

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA E GRÃOS

POTASSIUM SILICATE AGAINST WATER STRESS IN  
SWEET CORN PLANT GROWTH AND YIELD TRAITS

Autor: Ausbie Luís Graça Araújo  
Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Perin  
Coorientador: Prof. Dr. Alexandre I. A. Pereira

RIO VERDE - GO  
abril – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA E GRÃOS

POTASSIUM SILICATE AGAINST WATER STRESS IN  
SWEET CORN PLANT GROWTH AND YIELD TRAITS

Autor: Ausbie Luís Graça Araújo  
Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Perin  
Coorientador: Prof. Dr. Alexandre I. A. Pereira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS, no Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração: Agroenergia.

RIO VERDE - GO  
abril - 2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano**

A663p Araújo, Ausbie Luís Graça.

Potassium Silicate against water stress in sweet corn plant growth and yield traits [manuscrito] / Ausbie Luís Graça Araújo. – Rio Verde, GO: IF Goiano, 2019.

70 fls.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto.

Co-Orientadores: Prof. Dr. Adriano Perin; Prof. Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, 2019.

1. Déficit hídrico. 2. Tensiometria. 3. Adubação silicatada. 4. Tensões de água no solo. I. Rubio Neto, Aurélio. II. Perin, Adriano. III. Pereira, Alexandre Igor de Azevedo. IV. Título.

CDU 631.61

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA E GRÃOS

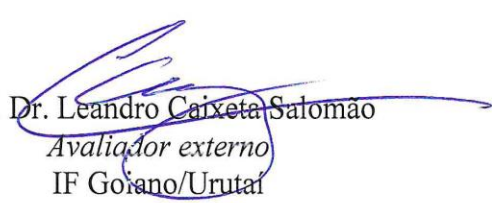
POTASSIUM SILICATE AGAINST WATER STRESS IN  
SWEET CORN PLANT GROWTH AND YIELD TRAITS


Autor: Ausbie Luís Graça Araújo


Orientador: Aurélio Rúbio Neto

*TITULAÇÃO*: Mestre em Bioenergia e Grãos – Área de concentração  
Agroenergia.

APROVADA em 29 de abril de 2019.

  
Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão  
*Avaliador externo*  
IF Goiano/Urutaí

  
Prof. Dr. Fabiano Guimarães Silva  
*Avaliador externo*  
IF Goiano/RV

  
Prof. Dr. Aurélio Rúbio Neto  
*Presidente da banca*  
IF Goiano/Polo de Inovação

# TERMO DE CIÊNCIA E AUTORIZAÇÃO ELETRÔNICA



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiano

**Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas**

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### Identificação da Produção Técnico-Científica

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Ausbie Luís Graça Araújo  
Matrícula: 2017202331540042  
Título do Trabalho: POTASSIUM SILICATE AGAINST WATER STRESS IN SWEET CORN PLANT GROWTH AND YIELD TRAITS

### Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: Artigo será publicado em revista.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/05/2020


O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não  
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

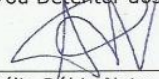
O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 12 de junho de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Ausbie Luís Graça Araújo  
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

  
\_\_\_\_\_  
Aurélio Rúbio Neto  
Assinatura do(a) orientador(a)

**Aurélio Rúbio Neto**  
Lab. de Cultura de  
Tecidos Vegetais  
SIAPE-2179253  
Pesquisador/Professor  
IF-GOIANO

## AGRADECIMENTOS

De início, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de viver, e aos meus pais, Ari Aires Araújo e Maria Amélia Graça Araújo, pelo incentivo ao estudo. Em especial, agradeço a minha esposa Fernanda de Lima Torres e minha filha Amanda Torres Araújo, por todo apoio e compreensão pelo tempo que estive ausente.

Prosseguindo, não posso deixar de externar profundo agradecimento ao professor e meu orientador Dr. Aurélio Rubio Neto e coorientadores Professores Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira e Dr. Adriano Perin, pela constante contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, bem como ao Campus Urutaí, que cedeu o espaço para a condução do experimento. Aos amigos de caminhada, Fernando Soares de Cantuário, Amanda Maria de Almeida, Dácio Gonçalves Silva, João de Jesus Guimarães, servidores, bolsistas e voluntários do Campus Urutaí, que muito cooperaram na realização deste estudo. Enfim, pelo incentivo recebido por toda a comunidade acadêmica do IF Goiano, especialmente ao professor e amigo Prof. Dr. Sebastião Nunes da Rosa Filho.

Ao IF Goiano, pela confiança no trabalho e pela concessão da bolsa de mestrado, imprescindível na condução deste estudo. E a empresa Conservas Oderich SA (Orizona, Goiás), que cedeu as sementes e informações técnicas para o cultivo.

Agradeço, também, aos professores, membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Fabiano Guimarães Silva e Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão, por terem atendido ao convite para desempenhar este papel, dispondo de seu tempo e conhecimento.

Por fim, mas não menos importante, aos meus colegas de sala, pela ajuda e apoio.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Ausbie Luís Graça Araújo, filho de Ari Aires Araújo e Maria Amélia Graça Araújo, nasceu em 22 de janeiro de 1972, em Araguari - MG. Casado com Fernanda de Lima Torres, pai de Amanda Torres Araújo. Administrador e Tecnólogo em Irrigação e Drenagem possui especialização em Docência do Ensino Superior. Professor do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, em exercício no IF Goiano Reitoria no cargo de Coordenador de Estágio. Reside em Goiânia desde janeiro de 2010.

## ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES.....	x
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Cultura do milho doce .....	6
2.2 Necessidade hídrica da cultura do milho .....	8
2.3 Silício como provedor de resistência ao estresse hídrico .....	10
2.4 Utilização de silicatos solúveis foliar .....	12
2.5 Referências bibliográficas.....	13
3. OBJETIVOS. ....	20
3.1 Geral.....	20
3.2 Específico.....	20
CAPÍTULO I: Planejamento experimental em parcelas subdivididas e construção de casa de vegetação.....	21
4.1 Importância e relevância.....	21
4.2 Ambientes protegidos no controle do erro experimental.....	22
4.3 Considerações finais.....	27
4.4 Referências bibliográficas.....	27
CAPÍTULO II: Potassium Silicate, Against Water Stress, in Sweet Corn Plant Growth Traits.....	29
Abstract... ..	29
5.1 Introduction.....	29
5.2 Methods. ....	30
5.3 Resultds.....	32
5.4 Discussion.....	37
5.5 Conclusions.....	39
5.6 Acknowledgements.....	39
5.7 References .....	39
CAPÍTULO III: Potassium silicate as a resistance elicitor in sweet corn yield traits, under water stress.....	42
Abstract.....	42



6.1 Introduction.....	42
6.2 Material and methods.....	44
6.3 Results.....	47
6.4 Discussion.....	50
6.5 Conclusions.....	52
6.6 Acknowledgements.....	52
6.7 Bibliographic references.....	52
7. CONCLUSÃO GERAL.....	56
8. APÊNDICE.....	57
APÊNDICE A.....	57
APÊNDICE B.....	58
APÊNDICE C.....	59

