$  apontou valor máximo de 50,25 para o índice de clorofila total, com aumento de 2,6% quando comparado a ausência do silício; e redução de 0,1% na resposta clorofila total com a salinidade  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 4B).

Essa resposta na redução do índice de clorofila total, aos 75 DAE nas mudas de maracujazeiro amarelo sob salinidade, é devido a diminuição no conteúdo de pigmentos fotossintetizantes em plantas sensíveis a salinidade (Melo et al., 2014). Estes resultados estão em consonância com os de Wanderley et al. (2018), em que a salinidade da água de irrigação diminuiu 8,4% a clorofila total em mudas de maracujá amarelo; por consequência, isso gera limitação dos pigmentos fotossintetizantes, diminuindo o potencial fisiológico nas mudas de maracujazeiro amarelo. Entretanto, na presença do silício para este experimento, foi

observado aumento no índice de clorofila total, estes resultados corroboram com Souza Junior et al. (2019), que observaram aumento da clorofila total com a aplicação de silício em algodoeiro.



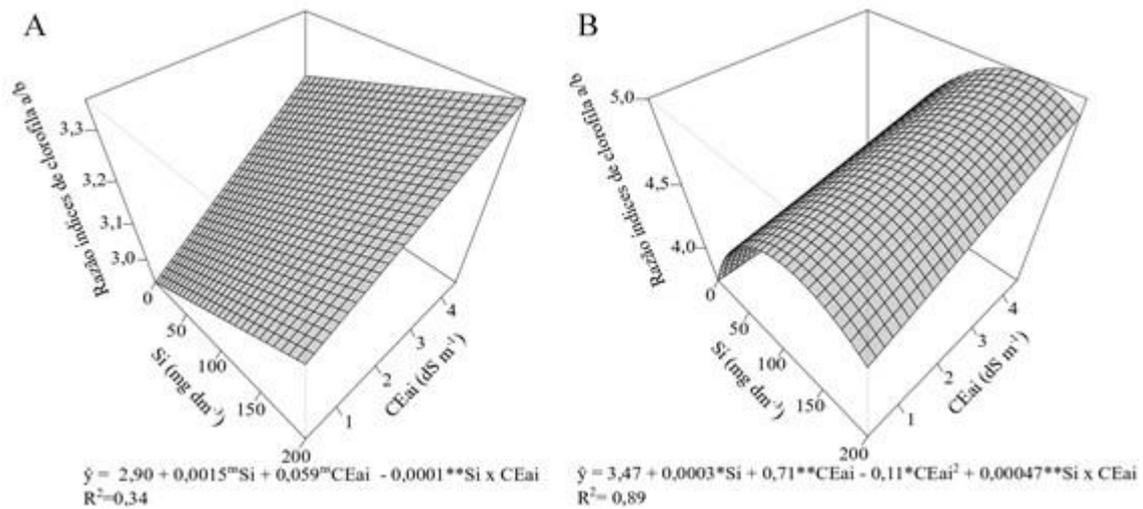
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 4.** Índice de clorofila total de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE a dose de 199,6 mg dm<sup>-3</sup> de silício, sob salinidade de 4,4 dS m<sup>-1</sup> proporcionou aumento linear com valor máximo de 3,3, resultando em incremento de 5,2% na razão índice de clorofila *a/b*, comparado com a ausência do silício (Figura 5A). Para os 75 DAE, houve aumento de 8,1% para a razão índice de clorofila *a/b*, na dosagem de 199,9 mg dm<sup>-3</sup>. Entretanto a salinidade de 3,5 dS m<sup>-1</sup> reduziu em 24,5% a razão índice de clorofila *a/b* (Figura 5B).

Para a razão índice de clorofila *a/b*, foi observado que a alta salinidade 3,5 dS m<sup>-1</sup> foi responsável por estimular o aumento da enzima clorofilase, responsável pela degradação da clorofila (Taiz e Zaiger, 2017). Visto que, em plantas sob estresse, a ativação da enzima clorofilase, reduz o conteúdo de pigmentos fotossintéticos (Neves e Spat, 2013); uma vez que, os pigmentos fotossintéticos tem a responsabilidade em capturar os fótons da luz e transmitir energia para os centros de reação (Monteiro et al., 2018). E sob condições de estresse, esses pigmentos são diretamente prejudicados devido ao aumento do estresse salino (Viana et al.,

2002). Provavelmente a alta salinidade foi um dos fatores que desencadeou à redução de 24,5% no índice de clorofila *a/b* nesta pesquisa para os 75DAE. Esses resultados estão em consonância com Sá et al. (2017), em que observaram reduções na razão entre os índices de clorofila *a/b*, para genótipos de porta-enxertos de cítricos, submetidos ao maior nível de salinidade (4,0 dS m<sup>-1</sup>).



\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

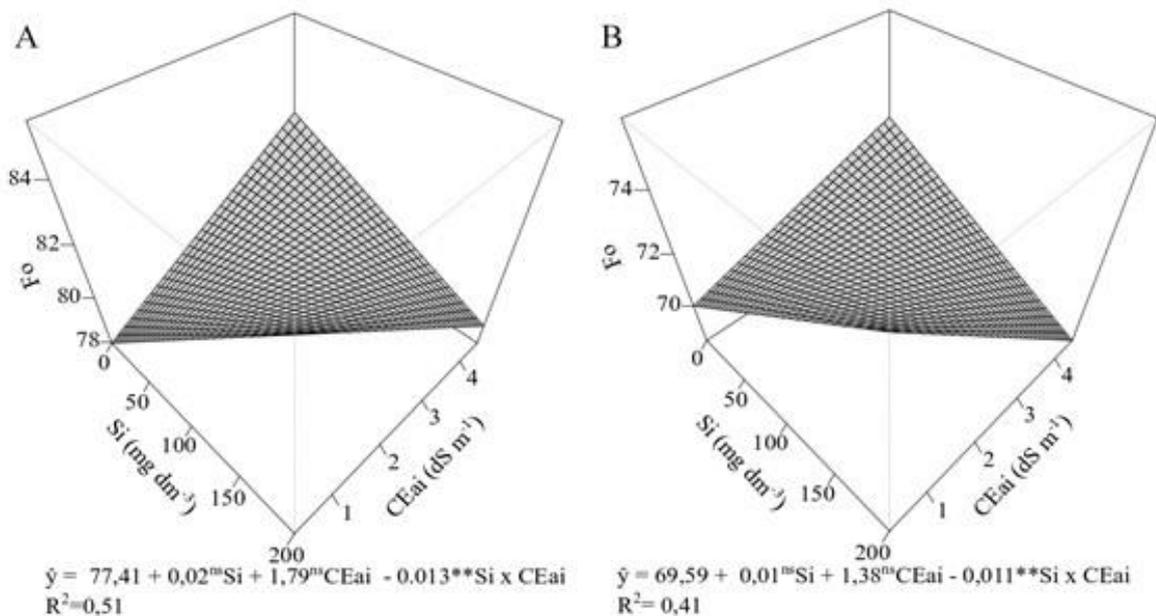
**Figura 5.** Razão índice de clorofila *a/b* de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Para os dois períodos de avaliação (60 e 75 DAE) o silício teve seu efeito reduzido na mitigação do estresse causado pela salinidade (Figura 6A e 6B). Em que para fluorescência inicial (Fo) aos 60 DAE, o valor máximo foi 85,4 elétrons quânticos<sup>-1</sup>; porém, a salinidade da água de irrigação de 4,4 dS m<sup>-1</sup> reduziu a fluorescência inicial em 8,7% (Figura 6A). Já aos 75 DAE, a dose de 0,6 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob a salinidade de 4,5 dSm<sup>-1</sup>, proporcionou valor máximo na Fo (75,7 elétrons quânticos<sup>-1</sup>), entretanto a salinidade da água de irrigação de 4,5 dSm<sup>-1</sup>, restringiu em 7,6% a fluorescência inicial em mudas de maracujazeiro amarelo (Figura 6B).