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Table 1. Physical and chemical properties of the soil used to grow Tropical Plus <sup>®</sup> hybrid corn (syngenta), en greenhouse, on the campus of Goiás, Urutaí, Brazil.....	45
Table 2. The averages followed by the same letter, per column, do not differ among themselves at the 5% probability level by the Tukey test.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b>	
Figura 1: Planta de milho doce.....	7
<b>CAPÍTULO I: Planejamento experimental em parcelas subdivididas e construção em casa de vegetação</b>	
Figura 1. Delineamento experimental com parcelas subdivididas com diferentes tensões de água no solo e doses de silicato de potássio via foliar.....	23
Figura 2. Layout de um sistema de irrigação localizada por gotejamento em ambiente protegido com suas respectivas peças e componentes.....	24
Figura 3. (A) Sistema de bombeamento e (B) Canteiros levantados e nivelados.....	25
Figura 4. Instalação dos tensiômetros em diferentes profundidades para a realização do manejo da irrigação.....	25
Figura 5. (A) Sistema de irrigação localizada por gotejamento instalado e operando na área experimental e (B) detalhe do controle das parcelas.....	26
Quadro 1. Lista de materiais de um sistema de irrigação localizada por gotejamento em ambiente protegido.....	26
 <b>CAPÍTULO II: Potassium Silicate, Against Water Stress, in Sweet Corn Plant Growth Traits.</b>	
Figure 1. Regression analysis for stem diameter (mm) of sweet corn plants ( <i>Zea mays</i> L.) Tropical Plus® hybrid, at five time intervals after germination with different soil water tensions and potassium silicate doses. Si 0 (0 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 1 (6 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 2 (12 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ) and Si 3 (24 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil.....	33
Figure 2. Regression analysis of plant height (cm) of sweet corn plants ( <i>Zea mays</i> L.), Tropical Plus® hybrid, at five time intervals after germination and submitted to different soil water tensions with potassium silicate doses. Si 0 (0 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 1 (6 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 2 (12 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ) and Si 3 (24 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil.....	34
Figure 3. Regression analysis for the number of leaves per plant of sweet corn plants ( <i>Zea mays</i> L.), Tropical Plus® hybrid, at five time intervals after germination and submitted to different soil water tensions and potassium silicate doses. Si 0 (0 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 1 (6	

L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 2 (12 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ) and Si 3 (24 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil.....	35
Figure 4. Regression analysis for stem diameter (mm) (A), plant height (cm) (B), and number of leaves per plant (C) of sweet corn ( <i>Zea mays</i> L), Tropical Plus® hybrid, under interaction between the factors, soil-water tension (kPa) and potassium silicate doses. Si 0 (0 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 1 (6 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ), Si 2 (12 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ) and Si 3 (24 L of $K_2SiO_3$ ha <sup>-1</sup> ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil.....	36
Figure 5. Root length (cm) (mean±EP1) of sweet corn ( <i>Zea mays</i> L.), Tropical Plus® hybrid, with different soil-water tensions (kPa). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil. 1Means followed by the same letter do not differ at the 5% probability level by Tukey test. Corn plants pictures are merely illustrative, not corresponding to their real dimensions, and were adapted from <a href="http://www.behance.net">www.behance.net</a> , with credits of Jeffrey Marshall.....	37

### CAPÍTULO III: Potassium silicate as a resistance elicitor in sweet corn yield traits, under water stress

Figure 1. Summary of the ANOVA (factorial with subdivided plots) of soil water stresses (T) (plots) and doses of potassium silicate (Si) (subplots) considered separately or in interaction (T x Si) for the significant parameters (Figure 1B, Fig. 1B, Fig. 1B and Fig. 1B, respectively), and the results obtained in the present study, Fig. 1B, Fig. 1B, Fig. Tang production).....	48
Figure 2. Weight (grams) (mean ± SEM) of the spike with (black bars) and without (gray bars) sweet corn straw ( <i>Zea mays</i> var. Saccharata) Tropical Plus® hybrid under the effect of soil water stresses (kPa). Instituto Federal Goiano, Urutaí, Goiás, Brazil. 1 Averages followed by the same letter, for each variable, do not differ among themselves at the 5% probability level by the Tukey test. Table 2. Soil (SW), spike (CD), fresh ear (CFW), number of ears per spike (RNEAR) and yield (SY) (SWST) (mean ± SEM) ( <i>Zea mays</i> Var. Saccharata) Tropical Plus® hybrid (Syngenta) under different stresses of water stress in the soil (kPa). Goiano Federal Institute, Urutaí, Goiás, Brazil.....	49

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

%	porcentagem
°C	graus Celsius
g	grama
m	metro
cm	centímetro
cm <sup>-2</sup>	centímetro quadrado
mm	milímetro
dm <sup>3</sup>	decímetro cúbico
mmol	milimol
L	litro
t	tonelada
ha <sup>-1</sup>	por hectare
h <sup>-1</sup>	por hora
kPA	quilo pascal
<i>et al</i>	e outros
etc.	et ceteras
cv	cavalo vapor
mesch	número de malha por polegada (filtro)
PVC	policloreto de vinil (plástico)
DN	diâmetro nominal
PN	pressão nominal
PELBD	polietileno linear de baixa densidade
PS	pressão de serviço
Kgf	quilograma-força
M.O.	matéria orgânica
CTC	capacidade de troca de cátions

## RESUMO

ARAUJO, AUSBIE LUÍS GRAÇA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, abril de 2019. **Produtividade e qualidade do milho doce submetido ao déficit hídrico e adubação silicatada em ambiente protegido.** Orientador: Aurélio Rúbio Neto. Coorientadores: Adriano Perin; Alexandre Igor Azevedo Pereira.

Objetivou-se com o presente trabalho testar a hipótese de que o silicato de potássio, aplicado sob pulverização foliar, em plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus<sup>®</sup>) é capaz de conferir tolerância a essa planta contra os efeitos do déficit hídrico. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, constituído por quatro combinações de tensões de água no solo (15, 30, 45 e 60 kPa) e doses de silicato de potássio (0, 6, 12 e 24 L ha<sup>-1</sup>). Características de crescimento, rendimento e produção da planta de milho doce foram avaliados. Quantificou-se o teor de silício (Si) nos grãos, folha, palha, sabugo e colmo das plantas. O potencial matricial médio de -15 kPa confirmou que as tensões de água no solo utilizadas proporcionaram condição de estresse hídrico para a planta de milho doce durante o experimento. A hipótese do estudo foi parcialmente confirmada, pois plantas pulverizadas com silicato de potássio e sob altas tensões de água no solo tiveram menor declínio em crescimento em comparação com aquelas sem pulverização com silicato de potássio. Todavia, a maioria dos parâmetros de rendimento e produção avaliados não sofreram interferência dos fatores estudados de forma isolada ou sob interação. Argumentos para se considerar que esse resultado pode ter sido influenciado por ação indireta da presença do silício são apresentados. Resultados indicam que o silício foi capaz de amortizar o impacto do déficit hídrico em plantas de milho doce de maneira direta e, provavelmente, indireta.

**PALAVRAS - CHAVES:** déficit hídrico, tensiometria, adubação silicatada, tensões de água no solo.

## ABSTRACT

ARAÚJO, AUSBIE LUÍS GRAÇA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, abril de 2019. **Potassium silicate against water stress in sweet corn plant growth and yield traits.** Orientador: Aurélio Rubio Neto. Coorientadores: Adriano Perin; Alexandre Igor Azevedo Pereira.

The present study was carried out to observe if potassium silicate corn plant, under the action of foliar spraying, in sweet corn plants (Tropical Plus® hybrid), is capable of conferring resistance to this plant against the effects of water heat. A randomized block design consisting of four soil water doses (15, 30, 45 and 60 kPa) and four potassium silicon doses (0, 6, 12 and 24 L ha<sup>-1</sup>) was adopted. Parameters of growth, yield and sweet corn yield were evaluated. Additionally, the silicon content in the grains, leaf, straw, cob and stem of the plants was quantified. The mean matric potential of -15 kPa confirmed that soil water stresses provide a water stress condition for a sweet corn plant during the experiment. The study hypothesis was partially confirmed because the plants sprayed with potassium silicate and under high water tensions had smaller decline in the growth parameters compared to those without potassium silicate spraying. However, most of evaluated yield and production parameters were not influenced by the evaluated factors alone or under interaction. Arguments to consider that this result may have been influenced by an indirect action of the silicon presence are presented. The sweet corn plant productivity was affected by the soil water tension of 60 kPa. Results indicate that silicon was able to amortize the water deficit impact on sweet corn plants in a direct and probably indirect way.

**KEYWORDS:** Water deficit, tensiometry, silicate fertilization, soil water stress

## 1. INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é considerado o principal fator ambiental limitante na produção agrícola em todo mundo, afetando severamente a qualidade e a produtividade da maioria das plantas de importância econômica. Atualmente, um dos desafios da agricultura é a manutenção da qualidade e produtividade dos produtos agrícolas sob deficiência hídrica, uma condição constatada rotineiramente no Centro-Oeste brasileiro (HEINEMANN *et al.* 2009), bioma Cerrado, onde o efeito de diversos efeitos climáticos, como o El Niño (LI *et al.* 2011), tem causado a estiagem de chuvas (veranico) e leva, impreterivelmente, a condição de estresse hídrico (SANTOS *et al.* 2003, DOTO *et al.* 2015).