Os resultados desta pesquisa evidenciaram diminuição da fluorescência inicial em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a condições de alta salinidade (4,4 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>),

na presença de uma dosagem pequena ( $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ) de silício. Souza Junior et al. (2019), observaram que na presença do silício ocorreu redução na fluorescência inicial de mudas de algodoeiro. A diminuição na  $F_o$  nesta pesquisa, ocorreu possivelmente por causa dos efeitos da salinidade da água de irrigação; tal observação leva a crer que quando as mudas foram submetidas a salinidade, os centros de reação do fotossistema II, foram favorecidos com a diminuição da  $F_o$ .

O estresse causado pela salinidade tende a provocar danos iniciais no fotossistema II (PSII), esse fato ocorre por causa da pouca disponibilidade de água; com isso ocorre aumento do número de centros de reação inativos onde elétrons não podem ser transferidos (Ghassemi-Golezani e Lotfi, 2015); tornado o PSII, propenso à fotoinibição (Nishiyama et al., 2006).



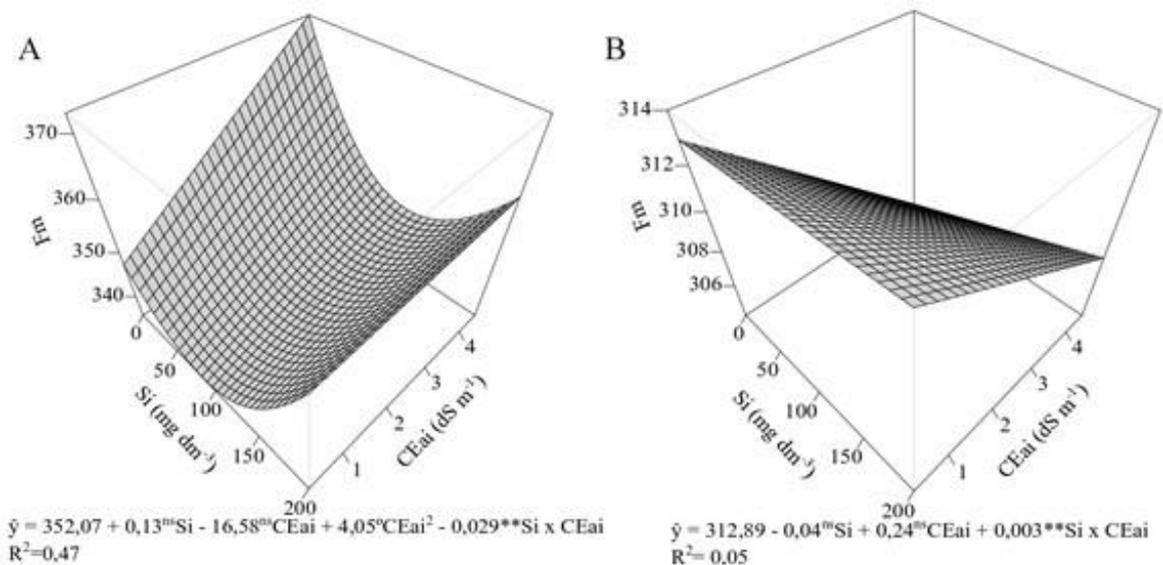
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 6.** Fluorescência inicial ( $F_o$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE)

Para a fluorescência máxima ( $F_m$ ) aos 60 DAE, a dose de  $199,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício na salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ , promoveu valor máximo de ( $372,4 \text{ elétrons quânticos}^{-1}$ ), com incremento de 6,7 % quando comparada a ausência de silício (Figura 7A). Aos 75DAE o

valor máximo na Fm foi (313,9 elétrons quânticos<sup>-1</sup>) na dose 0,2 mg dm<sup>-3</sup> de silício, sob salinidade de 4,4 dSm<sup>-1</sup>; entretanto, tanto o silício como a salinidade tiveram seus efeitos reduzidos sobre à Fm (Figura 7B).

Os valores máximos (372,4 e 313,9 elétrons quânticos<sup>-1</sup>) (Figura 7A e 7B), na Fm aos 60 e 75 DAE, respectivamente. É um indicativo de melhor atividade do FSII na membrana dos tilacóides, pois a maior Fm, reflete diretamente no fluxo de elétrons dos fotossistemas (Silva et al., 2006); visto que, a estimativa da fluorescência é utilizada para monitorar a transferência de elétrons diante de adversidades ambientais (salinidade) (Maxwell e Johnson, 2000).



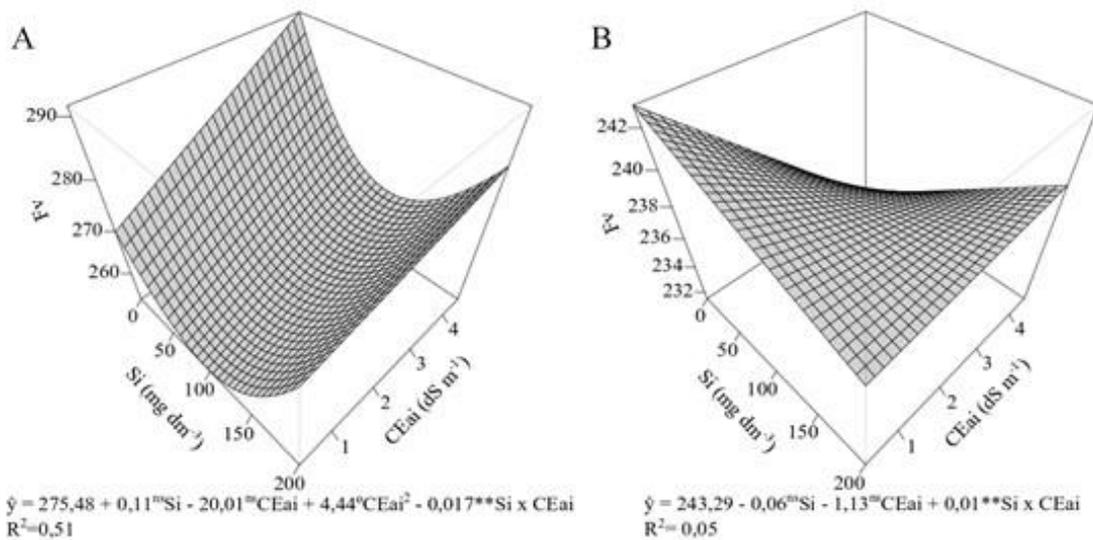
\* e \*\*e °: significativo a 5%, 1% e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 7.** Fluorescência máxima (Fm) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

A fluorescência variável (Fv), aos 60 DAE, teve valor máximo de (291,2 elétrons quânticos<sup>-1</sup>) na dose 199,4 mg dm<sup>-3</sup> de silício, sob a salinidade de 0,3 dSm<sup>-1</sup>, com aumento de 7,3%, comparado a ausência de silício (Figura 8A). Aos 75 DAE a combinação da dose de 1,1 mg dm<sup>-3</sup> de silício com a salinidade de 0,3 dSm<sup>-1</sup>, proporcionou valor máximo de (242,8

elétrons quânticos  $^{-1}$ ), entretanto, o silício e a salinidade apresentaram pouco efeito na Fv para este período (Figura 8B).