O cultivo do milho-doce (*Zea mays* L.) (Poaceae) tem aumentado no Brasil, principalmente no estado de Goiás que é um dos maiores produtores em área cultivada no país. Essa cultura está muito associada com o desenvolvimento de agroindústrias que processam a matéria-prima para comercialização de conservas. A espécie *Zea mays* é considerada como tolerante ao déficit hídrico durante sua fase vegetativa, porém, demonstra alta sensibilidade se essa condição de estresse persistir durante a fase reprodutiva (SANTOS & CARLESSO, 1998). Dessa forma, tecnologias capazes de amortizar os efeitos do estresse hídrico em plantas economicamente e socialmente importantes, como o milho doce, devem ser avaliadas.

A adubação silicatada tem sido relatada como uma tecnologia promissora no sentido de dirimir os efeitos negativos dos fatores que causam estresse nas plantas (MA & YAMAJI, 2006). O silício tem sido associado como um elicitador na resistência induzida em vegetais sob condições de estresse abiótico, como o salino, intoxicação por metais pesados ou o estresse hídrico. O acúmulo de Si nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica causando sutil diminuição na abertura dos estômatos, reduzindo a transpiração foliar, o que limita a perda de água sem influenciar no seu crescimento (FARIA 2000, OLIVEIRA & CASTRO 2002). Além disso, a adição de fontes exógenas de



Si nas plantas garante a integridade e estabilidade da membrana celular que geralmente é modificada pela condição de estresse seja ele biótico ou abiótico (ZUCCARINI, 2008).

A espécie *Zea mays* possui grande potencial de externar respostas favoráveis após aplicação de fontes exógenas de Si pelo fato de ser classificada, segundo Takahashi *et al.* (1990), como acumuladora desse elemento. Mesmo demonstrando alta adaptabilidade ao Si, os efeitos benéficos desse elemento em plantas de milho no cenário agrícola brasileiro ainda são negligenciados, provavelmente pelo fato dos solos brasileiros, especialmente aqueles situados no bioma Cerrado, serem pobres em Si solúvel acessível pelas plantas (KORNDÖRFER *et al.* 2004). Dessa forma, o uso de fertilizantes na cultura do milho doce, via solo ou foliar, com fontes exógenas de Si possui grande potencial no sentido de induzir certo grau de resistência contra o estresse hídrico. O silicato de potássio  $K_2SiO_3$  solúvel em água é uma das fontes de Si mais comercializadas atualmente e pode ser prontamente utilizado diretamente como fertilizante foliar, na fertirrigação ou cultivo hidropônico.

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho testar a hipótese de que o silicato de potássio, aplicado sob pulverização foliar em plantas de milho doce (híbrido Tropical Plus<sup>®</sup>) é capaz de conferir tolerância a essa planta contra os efeitos do déficit hídrico no crescimento da planta.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Cultura do milho doce

O milho doce (*Zea mays* L. grupo *saccharata*) é uma planta monocotiledônea, herbácea, pertencente à família das Poaceae ou Gramínea, tribu Maydeae, do gênero *Zea* (MAGALHÃES *et al.* 2002). Originário da América, provavelmente da região onde se situa o México, foi domesticado entre 7.000 – 10.000 anos atrás. O homem herdou cerca de 300 raças de milho, caracterizadas pelas mais diferentes adaptações, tanto para condições climáticas, como para usos do cereal (KWIATKOWSKI & CLEMENTE 2007).

De acordo com Bordallo *et al.* (2005) os Estados Unidos e Canadá são países onde o milho doce é consumido preferencialmente *in natura*. A área mundial cultivada é de 900 mil hectares. No Brasil cultivam-se 36 mil hectares, e praticamente 100% da produção é destinada ao processamento industrial (enlatados e congelados), sendo 90% da área plantada concentrada no estado de Goiás pela possibilidade de cultivo o ano todo. A produtividade média de 13 t/ha, 28% menos que o alcançado por países de clima temperado (BARBIERI *et al.* 2005). A produção de milhos especiais vem ganhando espaço entre os produtores brasileiros, a exemplo do milho doce, pelo fato de apresentarem preços diferenciados em relação ao milho comum (SOUZA *et al.* 2014). Contudo, o país possui grande potencial para a produção de milho doce para o mercado de exportação europeu e norte americano (BORDALLO *et al.* 2005), especialmente com o desenvolvimento e disponibilidade de novos materiais adaptados ao país (GRIGULO *et al.* 2011). Além disso, o caráter doce de seu endosperma pode atribuir cotações diferenciadas no mercado caracterizando uma alternativa agrônômica rentável (ARAÚJO *et al.* 2006).

O milho-doce, utilizado *in natura* para processamento, difere do milho comum não por características taxonômicas, mas pelo alto teor de açúcares e baixo teor de amido, ambos resultantes da ação de genes recessivos individuais ou associados em combinações duplas

ou triplas (SILVA, 1994). Segundo Barbieri *et al.* (2005) a principal diferença entre o milho convencional e o milho doce é a presença de alelos mutantes que bloqueiam a conversão de açúcares em amido no endosperma, conferindo caráter doce. O milho doce pode ser destacado pela maior palatabilidade, sendo potencial para o cultivo como espécie hortícola, acreditando-se que, em pouco tempo, esta cultura possa tornar-se importante fonte de renda no Brasil (KWIATKOWSKI & CLEMENTE 2007). Pode ser comercializado em conserva ou enlatado (processamento industrial), desidratado ou consumido *in natura*, congelado na forma de espigas ou grãos, como baby corn ou minimilho se colhido antes da polinização (SOUZA *et al.* 1990).



Figura 1: Planta de milho doce. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2015)

A botânica e a reprodução do milho doce são idênticas as do milho comum (ARAGÃO 2002). A cultura do milho doce, normalmente é anual. A propagação é feita por sementes e o plantio é feito diretamente no campo. A planta possui em média de 1,30 a 2,50 m de altura, colmo ereto, cilíndrico, fibroso, separado em porções por gomos, e, geralmente, recoberto por uma parte da folha, denominada bainha. As folhas são de tamanho médio a grande, cor verde-escuro a verde-claro, flexíveis e tem nervura central branca, lisa e bem visível. A planta produz flor masculina (flecha ou pendão) na sua parte mais alta, onde produz os grãos de pólen e a flor feminina (espiga) à meia altura. Cada fio (cabelo) que sai

da espiga é responsável pela produção de um grão, depois de fecundada. O milho doce produz bem em épocas do ano com média a alta temperatura e boa disponibilidade de água no solo durante todo o ciclo da planta. A colheita de espigas é feita, quando os grãos estão em estado leitoso.

Os grãos maduros e secos ficam totalmente enrugados, pelo seu baixo teor de amido na sua composição (PAIVA *et al.* 1992). A doçura do milho doce é um caráter recessivo e os genes mutantes mais conhecidos são o sugary (su), shrunken (sh) e brittle (bt) (LEMOS *et al.* 2002 ARAUJO *et al.* 2006a).

Por ocasião do período de florescimento e maturação, temperaturas médias diárias superiores a 26°C podem promover a aceleração dessas fases, da mesma forma que temperaturas inferiores a 15,5°C podem prontamente retardá-las (FANCELLI & DOURADO NETO 2000). De acordo com Cruz *et al.* (2010) a temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C.

## 2.2. Necessidade hídrica da cultura do milho

A disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades da cultura do milho que é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm. O efeito da falta de água, associado com a produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, que está intimamente relacionado à fotossíntese (MORAES, 2009).

Vários autores destacam que, as oscilações nas safras de milho, das principais regiões produtoras do Brasil, estão associadas com a disponibilidade de água (BERGONCI *et al.* 2001 & BERGAMASCHI *et al.* 2004). Pegorare *et al.* (2009) avaliando diferentes lâminas de irrigação em milho safrinha, verificaram que houve incremento na produtividade com maiores lâminas de água, mantendo a tensão de água no solo em torno de 5 kPa, e que

o acúmulo de massa seca dos componentes de produção foi linear com as lâminas de irrigação aplicadas.

De acordo com Doorenbos & Kassan (1994), para alta produção o milho de ciclo médio requer de 500 a 800 mm de água, dependendo do clima, Fancelli (1991) descreve a exigência mínima de 300 a 350 mm de água para atingir produção satisfatória sem uso de irrigação, porém, essa quantidade deve ser bem distribuída durante o ciclo da cultura. Outros autores como Matzenauer *et al.* (1983) citam que o consumo hídrico da cultura, depende da população de plantas. Com 67 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , um híbrido precoce de milho necessita em média de 650 mm de água em todo o ciclo. No entanto, numa população de 50 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , a necessidade média é de 577 mm para todo o ciclo do milho, na mesma região. O que demonstra a necessidade de planejamento adequado de práticas de manejo para adequar as populações de plantas com as reais condições pedoclimáticas, a fim de reduzir os riscos causados pela deficiência hídrica.

Souza *et al.* (2011) analisando o rendimento do milho nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado em região semiárida do Nordeste brasileiro, observou-se que a lâmina de irrigação correspondente a 125% da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) gerou valores de produtividade de 3.860,0  $\text{kg ha}^{-1}$  e de 3.476,67  $\text{kg ha}^{-1}$  para as lâminas totais de 499,1 mm e 558,3 mm nos sistemas de plantios exclusivo e consorciado, respectivamente. Almeida (2012) trabalhando com o milho híbrido variedade AG1051 na região de Mossoró verificou consumo médio por fase de desenvolvimento de 0,8; 3,1; 5,9 e 6,2  $\text{mm dia}^{-1}$  no lisímetro um e 1,4; 3,2; 5,4 e 5,1  $\text{mm dia}^{-1}$  no lisímetro dois, cultivados no período de maio a agosto. Com a mesma variedade e na mesma localidade cultivando no período de novembro a fevereiro obteve valor total de consumo de água de 269,39 mm. Souza *et al.* (2012) estudando a cultivar Eldorado em clima tropical verificou que o ciclo da cultura no sistema de monocultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394,1 mm e média de 3,46  $\text{mm dia}^{-1}$ .

Alguns autores têm estudado a cultura do milho em condições de déficit hídrico, como Wu *et al.* (2011) que estudaram o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica, observando redução na formação de fitomassa e na transpiração, quando a umidade nos vasos foi inferior a 90%. A produção potencial de uma cultura é determinada pelo número de grãos que podem ser formados. O déficit hídrico afeta este número por motivo da infertilidade e do aborto floral e zigótico (Westgate & Boyer 1986). Gordon *et al.* (1995) observaram que a eficiência da irrigação depende da etapa fenológica em que é efetuada; maior eficiência é obtida quando a irrigação é aplicada na fase

do pendoamento, Bergamaschi *et al.* (2004) constataram que pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos. Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, podendo garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos.

Trabalhos desenvolvidos por Bergamaschi *et al.* (2006) comparou que na média de dez anos, a irrigação máxima proporcionou aumento próximo a 70% no rendimento de grãos de milho, em relação à cultura não irrigada. A irrigação intermediária, com dose de rega média próxima a 60% da irrigação completa, aumentou o rendimento em quase 50%. Bergonci *et al.* (2006) e Bergamaschi *et al.* (2004) constataram que uma dose intermediária de irrigação, a partir de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados de milho.

A produtividade do milho irrigado pode ser superior de 30 a 40% em relação à área de sequeiro; nesta situação, a cultura do milho irrigado pode ser uma opção bastante interessante principalmente na entre safra (BORGES, 2003). À medida que se desenvolvem estratégias de irrigação, torna-se importante conhecer o efeito da deficiência hídrica nos estágios de desenvolvimento das plantas (ALMEIDA, 2016).

Estudos de tolerância ao déficit hídrico envolvendo o milho podem trazer melhorias no crescimento e no rendimento da cultura em regiões com limitações hídricas (LI *et al.* 2009). Desta forma, ressalta-se que a água é um recurso cada vez mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal e daí a necessidade de técnicas que permitam aumentar a produtividade das culturas a cada unidade de volume de água aplicada (SANTOS, 2012).

### 2.3. Silício como provedor de resistência ao estresse hídrico

Embora o silício (Si) não seja considerado um elemento essencial para a maioria das plantas, os benefícios da fertilização silicatada têm sido estudados em diversas espécies cultivadas (RICHMOND & SUSSMAN 2003, EPSTEIN & BLOOM 2006; MA & YAMAJI 2008, CANTUÁRIO 2012) por promover melhor crescimento em plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (REIS *et al.* 2007, RODRIGUES, 2008).

Os efeitos benéficos do Si, relatados por Korndörfer *et al.* (2002) podem ser divididos em dois grupos: físico e fisiológico. Os benefícios físicos estão relacionados ao acúmulo do Si na parede celular das plantas, reduzindo a perda de água, melhorando a arquitetura das plantas e barreira física a penetração de fitopatógenos e insetos (BOWEN *et al.* 1992, SAMUELS *et al.* 1993, EPSTEIN 1994, MARSCHNER 1995, DATNOFF *et al.* 1997, POZZA & POZZA 2003, SANTOS 2005). Segundo Ma & Yamaji (2006) a maioria dos efeitos benéficos do Si em reduzir o estresse hídrico é atribuída à deposição de Si na parede celular de raízes, folhas e colmos.

As plantas acumulam silício em seus tecidos, com teores de 0,1 a 10 dag/kg de matéria seca (LIANG *et al.* 2006). O Si é um elemento que confere às plantas maior resistência aos estresses bióticos e abióticos (GOTO *et al.* 2003, HATTORI *et al.* 2005, ROMERO-ARANDA *et al.* 2006, CÔTÉ-BEAULIEU *et al.* 2009, SAVVAS *et al.* 2009, HASHEMI *et al.* 2010) e por isso classificado como benéfico. Alguns efeitos benéficos do Si incluem a redução do efeito do estresse hídrico (EPSTEIN, 1994). Especificamente com relação à deficiência hídrica, o efeito benéfico do Si tem sido associado ao aumento da capacidade de defesa antioxidante (GUNES *et al.* 2008), e manutenção da taxa fotossintética e da condutância estomática da planta (HATTORI *et al.* 2005), em virtude da redução da transpiração atribuídos à camada de sílica que se acumula abaixo da cutícula (EPSTEIN, 1999; MA & YAMAJI 2006).

Para Korndörfer *et al.* (2003) a acumulação de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de silício, reduzindo a transpiração, concordando assim com Faria (2000) ao afirmar que quanto maior o teor de Si na planta, maior a capacidade desta em tolerar a falta de água.

Zanão Júnior (2011) verificou ainda a capacidade de reduzir a taxa de transpiração, o aumento da taxa de fotossíntese líquida e da condutância estomática em resposta às doses de Si.

Para Prates (2010) os efeitos da acumulação de Si nas células da epiderme são mais evidentes em gramíneas, e pode-se observar que as folhas se mantêm mais eretas e, dessa forma, proporcionam maior penetração de luz e redução da transpiração, diminuindo ou até evitando que a planta passe por estresse hídrico e ainda aumentam a resistência ao acamamento, pois proporcionam maior força mecânica ao colmo. Estudos realizados por Gao (2004) em milhos submetidos à deficiência hídrica e adubação silicatada, apresentaram

maior eficiência do uso da água, menor transpiração, e maior resistência estomática. Esses resultados se devem ao aumento da resistência cuticular estomática ocasionado pela diminuição da transpiração.

Alvarez (2004) avaliando a produção de arroz em condições de estresse hídrico com aplicação de silício no sulco de semeadura, não constatou diferenças nos componentes da produção e na produtividade de grãos. Melo *et al.* (2003) estudando capins do gênero *Brachiaria* e doses de silício sob diferentes níveis de água no solo (60 e 80 % da capacidade de campo (C.C.)), observaram que a aplicação de silício aumentou os teores do elemento nas plantas, contudo não houve a tolerância dos capins ao déficit hídrico e não afetou a produção de matéria seca.