Alves et al. (2020) ao avaliarem o efeito do silício isoladamente verificaram que o mesmo foi significativo na fluorescência variável em plantas de abobrinha (*Cucurbita pepo* L.). A fluorescência variável está relacionada à energia potencial ativa no fotossistema II, sendo de forma direta influenciada pela fluorescência máxima (Sá et al., 2018). De acordo com os autores supracitados, um aumento na fluorescência pode ter relação com o maior teor de clorofila nos centros de reação.

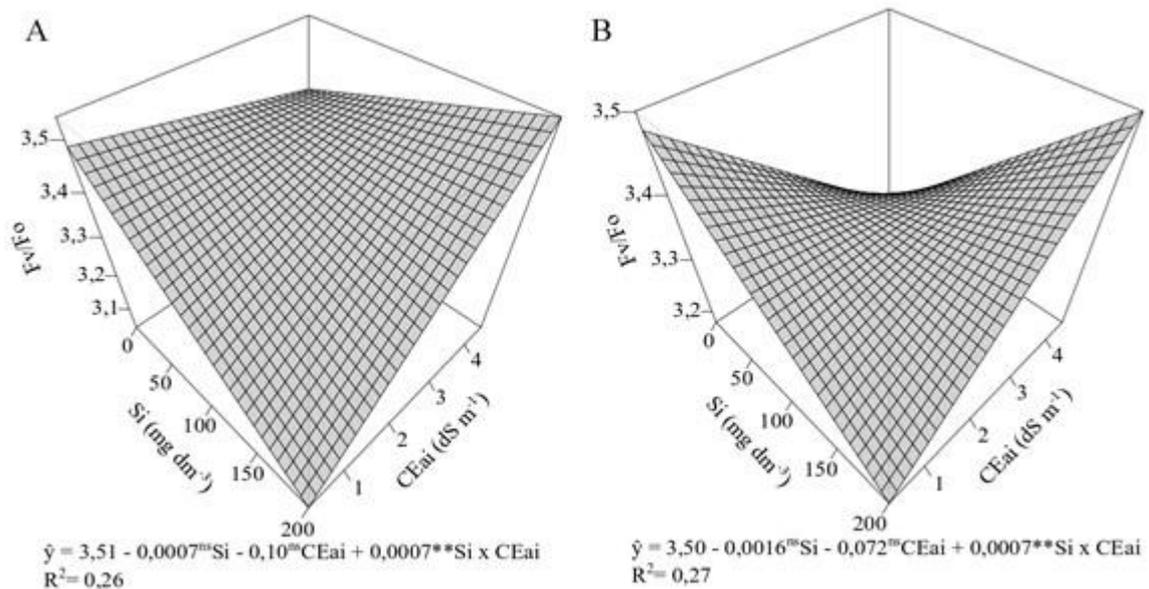


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 8.** Fluorescência variável (Fv) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 e 75 DAE, o valor máximo na eficiência fotoquímica primária do fotossistema II ( $Fv/Fo$ ) ( $3,54$  elétrons quânticos  $^{-1}$ ) foi obtido com a dose de silício  $199,3 \text{ mg dm}^{-3}$ , sob salinidade da água de irrigação de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$ , correspondendo a um aumento na  $Fv/Fo$  de 13,9% para os 60 DAE e 9,2% aos 75 DAE comparado com a ausência do silício. Entretanto, a salinidade de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$  promoveu redução na eficiência fotoquímica primária do fotossistema II em 4,2 e 8,6% aos 60 e 75 DAE, respectivamente (Figura 9A, 9B).

O aumento em 13,9 e 9,6% na eficiência fotoquímica primária do fotossistema II aos 60 e 75DAE, com a dosagem de silício  $199,3 \text{ mg dm}^{-3}$  na salinidade de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$ , confirmam o efeito positivo do silício em atenuar os efeitos negativos da água de irrigação. Haja vista que, a eficiência fotoquímica primária do fotossistema II é um indicador de muita sensibilidade na atividade fotossintética, em plantas estressadas (Ozfidan et al., 2013). Esta variável fornece as mesmas informações que a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII ( $F_v/F_m$ ), tendo a capacidade para identificar poucas variações (Azevedo Neto et al., 2011). Como neste experimento ocorreu redução desta variável devido a salinidade de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$ ; este efeito desencadeou danos na eficiência do processo fotossintético e na cadeia transportadora de elétrons (Li et al., 2010; Shu et al., 2013). Fato este que está ligado aos efeitos negativos da salinidade presente no meio. Outro fator que também pode ter proporcionado esta redução no rendimento quântico do fotossistema II está ligado à degradação da clorofila, uma vez que houve uma redução na razão índice de clorofila a/b nas folhas das mudas de maracujazeiro amarelo.



\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

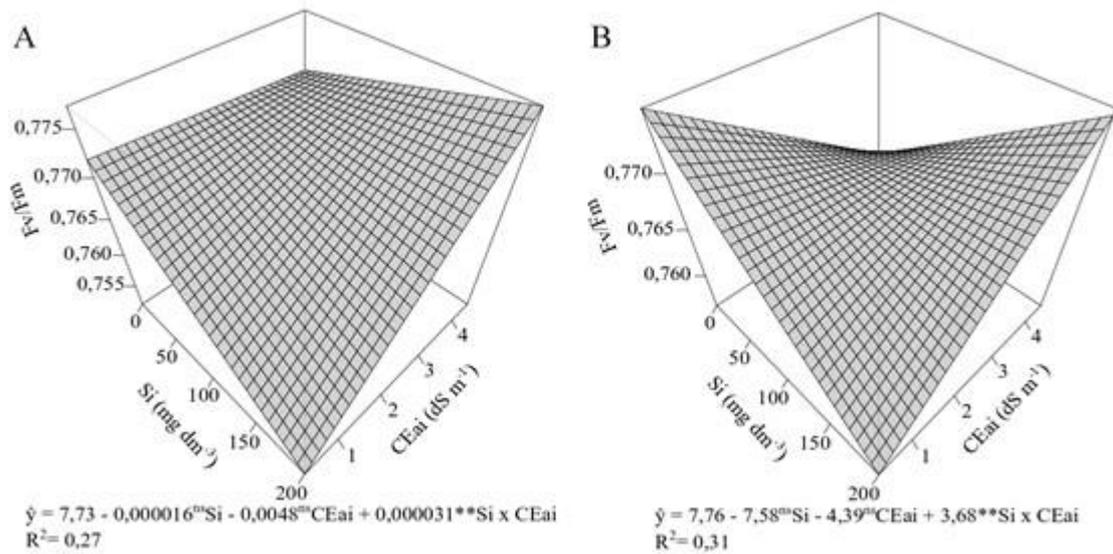
**Figura 9.** Eficiência fotoquímica primária do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE, o valor máximo para a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII ( $F_v/F_m$ ) ( $0,77$  elétrons quânticos<sup>-1</sup>) foi obtido com a suplementação de  $199,7 \text{ mg dm}^{-3}$

de silício sob salinidade de  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo a um incremento de 3,2% na Fv/Fm, comparado a ausência de silício, entretanto o efeito da salinidade reduziu a resposta na Fv/Fm em 0,8% quando comparado com a menor salinidade  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 10A). Para os 75 DAE, o valor máximo na Fv/Fm ( $0,77 \text{ elétrons quânticos}^{-1}$ ) foi observado com a dose de  $0,54 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício com a salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ , com menores efeitos expressivos do silício e salinidade na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII (Figura 10B).

A eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II é comumente utilizada como um indicador sensível do funcionamento fotossintético em plantas (Guidi et al., 2019), sendo utilizada em inúmeros estudos para caracterizar a eficiência fotossintética em plantas (Bussotti et al., 2020). Diante disto, a redução na resposta na Fv/Fm em 0,8% para os 60 DAE sob salinidade de  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ , confirma o efeito negativo da salinidade na Fv/Fm; visto que, a salinidade é tida como uma das principais causas que afetam o funcionamento do fotossistema II nas culturas (Najar et al., 2019), o que acarreta uma diminuição na eficiência do fotossistema II, especificamente a fotoinibição (Guidi et al., 2019); que é definida como um fenômeno que gera a redução da atividade fotossintética, devido a diminuição na assimilação de  $\text{CO}_2$  (Baker, 1996).

Entretanto os resultados deste experimento para os 60 e 75 DAE, na eficiência quântica máxima do fotossistema II, ( $0,77 \text{ elétrons quânticos}^{-1}$ ) estão dentro da faixa estabelecida de ( $0,75$  a  $0,85 \text{ elétrons quânticos}^{-1}$ ) na ausência de estresse (abiótico) (Neves et al., 2019). Portanto, os resultados deste experimento aos 75 DAE enfatizam que o aparato fotossintético continuou intacto, ou seja, não apresentou danos por fotoinibição no centro de reação do fotossistema II (Cassana et al., 2008).

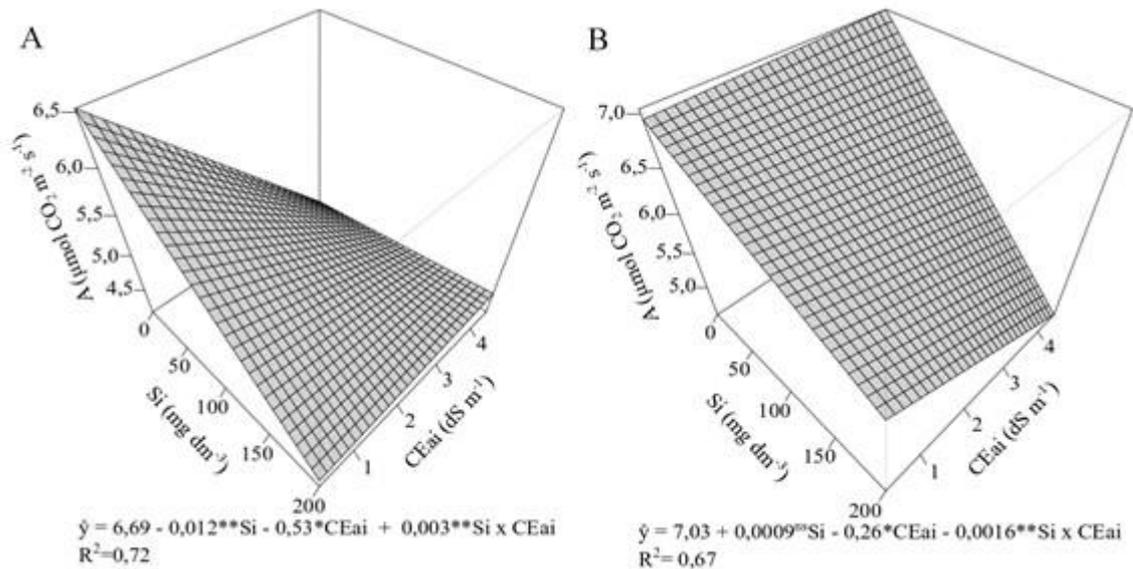


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 10.** Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

O maior valor 6,5 para fotossíntese líquida (A) aos 60 DAE, foi obtido com a dose de  $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$  (Figura 11A). Aos 75 DAE, o valor máximo 7,04 na fotossíntese líquida (A), foi na dose de  $194,5 \text{ mg dm}^{-3}$  com a salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ , registrando aumento em 1,2% na fotossíntese líquida da muda comparado a ausência do silício (Figura 11B).

Os resultados desde experimento confirmam os efeitos que o silício tem em atenuar efeitos abióticos (salinidade), a partir do aumento da fotossíntese líquida aos 75 DAE, nas mudas de maracujazeiro - amarelo que receberam silício na dosagem de  $194,5 \text{ mg dm}^{-3}$ , sob salinidade da água de irrigação de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ . Aumento em 39,3% na fotossintética líquida foi observado por Costa et al. (2018), utilizando a concentração de silício  $0,83 \text{ g}$  por vaso em relação ao controle. Outros experimentos também enfatizam o efeito benéfico do silício na fotossíntese em *Glycine max* (Shen et al., 2010); e *Lycopersicon esculentum* (Romero-Aranda et al., 2006). O aumento na fotossíntese líquida, nos tratamentos com a presença do silício sob condição de estresse provavelmente está associado a um aumento da atividade das enzimas fotossintéticas no teor de clorofila e condutância estomática (Shen et al., 2010 e Al-huqail et al., 2019).

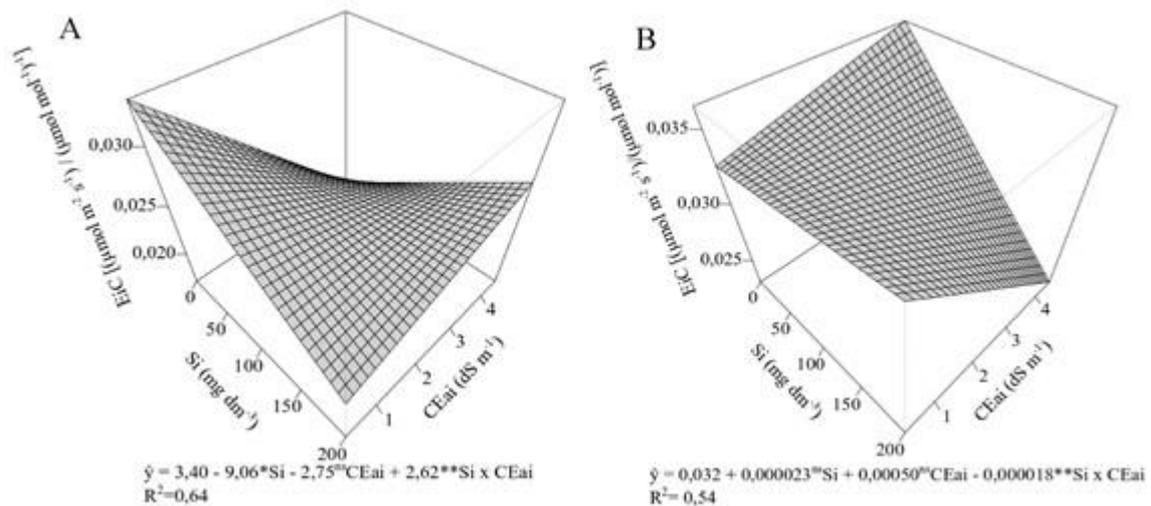


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 11.** Taxa fotossintética líquida (A) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE o valor máximo para eficiência instantânea de carboxilação (EiC) 0,03 foi obtido na dose de silício  $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$  sob a salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 12A). Aos 75DAE, à EiC apontou valor máximo de 0,04 na dose de silício de  $199,4 \text{ mg dm}^{-3}$  sob salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$ , correspondendo a um aumento de 9,6% na EiC comparado com a ausência do silício (Figura 12B).

Para Machado et al. (2005) e Melo et al. (2017) a eficiência instantânea de carboxilação possui estreita relação com a com a fotossíntese líquida. Portanto o incremento na EiC neste experiemeto pode esta ligado ao amento da fotossíntese líquida, que respondeu positivamente a aplicação de silício neste experimento. Outro fator que pode ter contribuído para este aumento da EiC foram as variações de temperatura no interior da casa de vegetação onde o experiento com mudas de maracujazeiro foi produzido; pois de acordo com Machado et al. (2005) a temperatura ótima, para valores expressivos de EiC, situa-se entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$ .