#### 2.4. Utilização de silicatos solúveis foliar

As aplicações foliares de fontes de silicato solúveis têm sido foco de várias pesquisas pela sua praticidade e possibilidade de utilização de doses menores e também como adaptável ao equipamento normalmente utilizado pelos produtores. Os silicatos solúveis são fontes obtidas da fusão da sílica ( $\text{SiO}_2$ ) com hidróxidos ou carbonatos de sódio ou potássio em fornos pressurizados. Desse modo são obtidas as principais fontes de silicatos solúveis que são os silicatos de sódio e potássio. No entanto, a partir do Decreto-Lei nº 4.945, que regulamenta a Lei nº 6.894 de 16/01/1980, aprovada em 14/01/2004, apenas a comercialização e a utilização da fonte solúvel silicato de potássio na agricultura foram regulamentadas (REIS *et al.* 2007).

O uso do Si solúvel, na forma de silicato de potássio ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ), tem gerado resultados satisfatórios quanto ao aumento na produção vegetal em soja, milho, batata, café e morango (RODRIGUES *et al.* 2007a , RODRIGUES *et al.* 2007b , MERRIGHI *et al.* 2007, LUZ *et al.* 2010) não apenas por diminuir a transpiração foliar, mas também por aumentar a eficiência no uso de nutrientes imóveis como o cálcio, ferro, zinco, manganês e cobre o que propicia, inclusive, maior resistência ao ataque de pragas e doenças (RODRIGUES *et al.*, 2007b) esses resultados são bastante promissores, mesmo em culturas que não são acumuladoras desse elemento.

Pequenas diferenças no conteúdo de Si das folhas são difíceis de serem detectadas. Em contrapartida, as doses aplicadas de Si via foliar são extremamente baixas se comparadas



às aplicações via solo, isso torna mais difícil conseguir detectar diferenças entre tratamentos ao utilizar a análise foliar. Haja vista que mesmo com pequenas variações no teor de Si nas folhas, ou seja, o incremento irrisório de Si foliar.

Porém, a interação do silício com a cultura do milho doce e sua eficácia, ou não, em atenuar os efeitos negativos do estresse hídrico ainda são incipientes havendo a necessidade de mais estudos.

## 2.5 Referências bibliográficas

ALDRICH, S. R., W. O. Scott & R.E. Leng. Modern corn production 2.ed. Champaign: A & L Publication. 1982. 371p.

ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 80f. 2012.

ALMEIDA, B. M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura - Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo, Piracicaba, 124f. 2016.

ALVAREZ, A. C. C. **Produção do arroz em função da adubação com silício e nitrogênio no sistema de sequeiro irrigado por aspersão**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2004.

ARAGÃO, C. A. **Avaliação de híbridos simples braquíticos de milho super doce (*Zea mays*) portadores do gene *shrunken (sh2sh2)* utilizando esquema dialélico parcial**. Tese (Doutorado) – UNESP, Botucatu, 101f. 2002.

ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R. F. Maturação de sementes de milho-doce – grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 28, p. 69-76, 2006.

BARBIERI, V. H. B.; LUZ, J. M. Q.; BRITO, C. H.; DUARTE, J. M.; GOMES, L. S.; SANTANA, D. G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. **Horticultura Brasileira**. v. 23, p. 826-830, 2005.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A.; PEREIRA, P. G.

Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 243-249, 2006.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.949-956, 2001.

BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GABRIEL, A.P.C. Análise dialéctica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n.1, p.123-127, 2005.

BORGES, I. D. **Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de nitrogênio e de espaçamento entre fileiras na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 73f. 2003.

BOWEN, P.; MENEZIES, J. G.; EHRET, D. L. Solute silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal American Society Horticultural Science**. v. 117, p. 906-912, 1992.

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience journal**, Uberlândia. v. 29, p. 1244-1254, 2013.

CANTUÁRIO, F.S. **Produção de pimentão submetido a estresse hídrico e silicato de potássio em cultivo protegido**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 93f. 2012.

CÔTÉ-BEAULIEU, C.; CHAIN, F.; MEINZIES, J. G.; KINRADE, S. D.; BÉLANGER, R. R. Absorption of aqueous inorganic and organic silicon compounds by wheat and their effect on growth and powdery mildew control. **Environmental and Experimental Botany**. v. 65, p. 155-16, 2009.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, G. M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; FILHO, M. R. A. **Cultivo do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção, 6ª ed., 2010.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Journal Crop Protection**. v. 16, p. 525-531, 1997.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, Paraíba, p. 306, 1994.

DOTO, V. C.; HAMMA, Y.; DIAL, N.; RABAH, L.; EULOGE, K. A. Mitigation effect of dry spells in Sahelian rainfed agriculture: Case study of supplemental irrigation in Burkina Faso. **African Journal of Agricultural Research**. v. 10, p. 1863-1873, 2015.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington. v. 91, p. 11-17, 1994.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, J. A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina – PR. Editora Planta, p. 403, 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba - RS, Ed. Agropecuária, p. 360, 2000.

FANCELLI, A. L. **Milho e feijão: Elementos de manejo em agricultura irrigada**. Fertilização: Algumas considerações. Piracicaba – SP, ESALQ, p. 156-167, 1991.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de solos, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 125f. 2000.

GAO, X. Silicon improves water use efficiency in Maize plant. **Journal of Plant Nutrition**. v. 27, p. 1457-1470, 2004.

GORDON, W. B.; RANEY, R. J.; STONE, L. R. Irrigation management practices for corn production in north central Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 50, p. 395-398, 1995.

GOTO, M.; EHARA, H.; KARITA, S.; TAKABE, K.; OGAWA, N.; YAMADA, Y.; OGAWA, S.; YAHAYA, M. S.; MORITA, O. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop. **Plant Science**. v. 164, p. 349-356, 2003.

GRIGULO, A. S. M.; AZEVEDO, V. H.; KRAUSE, W.; AZEVEDO, P. H. Avaliação do desempenho de genótipos de milho para consumo in natura em Tangará da Serra, MT, Brasil. **Bioscience Journal**. v. 27, p. 603-608, 2011.

GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; NAKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York. v. 39, p. 1885-1903, 2008.

HAMDY, A.; RAGAB, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA, E. Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. **Irrigation and Drainage**. v. 52, p. 3-20, 2003.

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

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

HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; TSUJI, H.; ARAKI, H.; ENEJI, A. E.; MORITA, S. Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. **Environmental and Experimental Botany**. v. 60, p. 177-182, 2007.

HEINEMANN, A. B.; ANDRADE, C. L. T.; GOMIDE, R. L.; AMORIM, A. O.; PAZ, R. L. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. v. 33, p. 1026-1033, 2009.

HENCKEL, P. A. Physiology of plants under drought. **Annual Review of Plant Physiology**. v. 15, p. 363-86, 1964.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. A aplicação de silício no solo. Universidade Federal de Uberlândia, **I.C.A.**, 2003. (Boletim Técnico).

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L.A. Silício na Agricultura. **Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura**. Viçosa – MG. p. 3, 2010.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e magnésio na agricultura. **UFU/ICIAG**, p. 23, 2002. (Boletim Técnico)

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. **UFU/ICIAG**, 2004. (Boletim Técnico).

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays*) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 1, p. 93-103, 2007.

LEMONS, M. A.; GAMA, E. E. G.; MENEZES, D.; SANTOS, V. F.; TABOSA, J. N.; MORAIS, M. S. L. Emergência em campo de híbridos simples de milho superdoce de um cruzamento dialélico. **Horticultura Brasileira**, Brasília – DF. v. 20, p. 158-162, 2002.

LIANG, Y.; HUA, H.; ZHU, Y.; CHENG, C.; ROMHELD, V. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. **New Phytologist**. v. 172, p. 63-72, 2006.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford. v. 66, p. 341-346, 2009.

LI, W.; PENGFEI, Z.; JIANGSHENG, Y.; LAIFANG, L.; BAKER, P. A. Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. **Journal of Plant Ecology**. v. 4, p. 91-99, 2011.

LUZ, J. M. Q.; RODRIGUES, R. R.; CARVALHO, P.C.; CANTUÁRIO, F. S.; SOUSA, V. B. F. Aplicação de silicato de potássio via foliar em morangueiro: produtividade e qualidade. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 50. Anais. Guarapari: ABH. 2010.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS, p. 23, 2002.

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

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

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Santa Maria, RS. v. 18, p. 1207-1214, 1983.

MELO, S.P. Silicon accumulation and water deficit tolerance in brachiaria grasses. **Scientia Agrícola**. v. 60, 755-759, 2003.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria. v. 117, p. 902-905, 1992.

MERRIGHI, A. L. N.; FERNANDES, A. L. T.; FIGUEIREDO, F. C. Novas pesquisas reforçam os efeitos do silício líquido solúvel aplicado via foliar em cafeeiros. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia - MG, ano 4, n. 56, p. 25-27. 2007.

MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification of Maize Silicon Influx Transporters. **Plant Cell Physiology**. v. 50, p. 5-12, 2009.

MORAES, A. R. A. Instituto Agrônomo de Campinas-Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, 2009.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. *In* NOGUEIRA, R. J. M. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas, Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 22-31p.2005

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N.M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**. v. 4, p.1-16, 2002.

PAIVA, E.; VASCONCELOS, M. J.; PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R. Seleção de progênies de milho doce de alto valor nutritivo com auxílio de técnicas eletroforéticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 27, p. 1213-1218, 1992.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho "safrinha" sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2009.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doença de plantas com macro e micronutrientes, **Revista Brasileira de Fitopatologia**. v. 28, p. 52-54, 2003.

PRATES, F. B. S. **Crescimento, Desenvolvimento e Nutrição de Pinhão Manso Adubado com Lodo de Esgoto e Silicato de Cálcio e Magnésio**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) UFMG - Montes Claros, p. 93, 2010.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. O silício na nutrição e defesa de plantas. **EPAMIG**, nº 82, p. 119, 2007. (Boletim Técnico)

RICHMOND, K. E.; SUSSMAN, M. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology**. v. 6, p. 268-272, 2003.

RIBEIRO, R.V.; SILVA, L.; RAMOS, R. A.; ANDRADE, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; PEREIRA, S. P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 35, p. 939-948, 2011.

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aumento de qualidade e produção com aplicação de silício solúvel. **Revista Campo e negócios HF**. v. 24, p. 34-40, 2007.

RODRIGUES, C. R.; RODRIGUES, T. M.; FIGUEIREDO, F. C. Aplicação de silício líquido solúvel via foliar em batata: Aumento de 5 toneladas/ha de batata extra. **Revista Campo e Negócios HF**. v. 10, p. 66-70, 2007.

RODRIGUES, F. A. Relação entre doenças e a nutrição das plantas: O caso elemento silício In: Prado, R.M., D.E. Rozane, D.W. Vale, M.A.R. Correia & H.A. Souza. 2008. Nutrição de plantas: Diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: FCAV/Capes/Fundunesp, 301p.2008

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, p. 847-855, 2006.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. The effect of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. **Annals of Botany**, London. v. 72, p. 433-440, 1993.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JUNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 16, p. 836-842, 2012.

SANTOS, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília- DF, v. 30, p. 582-588, 2005.

SANTOS, M. X.; ANDRANDE, C. L. T.; OLIVEIRA, A. C.; LEITE, C. E. P.; CARVALHO, H. W. L.; GAMA, E. E. G.; PACHECO, C. A. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N. Comportamento de híbridos de milho selecionados e não selecionados para ASI sob estresse de água no florescimento e enchimento de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas. v. 2, p. 71-81, 2003.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, v. 2, p. 287-294, 1998.

SILVA, N. Melhoramento de milho doce. *In*: Encontro sobre temas de genética e melhoramento, Piracicaba. **Anais...** v. 11, p. 45-49, 1994.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 7, p. 142-149, 2012.

SOUZA, I. R. P.; MAIA, A. H. N.; ANDRADE, C. L. T. **Introdução e avaliação de milho doce na região do baixo Parnaíba**. Teresina: EMBRAPA-CNPA. p.7, 1990.

SOUZA, M. W. L.; CUNHA, R. C.; COSTA, P. A. A.; MOURA, I. N. B. M.; BEZERRA, F. M. S.; LIMA, L. A.; PEREIRA, L. A. F.; OLIVEIRA, F. A. Desenvolvimento inicial de milho doce e milho pipoca sob estresse salino. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, Paraíba. v. 10, p. 65-72, 2014.

SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças**. Brasília DF. Embrapa Informação Tecnológica, p. 721-736, 2011.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**. v. 2, p. 99-122, 1990.

WESTGATE, M. E.; BOYER, J. S. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. **Crop Science**. v. 26, p. 951-956, 1986.

WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D. N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, p. 65-71, 2011.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Produção de girassol ornamental e rosas em vasos por influência da fertilização silicatada**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas) – UFV, Viçosa - MG. 2011.

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

## 3. OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo geral

Testar a hipótese de que o silicato de potássio, em plantas de milho-doce, é capaz de conferir tolerância a essa planta contra os efeitos do déficit hídrico sem perdas de qualidade do grão.

### 3.2 Objetivo específicos

Analisar a eficiência da adubação silicatada no crescimento/desenvolvimento, produtividade e a qualidade do milho doce sob condições de déficit hídrico.

Definir a melhor dosagem de adubação silicatada, para cultura do milho doce.

Avaliar o efeito do manejo da irrigação por tensiometria junto à adubação silicatada.



## CAPÍTULO I

### PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL EM PARCELAS SUBDIVIDIDAS E CONSTRUÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO

(Normas de acordo com o Informe Goiano)

#### 4. 1 Importância e relevância

O planejamento de um experimento é um fator determinante para o sucesso e/ou insucesso da pesquisa. Por isso, o pesquisador deve definir com rigor o local de estudo, os equipamentos, e principalmente, os tratamentos, as repetições e as unidades experimentais, de modo, a minimizar o efeito de erros experimentais.

Segundo Pereira *et al.* (2016) o erro experimental pode ser definido como variações aleatórias, ou seja, variações existentes nas observações (leituras, medidas e avaliações) das unidades experimentais que recebem o mesmo tratamento. Essas variações são resultado de fatores não controlados ou que não puderam ser controlados por algum motivo (queda de energia, chuva intensa ou escassa, alterações na temperatura, deficiência nutricional e hídrica em detrimento ao entupimento do emissor etc). Carpes *et al.* (2008) salienta que esses fatores são fontes de variabilidade e que os mesmos devem ser minimizados durante a condução do experimento, e assim, diminuir o erro experimental.

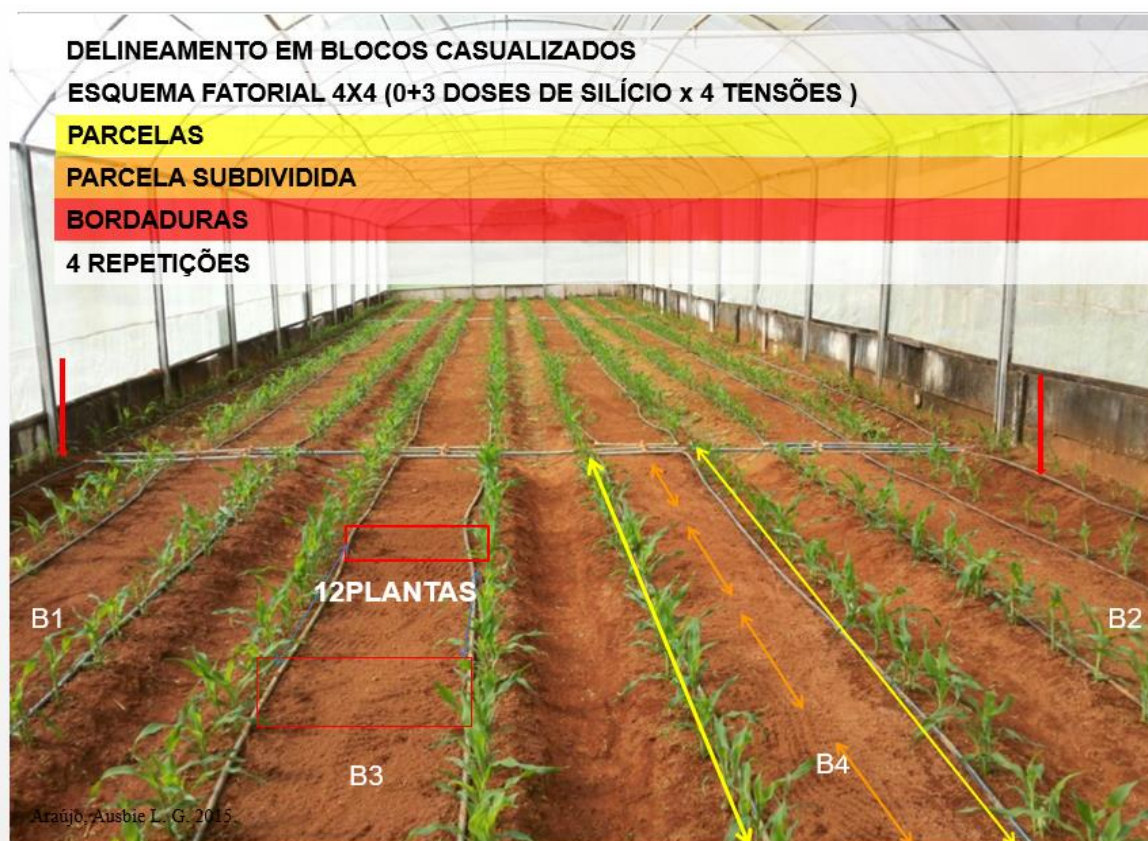
Neste sentido, para reduzir os erros experimentais, e também melhorar o desempenho agrônomo das culturas é interessante que o pesquisador utilize ambientes protegidos. Estudos realizados por Santi *et al.* (2013); Júnior (2017) e Araújo *et al.* (2019) constataram que ambientes protegidos reduzem erros experimentais, e assim, apresentam resultados coerentes com a realidade.