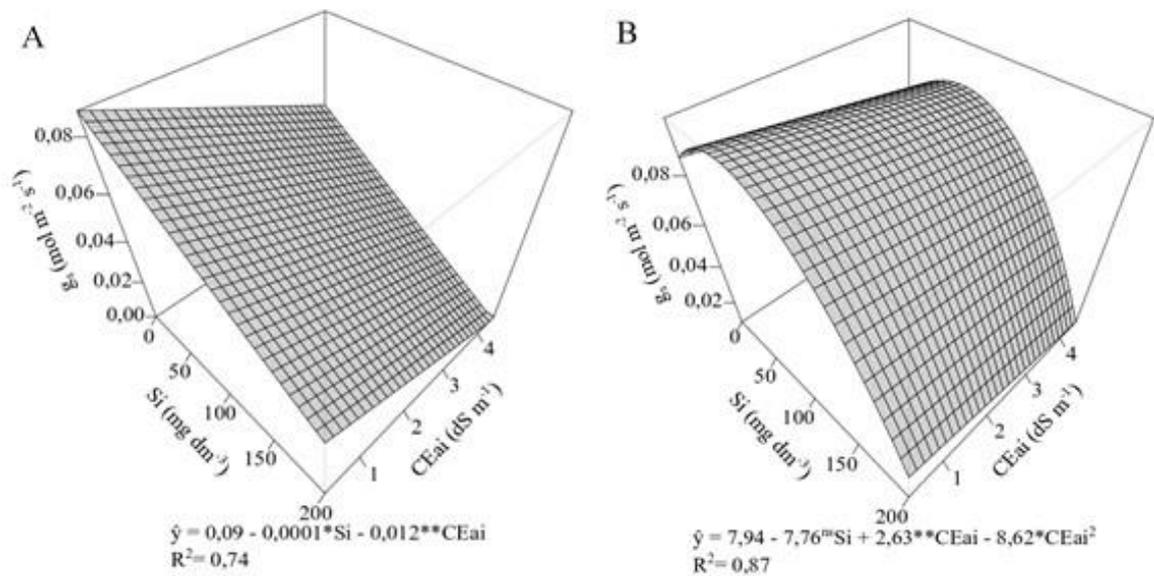


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 12.** Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Para a condutância estomática (g<sub>s</sub>) aos 60DAE à medida que aumentou o silício e a salinidade da água de irrigação diminuiu linearmente a condutância estomática (Figura 13A). aos 75 DAE a valor máximo da condutância estomática 0,1 foi obtido com a dosagem de 0,2 mg dm<sup>-3</sup> sob a salinidade de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, entretanto esta condutividade da água de irrigação reduziu em 13,0% a condutância estomática comparado a salinidade de 0,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 13B).

A diminuição da condutância estomática é uma resposta das plantas submetidas a estresse, com o intuito de reduzir as perdas de água disponível no ambiente (Chaves et al., 2009); o que traz perdas para a fotossíntese (Khan et al., 2019). Semelhante aos resultados obtidos neste experimento, Bosco et al. (2009) encontraram reduções na condutância estomática 57,5%, devido a salinidade da água de irrigação em plantas de berinjela. Estudos comprovam que a salinidade é um dos fatores responsáveis pelo resultado de menor condutância estomática, tendo como consequência, restrição na disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a carboxilação (Chartzoulakis et al. 1995; Koyro 2006).

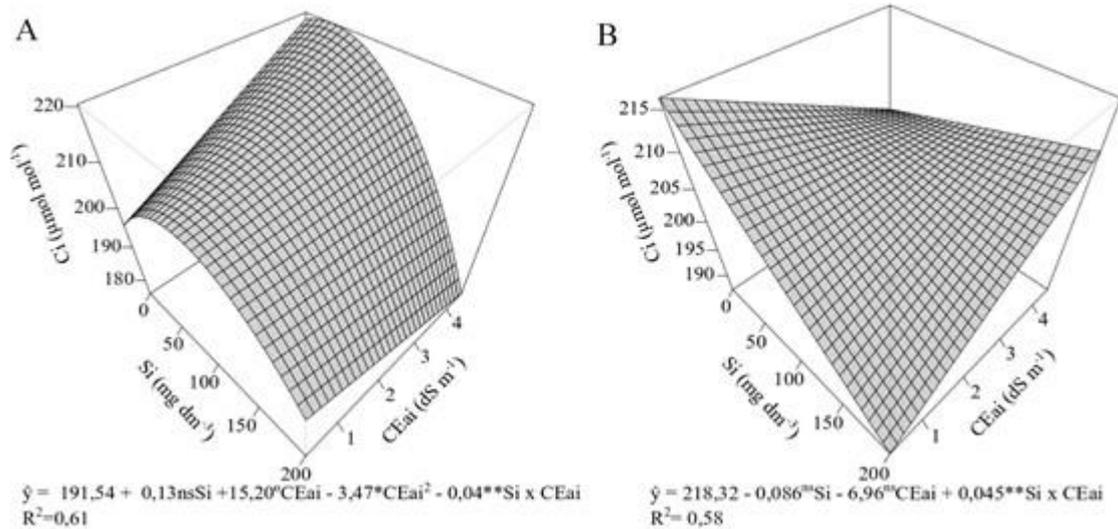


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 13.** Condutância estomática ( $g_s$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE o valor máximo para a concentração interna de carbono (ci) 220,3 foi obtido com a dose de 199,5 mg dm<sup>-3</sup> de silício, sob salinidade de 0,9 dSm<sup>-1</sup>, o que possibilitou em incremento de 8,0% na concentração interna de carbono comparado a ausência de silício (Figura 14A). Já aos 75DAE, o valor máximo para a concentração interna de carbono 216,1 foi obtido com a dose 0,4 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob a salinidade de 0,3 dSm<sup>-1</sup> (Figura 14B).

Essa melhoria na concentração interna de carbono pela aplicação do silício em condição de salinidade, está atrelado à redução de íons como o Na<sup>+</sup> que são tóxicos aos cloroplastos nos vegetais (Al-huqail et al., 2019). Semelhante aos resultados deste experimento, Abbas et al. (2015) observaram uma maior concentração interna de carbono devido à aplicação de silício em tomate e quiabo sob a estresse salino.



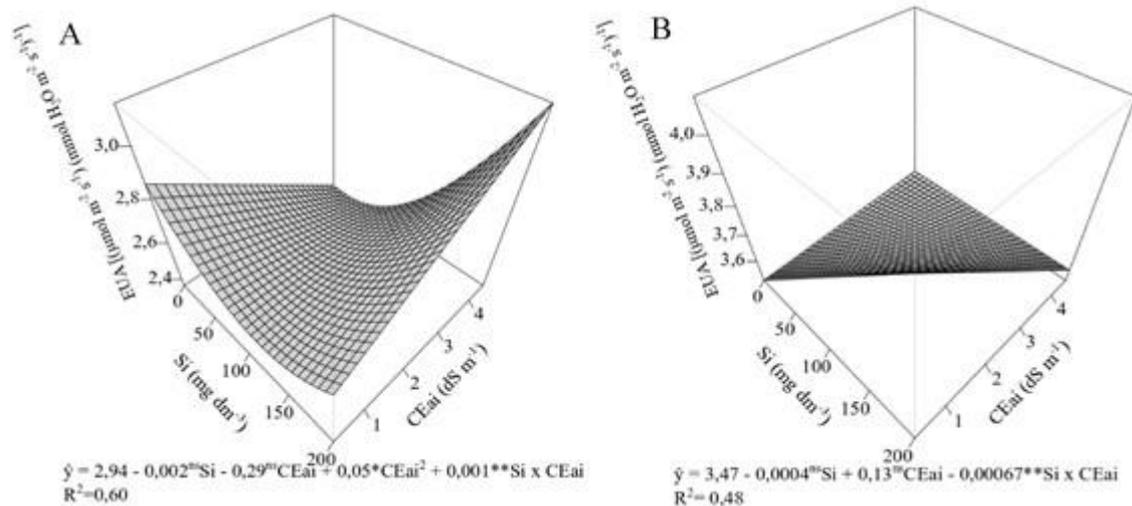
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 14.** Concentração interna de carbono ( $c_i$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE o valor máximo na eficiência no uso de água (EUA) (3,1) foi verificado com a dose de  $199,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$ , promovendo um aumento de 6,5 % comparado com a ausência do silício (Figura 15A). Para os 75 DAE o valor máximo na EUA (4,1) foi obtido na dosagem de  $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício sob salinidade de  $4,5 \text{ dSm}^{-1}$ . Entretanto a salinidade de  $4,5 \text{ dSm}^{-1}$  reduziu a EUA em 14% comparado com a salinidade de  $0,3 \text{ dSm}^{-1}$  em mudas de maracujazeiro amarelo (Figura 15B).