Para que as culturas, dentre elas, o milho doce possa desenvolver-se e atingir produção significativa, é fundamental que ocorra a disponibilidade hídrica, seja ela, por meio da chuva ou sistemas de irrigação. Entretanto, nos últimos anos a escassez da chuva, dos recursos naturais, sistemas de irrigação mau dimensionados e o manejo da irrigação sem critério e/ou não utilizado pelos irrigantes (URBANO, 2013; GUIMARÃES *et al.*, 2019) tem contribuído para a deficiência hídrica, além de comprometer a produtividade, evidenciando a necessidade de se realizarem experimentos em ambiente controlado que permitam avaliar um experimento fatorial cruzado.

#### **4.2 Ambientes protegidos no controle do erro experimental**

Em termos de pesquisa, Guimarães *et al.* (2019) menciona a importância de se utilizar ambientes protegidos, uma vez que esses ambientes possibilitam o melhor controle das condições experimentais, como: controle de pragas e doenças, diminui a influência dos intemperes climáticos (geada, granizo), promove a precocidade na colheita e o mais importante, aumento na produção (HASSANIEN *et al.*, 2016; FAN *et al.*, 2018).

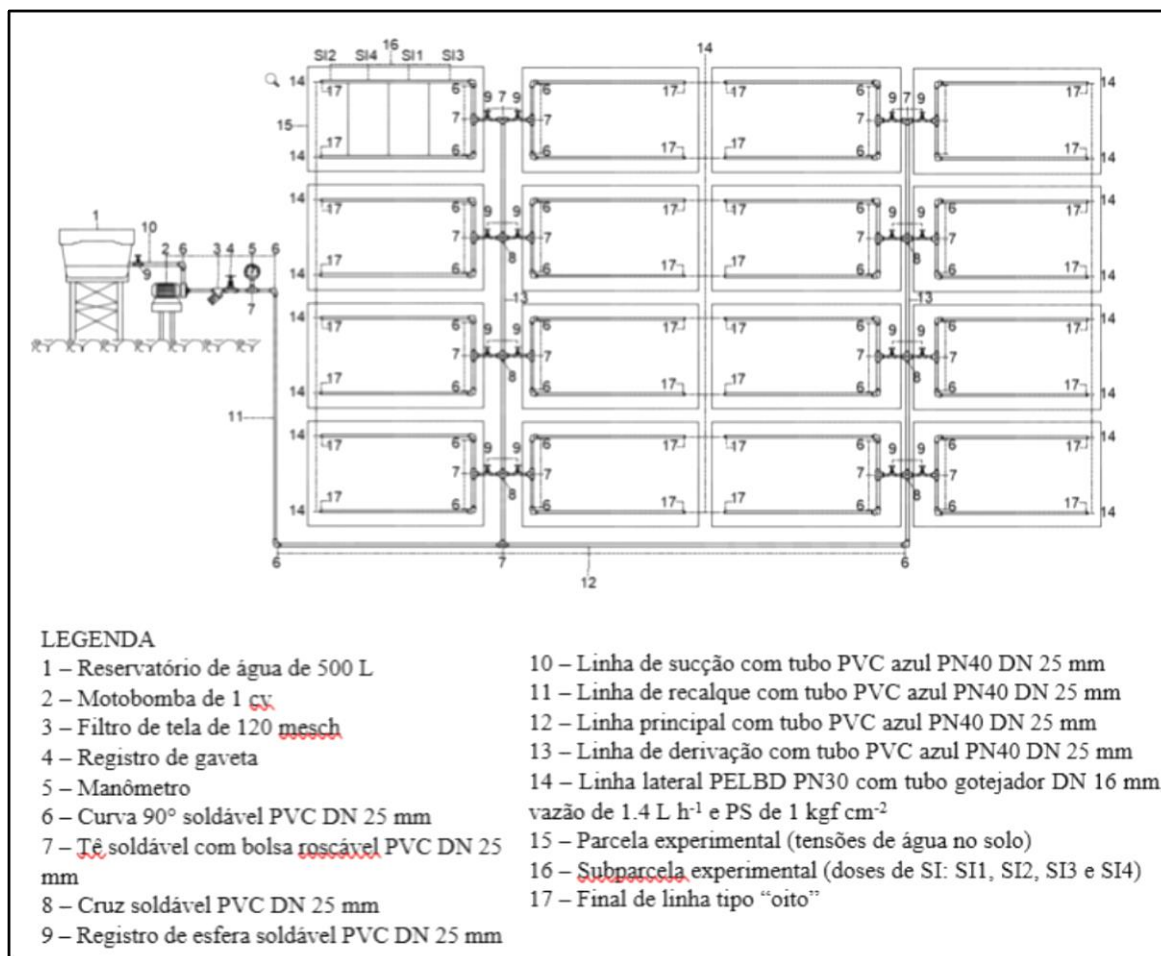
Outro aspecto bastante relevante que deve ser considerado pelo pesquisador é o delineamento experimental. Um delineamento experimental pode ser descrito como a distribuição dos tratamentos na área experimental, de modo, que não ocorra influência de algum fator interno ou externo, como por exemplo, sombreamento, gotejadores entupidos, perfurações na estrutura do ambiente protegido etc., sob os tratamentos. Dentre os diversos delineamentos experimentais específicos para experimentos fatoriais, destaca-se o delineamento em parcelas subdivididas (PEREIRA *et al.*, 2019). Nesse delineamento, utiliza-se parcelas (fator primário) e subparcelas (fator secundário), sendo que as subparcelas, o fator estudado é dado como o mais importante. Por exemplo, uso de diferentes tensões de água no solo (parcela) e doses de silício via foliar (subparcelas) para minimizar o efeito da deficiência hídrica da cultura do milho (Figura 1).



**Figura 1.** Delineamento experimental com parcelas subdivididas com diferentes tensões de água no solo e doses de silicato de potássio via foliar. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2015).

O planejamento dessa estrutura, permitirá aos interessados, a reprodução para instalação em estrutura protegida e, além disso, dimensionar o ambiente protegido em função de diferentes lâminas de irrigação e doses de adubos. Permitindo ao experimentador ampliar a possibilidade de implantação experimental ao longo do ano. Além de ter excelente controle do erro ambiental, o sistema permite a realização de experimentos implantados no delineamento inteiramente ao acaso e em blocos ao acaso ou, sob estes delineamentos, permite-se a instalação de experimentos de um ou dois fatores, que poderão ser atribuídos as parcelas e subparcelas conforme mencionado.