A eficiência no uso da água (EUA), é definida como a proporção de ganho de carbono da planta em relação ao uso da água (Leakey et al., 2019). Os resultados deste experimento aos 60 DAE para a EUA estão em consonância com Parveen e Ashraf (2010), que descobriram que a aplicação de silício aumentou significativamente a EUA em plantas de milho sob a condição de estresse salino. Provavelmente, isso ocorreu devido ao papel do silício em aliviar o estresse por salinidade, através da manutenção da parede celular melhorando a permeabilidade da membrana plasmática (Al-Aghabary et al., 2005) o que acarretou em melhoria para a eficiência no uso da água (Parveen e Ashraf, 2010). Por outro lado, a redução na EUA aos 75 DAE devido a salinidade de  $4,5 \text{ dSm}^{-1}$ , indica uma sensibilidade das mudas de maracujazeiro ao estresse salino. Isso se deve ao acúmulo de sais

no solo, situação que contribui para uma diminuição do potencial osmótico do solo, gerando consequentemente menor absorção de água pelas plantas (Nobre et al., 2014).

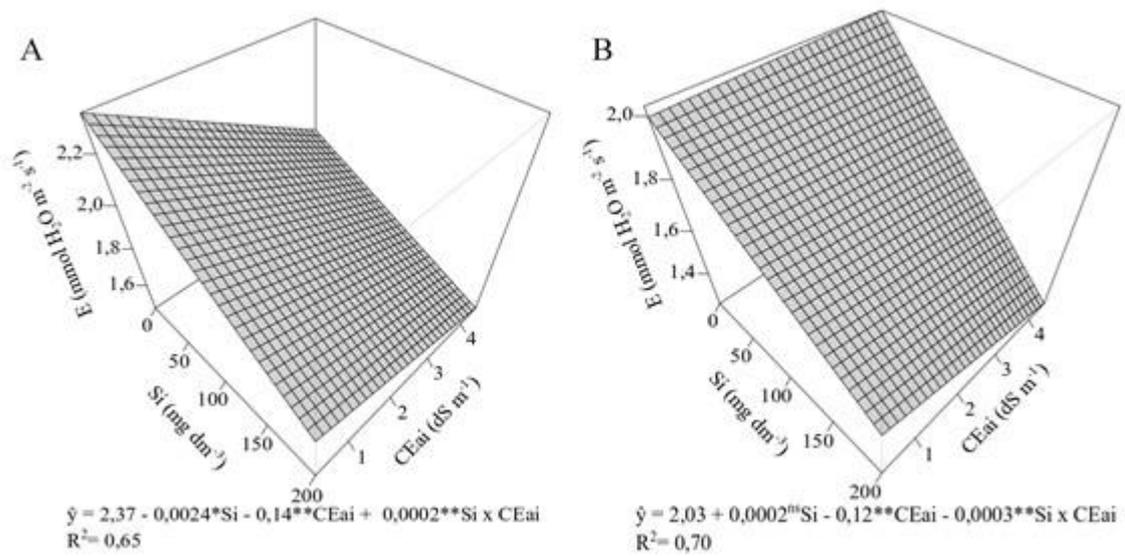


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 15.** Eficiência no uso de água (EUA) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

O maior valor para transpiração foliar (E) (2,3) aos 60 DAE, foi obtido com a adição de  $0,68 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício sob salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 16A). Aos 75 DAE o valor máximo para transpiração foliar (2,03) foi obtido pela combinação entre a dose de silício  $199,6 \text{ mg dm}^{-3}$  e a condutividade elétrica da água de irrigação  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , correspondendo a um aumento de 1,5% na transpiração foliar comparado com a ausência do silício (Figura 16B).

O aumento na transpiração foliar é devido a abertura estomática que é diretamente ligada à taxa fotossintética e à transpiração, em que, simultaneamente, a planta absorve  $\text{CO}_2$  para o processo fotossintético; e perde água para a atmosfera pelo processo de transpiração (Pinto et al., 2012). O efeito positivo do silício aos 75 DAE na transpiração foliar; provavelmente ocorreu devido ao mesmo ser depositado nas paredes celulares das folhas promovendo melhorias para as propriedades mecânicas das células sob condições de estresse (Soukup et al., 2017), outro ponto positivo do positivo foi sua atuação contra a alta absorção de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  via transpiração em condições de salinidade (Liang, 1999).



\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 16.** Transpiração foliar (E) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

## Conclusões

A dose de silício de  $199,6 \text{ mg dm}^{-3}$  atenua a salinidade da água de irrigação de  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ , permitindo incremento de 5,2% na razão índice de clorofila *a/b* aos 60 DAE.

A aplicação de  $199,7 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício mitiga os efeitos negativos da salinidade da água de irrigação de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$ , mantendo preservada a eficiência do fotossistema PSII (Fv/Fm) ( $0,77 \text{ elétrons quânticos}^{-1}$ ) aos 60 DAE.

A aplicação  $199,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de silício é eficiente na mitigação dos danos causados pela salinidade da água de  $4,4 \text{ dSm}^{-1}$  na eficiência do uso de água (EUA), em mudas de maracujazeiro-amarelo aos 60 DAE.

## Referências

- ABBAS, T.; BALAL, R. M.; SHAHID, M. A.; PERVEZ, M. A.; AYYUB, C. M.; AQUEEL, M. A.; JAVAID, M. M. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta physiologiae plantarum**, v. 37, n. 2, p. 1–15, 2015.
- AHMED, M. Z.; GUL, B.; KHAN, M. A.; WATANABE, K. N. Characterization and Function of Sodium Exchanger Genes in *Aeluropus lagopoides* Under NaCl Stress. *In: Halophytes for Food Security in Dry Lands*. Academic Press, 2016. p. 1-16.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. 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. 12, p. 2101-2115, 2005.
- AL-HUQAIL, A. A.; ALQARAWI, A. A.; HASHEM, A.; MALIK, J. A.; ABD\_ALLAH, E. F. Silicon supplementation modulates antioxidant system and osmolyte accumulation to balance salt stress in *Acacia gerrardii* Benth. **Saudi journal of biological sciences**, v. 26, n. 7, p. 1856-1864, 2019.
- ALVES, J. M.; LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, F. R. A.; SILVA, T. I.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, F. O.; MESQUITA, E. F.; SUASSUNA, C. F. Chlorophyll a fluorescence and development of zucchini plants under nitrogen and silicon fertilization. **Agronomía Colombiana**, v. 38, n. 1, 45-52, 2020.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. p. 1-53. (FAO **Irrigation Drainage Daper**, 29)
- AZEVEDO NETO, A. D.; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. D. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista ciência agrônômica**. v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.
- BAKER, N. R. Photoinhibition of photosynthesis. *In: Light as an Energy Source and Information Carrier in Plant Physiology*. Springer, Boston, MA, 1996. p. 89-97.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21-34, 2018.

BUSSOTTI, F.; GEROSA, G.; DIGRADO, A.; POLLASTRINI, M. Selection of chlorophyll fluorescence parameters as indicators of photosynthetic efficiency in large scale plant ecological studies. **Ecological Indicators**, v. 108, p.1-10, 2020.

CASSANA, F. F.; BRAGA, E. J. B.; BACARIN, M. A.; FALQUETO, A. R.; PETERS, J. A. Atividade fotoquímica máxima do fotossistema II em plantas de batata-doce cultivadas in vitro e aclimatizadas. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 14, n. 4, p. 46-51, 2008.

CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.33, n. especial, p.699-705, 2011.

CHARTZOULAKIS, K. S.; THERIOS, I. N.; MISOPOLINOS, N. D.; NOITSAKIS, B. I. Growth, ion content and photosynthetic performance of salt-stressed kiwifruit plants. **Irrigation Science**, v. 16, n. 1, p. 23-28, 1995.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

COSTA, B. N. S.; COSTA, I. D. J. S.; DIAS, G. D. M. G.; ASSIS, F. A. D.; PIO, L. A. S.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicone. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 163-171, 2018.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll a fluorescence in mung bean under salt stress. **Russian journal of plant physiology**, v. 62, n. 5, p. 611-616, 2015.

GUIDI, L.; LANDI, M.; LO PICCOLO, E. Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: does it make any difference the fact to be a C3 or C4 species?. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1-11, 2019.

IBGE. SIDRA (2019). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 28 out. 2020.

JESUS, C. A. S. D.; CARVALHO, E. V. D.; GIRARDI, E. A.; ROSA, R. C. C.; JESUS, O. N. D. Fruit quality and production of yellow and sweet Passion fruits in northern state of São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, n.2, p.1-7, 2018.

KHAN, A.; KHAN, A. L.; MUNEER, S.; KIM, Y. H.; AL-RAWAHI, A.; AL-HARRASI, A. Silicon and salinity: cross-talk in crop mediated stress tolerance mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-21, 2019.

KOYRO, H. W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 136-146, 2006.

LEAKEY, A. D.; FERGUSON, J. N.; PIGNON, C. P.; WU, A.; JIN, Z.; HAMMER, G. L.; LOBELL, D. B. Water use efficiency as a constraint and target for improving the resilience and productivity of C3 and C4 crops. **Annual review of plant biology**, v. 70, p. 781-808, 2019.

LI, G.; WAN, S.; ZHOU, J.; YANG, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. **Industrial crops and products**, v. 31, n. 1, p. 13-19, 2010.

LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. **Plant and soil**, v. 209, n. 2, p. 217, 1999.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental pollution**, v. 147, n. 2, p. 422-428, 2007.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MELO, G. M.; BARBOSA, M. R.; DIAS, A. L. F.; WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Pré-condicionamento in vitro de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) para tolerância ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, p. 27-33, 2014.

MELO, H. F. D.; SOUZA, E. R. D.; DUARTE, H. H.; CUNHA, J. C.; SANTOS, H. R. Gas exchange and photosynthetic pigments in bell pepper irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 38-43, 2017.

MONTEIRO, D. R.; MELO, H. F. D.; LINS, C. M.; DOURADO, P. R.; SANTOS, H. R.; SOUZA, E. R. D. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 673-678, 2018.

MONTGOMERY, D.C. **Design e análise de experimentos**. 7.ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 724 p.

NAJAR, R.; AYDI, S.; SASSI-AYDI, S.; ZARAI, A.; ABDELLY, C. Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. **Plant Biosystems**, v. 153, n. 1, p. 88-97, 2019.

NEVES, J. M.; AQUINO, L. A. D.; BERGER, P. G.; NEVES, J. C.; ROCHA, G. C.; BARBOSA, E. A. Silicon and boron mitigate the effects of water deficit on sunflower. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 175-182, 2019.

NEVES, L. A. S.; SPAT, C. Concentração de clorofila e de prolina em genótipos de arroz submetidos à salinidade. **Unimontes Científica**, v. 15, n. 1, p. 01-10, 2013.

- NISHIYAMA, Y.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; MURATA, N. A new paradigm for the action of reactive oxygen species in the photoinhibition of photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1757, n. 7, p. 742-749, 2006.
- NOBRE, R. G.; DE LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; ANJOS SOARES, L. A.; DA SILVA, A. O. Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 148-158, 2014.
- NOVAES, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. *In*: OLIVEIRA, A. J., GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D., LOURENÇO, S. **Método de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: Embrapa - SEA. p.189-253, 1991.
- OZFIDAN, C.; TURKAN, I.; SEKMEN, A. H.; SECKIN, B. Time course analysis of ABA and non-ionic osmotic stress-induced changes in water status, chlorophyll fluorescence and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana* wild-type (Columbia) and ABA-deficient mutant (*aba2*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 86, p. 44-51, 2013.
- PARVEEN, N. U. S. R. A. T.; ASHRAF, M. U. H. A. M. M. A. D. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 3, p. 1675-1684, 2010.
- PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANETTI, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, v.59, p.360-367, 2012.
- REZENDE, R. A. L. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. D. R.; SILVEIRA, H. R. D. O.; PASQUAL, M.; DIAS, G. D. M. G. Salt stress and exogenous silicon influence physiological and anatomical features of in vitro-grown *cape gooseberry*. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1-9, 2018.
- RICHARDS, L. A. **Diagnóstico e rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1954. 172p.
- RIOS, J. J.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; RUIZ, J. M.; BLASCO, B.; CARVAJAL, M. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. **Frontiers in plant science**, v. 8, p.1-10, 2017.

ROMERO-ARANDA, M. R.; JURADO, O.; CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal of plant physiology**, v. 163, n. 8, p. 847-855, 2006.

SÁ, F. V. D. S.; BRITO, M. E.; FIGUEIREDO, L. C. D.; MELO, A. S. D.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. Biochemical components and dry matter of lemon and mandarin hybrids under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 249-253, 2017.

SÁ, F. V. D. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. D.; PAIVA, E. P. D.; MOREIRA, R. C.; SILVA, L. D. A. Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of west indian cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 158-163, 2018.

SANTOS, C. V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 103, n. 1, p. 93-99, 2004.

SCRUCCA, L. GA: A Package for Genetic Algorithms in R. **Journal of Statistical Software**, v. 53, n. 4, 1-37, 2013.

SHAHID, S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. In: **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques**. Springer, Cham, 2018. p. 43-53.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of plant physiology**, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.

SHU, S.; YUAN, L. Y.; GUO, S. R.; SUN, J.; YUAN, Y. H. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 209-216, 2013.

SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; PÁDUA SOUZA, L.; PINHEIRO, F. W. A.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; SÁ ALMEIDA, L. L. Physiology of 'Paluma' guava under irrigation with saline water and nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 623-634, 2017.

SILVA, M. M. P. D. U.; VASQUEZ, H. M. U.; BRESSAN-SMITH, R. U.; SILVA, J. F. C. D. U.; ERBESDOBLER, E. D. A.; JUNIOR, A. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.67-74, 2006.

SOUKUP, M.; MARTINKA, M.; BOSNIĆ, D.; ČAPLOVIČOVÁ, M.; ELBAUM, R.; LUX, A. Formation of silica aggregates in sorghum root endodermis is predetermined by cell wall architecture and development. **Annals of botany**, v. 120, n. 5, p. 739-753, 2017.

SOUZA JUNIOR, J. P.; PRADO, R.M.; SARAH, M. M. S. S.; FELISBERTO, G. Silicon mitigates boron deficiency and toxicity in cotton cultivated in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, n. 5, p. 805-814, 2019.

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

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMAS, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

VIANA, M.; QUEIROZ, C. G. S.; DURÃES, F. O. M.; SOUZA, J.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; MACHADO, R. A. F. Alterações em pigmentos e danos em membranas de milho submetido ao déficit hídrico. *In*: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 24, 2002, Florianópolis. Anais [...]. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo; Florianópolis: Epagri, 2002.

WANDERLEY, J. A.; AZEVEDO, C. A.; BRITO, M. E.; CORDÃO, M. A.; LIMA, R. F. D., FERREIRA, F. N. Nitrogen fertilization to attenuate the damages caused by salinity on yellow passion fruit seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 541-546, 2018.

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; CAMPOSTRINI, E.; FERRAZ, T. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. D. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 215-223, 2016.

ZIA, Z.; BAKHAT, H. F.; SAQIB, Z. A.; SHAH, G. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; HAMMAD, H. M.; NASEEM, W.; SHAHID, M. Effect of water management and silicon on germination, growth, phosphorus and arsenic uptake in rice. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 144, p. 11-18, 2017.

**ANEXOS**

## CAPÍTULO II

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: índice de clorofila a (ICLa), índice de clorofila b (ICLb), índice de clorofila total (ICLt), razão entre os índices de clorofila a/b, fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), eficiência fotoquímica primária do fotossistema II (Fv/Fo), eficiência quântica máxima da fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 60 DAE, Areia-PB

Fonte de variação	gl	F calculado								
		ICLa	ICLb	ICLt	ICLa/ICLb	Fo	Fm	Fv	Fv/Fo	Fv/Fm
<b>Bloco</b>	3	3,44	3,08	1,65	6,66	13,21	14,38	9,19	6,42	6,37
<b>Trat (T)</b>	(9)	1,57	2,84	2,59	0,84	0,37	1,56	1,46	0,75	0,71
<b>Si-L</b>	1	0,22 <sup>ns</sup>	3,22 <sup>o</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>
<b>Si-Q</b>	1	0,35 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
<b>CEai-L</b>	1	10,36 <sup>**</sup>	16,49 <sup>**</sup>	18,41 <sup>**</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
<b>CEai-Q</b>	1	0,82 <sup>ns</sup>	6,30 <sup>*</sup>	2,86 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	3,26 <sup>o</sup>	3,90 <sup>o</sup>	2,74 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>
<b>SiL x CEL</b>	1	192,18 <sup>**</sup>	123,76 <sup>**</sup>	260,08 <sup>**</sup>	74,11 <sup>**</sup>	201,12 <sup>**</sup>	591,17 <sup>**</sup>	323,42 <sup>**</sup>	112,02 <sup>**</sup>	1983,0 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	27	12,869	2,222	16,892	0,2246	51,64	366,4	408,5	0,0005	0,0005
<b>CV (%)</b>		8,5	10,8	7,3	12,4	7,3	4,5	6,2	2,5	2,5

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> e <sup>o</sup>: não significativo a 5%, 1% e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: fotossíntese líquida (A), eficiência de carboxilação (EiC) condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de carbono (ci), eficiência instantânea de uso da água (WUE), e transpiração (E) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 60 DAE, Areia-PB

Fonte de variação	gl	F calculado					
		A	EiC	$g_s$	ci	EUA	E
<b>Blocos</b>	3	7,45	4,25	5,90	7,08	4,52	4,22
<b>Trat (T)</b>	(9)	2,25	1,45	2,37	1,71	2,08	2,14
<b>Si-L</b>	1	8,12**	4,75*	6,88*	0,46ns	0,50ns	5,65*
<b>Si-Q</b>	1	0,45ns	0,15ns	1,24ns	1,71ns	0,91ns	0,74ns
<b>CEai-L</b>	1	7,08*	1,03ns	11,89**	3,32°	1,26ns	9,06**
<b>CEai-Q</b>	1	0,38ns	0,21ns	1,36ns	4,37*	5,84*	2,86ns
<b>SiL x CEL</b>	1	57,76**	42,27**	0,52ns	131,53**	202,92**	43,21**
<b>Resíduo (quadrado médio)</b>	27	13,949	0,00006	0,0015	458,5	0,0909	0,1962
<b>CV (%)</b>		19,3	25,0	67,2	8,7	9,3	19,2

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> e <sup>°</sup>: não significativo, significativo a 1%, 5% e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: índice de clorofila a (ICLa) , índice de clorofila b (ICLb), índice de clorofila total (ICLt), razão entre os índices de clorofila a/b, fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), eficiência fotoquímica primária do fotossistema II (Fv/Fo), eficiência quântica máxima da fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 75 DAE, Areia-PB

Fonte de variação	gl	F calculado								
		ICLa	ICLb	ICLt	ICLa/ICLb	Fo	Fm	Fv	Fv/Fo	Fv/Fm
<b>Bloco</b>	3	3,70	1,08	1,97	3,72	7,71	10,79	13,32	17,84	16,99
<b>Trat (T)</b>	(9)	6,72	7,58	8,40	4,27	0,95	1,34	1,17	0,67	0,72
<b>Si-L</b>	1	0,17 <sup>ns</sup>	4,07 <sup>*</sup>	1,09 <sup>*</sup>	6,44 <sup>*</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
<b>Si-Q</b>	1	0,21 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
<b>CEai-L</b>	1	49,75 <sup>**</sup>	55,05 <sup>**</sup>	63,53 <sup>**</sup>	25,65 <sup>**</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
<b>CEai-Q</b>	1	1,81 <sup>ns</sup>	7,74 <sup>*</sup>	4,04 <sup>*</sup>	7,15 <sup>*</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
<b>SiL x CEL</b>	1	343,76 <sup>**</sup>	89,77 <sup>**</sup>	297,73 <sup>**</sup>	148,66 <sup>**</sup>	477,16 <sup>**</sup>	409,65 <sup>**</sup>	273,04 <sup>**</sup>	234,64 <sup>**</sup>	4284,48 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	27	7,35	1,79	13,33	0,21	17,24	436,4	403,9	0,10	0,00026
<b>CV (%)</b>		5,9	12,3	6,4	8,6	4,8	5,5	6,9	7,9	1,7

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância (F calculado) e de regressão para as variáveis: condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A), concentração interna de carbono (ci), eficiência instantânea de uso da água (WUE), eficiência de carboxilação (EiC) em mudas de maracujazeiro amarelo, em função da combinação entre doses de silício e condutividades elétrica da água de irrigação aos 75 DAE, Areia-PB

Fonte de variação	gl	F calculado					
		A	EiC	gs	ci	EUA	E
<b>Blocos</b>	3	3,40	1,06	1,53	0,80	11,16	5,02
<b>Trat (T)</b>	(9)	1,09	0,51	1,85	0,26	0,26	1,99
<b>Si-L</b>	1	1,18 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>
<b>Si-Q</b>	1	0,19 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>
<b>CEai-L</b>	1	5,89 <sup>*</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	9,68 <sup>**</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	12,35 <sup>**</sup>
<b>CEai-Q</b>	1	0,35 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	4,28 <sup>*</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>
<b>SiL x CEL</b>	1	24,05 <sup>**</sup>	11,34 <sup>**</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	91,16 <sup>**</sup>	32,49 <sup>**</sup>	32,29 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	27	2,6854	0,0001	0,0017	1013,39	0,6456	0,1671
<b>CV (%)</b>		21,8	26,9	49,0	12,8	18,0	19,6

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.