Com base no exemplo citado, é importante que o pesquisador projete um sistema de irrigação com eficiência, garantindo excelente controle do erro experimental. Para instalação e utilização desse sistema protegido recomenda-se aquisição dos materiais listados na Figura 2. Além disso, é possível verificar na planta baixa, o emprego de um experimento em parcelas subdivididas em exemplo utilizado por Araújo *et al.* (2019) em que foi avaliado lâminas de irrigação combinadas com diferentes doses de silício.



**Figura 2.** Layout de um sistema de irrigação localizada por gotejamento em ambiente protegido com suas respectivas peças e componentes. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2019).

É importante destacar que antes de adquirir ou instalar um sistema de irrigação o pesquisador deve assegurar-se que no local (ambiente protegido) disponha de uma fonte de captação de água, com sistema de bombeamento (Figura 3A). Além disso, deve-se atentar para a sistematização da área (preparo dos canteiros, por exemplo) (Figura 3B) e se a mesma atenderá a execução da pesquisa (área útil), análise da textura do solo e fertilidade do solo, condutividade hidráulica do solo, curva de retenção de água no solo (manejo da irrigação).





**Figura 3.** (A) Sistema de bombeamento e (B) Canteiros levantados e nivelados. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2015).

Em seguida, o pesquisador deve realizar o dimensionamento do sistema hidráulico. Partindo primeiramente para os cálculos de perda de carga das tubulações (linha lateral, linha de derivação, linha principal, linha de recalque, linha de sucção), diâmetro das tubulações, perdas localizadas, sistema de filtragem, potência da bomba e os cálculos de manejo da água de irrigação (tensiometria), por fim, quantificar as peças e equipamentos necessários ao sistema (Quadro 1). Após a realização dos cálculos o sistema de irrigação juntamente com o sistema de manejo, por exemplo, via tensiometria (Figura 4) podem ser instalados e executado na área, ou seja, ambiente protegido (Figura 5).



**Figura 4.** Instalação dos tensiômetros em diferentes profundidades para a realização do manejo da irrigação. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2015).



**Figura 5.** (A) Sistema de irrigação localizada por gotejamento instalado e operando na área experimental e (B) detalhe do controle das parcelas. Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2015).

**Quadro 1.** Lista de materiais de um sistema de irrigação localizada por gotejamento em ambiente protegido.

Peças e componentes do sistema de irrigação	Quantidade
Reservatório de água de polietileno de 500 L	1
Motobomba centrífuga de 1 cv de potência	1
Filtro de tela de 120 mesh	1
Registro de gaveta	1
Manômetro	1
Curva 90° soldável PVC DN 25 mm	36
Tê soldável com bolsa roscável PVC DN 25 mm	20
Cruz soldável PVC DN 25 mm	6
Registro de esfera soldável PVC DN 25 mm	17
Linha de sucção com tubo PVC azul PN40 DN 25 mm (em metros)	2
Linha de recalque com tubo PVC azul PN40 DN 25 mm (em metros)	5
Linha principal com tubo PVC azul PN40 DN 25 mm (em metros)	22
Linha de derivação com tubo PVC azul PN40 DN 25 mm (em metros)	16
Linha lateral PELBD PN30 com tubo gotejador DN 16 mm, vazão de 1.4 L h <sup>-1</sup> e PS de 1 kgf cm <sup>-2</sup> (em metros)	240
Final de linha tipo “oito	32

Fonte: ARAÚJO, A. L. G. (2019).

### 4.3 Considerações finais

O planejamento experimental, bem como a estrutura utilizada neste trabalho será importante para a obtenção de resultados homogêneos, uma vez, que o experimentador poderá reproduzir e dimensionar experimentos envolvendo lâminas de irrigação e doses de adubação para diversas culturas.

Além de otimizar o espaço do ambiente protegido, utilização de diferentes delineamentos experimentais, mais de um fator (parcela subdividida) e redução do erro experimental.

### 4.4 Referências bibliográficas

ARAÚJO, A. L. G.; ALMEIDA, A. M.; GUIMARÃES, J. J.; CANTUÁRIO, F. S.; SALOMÃO, L. C.; CURVÊLO, C. R. S.; NETO, A. R.; LUZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. I. A. Potassium Silicate, Against Water Stress, in Sweet Corn Plant Growth Traits. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n.5, p. 172-182, 2019. DOI: doi:10.5539/jas.v11n5p172

BOWEN, P.; MENEZIES, J.; EHRET, D.; SAMUELS, L. Solute silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 117, n. 6, p. 906-912, 1992.

CARPES, R. H.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; ZANARDO, B.; PALUDO, A. L. Ausência de frutos colhidos e suas interferências nas estimativas da fitomassa de frutos de abobrinha italiana cultivada em diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 590-595, 2008.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, v. 16, n.6, p. 525-531, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00033-1)

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994. DOI: 10.1073/pnas.91.1.11

FAN, J.; CHEN, B.; WU, L.; ZHANG, F.; LU, X.; XIANG, Y. Evaluation and development of temperature-based empirical models for estimating daily global solar radiation in humid regions. **Energy**, v. 144, n. 1, p. 903-914, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.091>

GUIMARÃES, J. J.; ALMEIDA, A. M.; PEREIRA, A. I. A.; SOUZA, M. L. C.; SALOMÃO, L. C.; CANTUÁRIO, F. S.; CURVELO, C. R. Informações sobre o manejo da água de irrigação para obtenção de máximas produtividades na cultura do pepino indústria para conserva em ambiente protegido, no Sudeste Goiano. In: PEREIRA, Alexandre Igor de

Azevedo (Org.). **Agronomia: Elo da cadeia produtiva 3**. 3. ed. Ponta Grossa: Atena, 2019. Cap. 21. p. 193-199. DOI: 10.22533/at.ed.42519040421

HASSANIEN, R.H. E.; LI, M.; LIN, W. D. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, n. 1, p. 989–1001, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.095>

JÚNIOR, A. B. C. **Cultivares de alface crespa roxa em diferentes épocas e ambientes de cultivo em Iranduba, AM**. 2017. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. UFU/ICIAG, 23 p. 2002. PEREIRA, E. L.; DIAS, B. E.; LERIS, B. N.; TANURE, J. S. Propagação de erros e incertezas em experimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 1136-1151, 2016.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F. S.; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, n. 37, p. 082-088, 2019. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190113>

SAMUELS, A.L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. The effect of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. **Annals of Botany**, London, v. 72, n.5, p. 433-440, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1993.1129>

SANTI, A.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SOARES, D. M. J.; SCARAMUZZA J. F.; DALLACORT, R.; KRAUSE, W.; TIEPPO, R. C. 2013. Desempenho e orientação do crescimento do pepino japonês em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 649-653, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362013000400023>.

SANTOS, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília. v.30, p. 582-588, 2005.

URBANO, V. R. **Aplicação de água de reuso tratada no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente), Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2013.



## CAPÍTULO II

### Potassium Silicate, Against Water Stress, in Sweet Corn Plant Growth Traits

(Normas de acordo com Journal of Agricultural Science)

#### **Abstract**

Water stress in sweet corn plants due effect of climatic events, such as *El Niño*, is difficult to monitor, leading to considerable losses. Silicon (Si) as an exogenous resistance elicitor may reduce water stress effects. The relationship between sweet corn plant age and its development, under induced water stress and leaf potassium silicate applications were evaluated. This work was carried out with the hybrid Tropical Plus<sup>®</sup>, in a randomized factorial block design with 15, 30, 45 and 60 kPa as soil water tensions in plots and potassium silicate doses (0, 6, 12 and 24 L ha<sup>-1</sup>) in subplots. Stem diameter, plant height and leaf number per plant were evaluated at 30, 45, 60, 75 and 90 days after seeding. Root length was measured on the 90<sup>th</sup> day after seeding. Sweet corn plants submitted to water stress conditions and Si application showed an age-dependent response. Water stress did not decrease stem diameter, plant height and number of leaves per plant sprayed with Si. Root length was longer with 60 kPa soil water tension. Silicon reduced negative impacts of water stress on sweet corn plants.

**Keywords:** Poaceae, silicon, soil-water tension, *Zea mays*

#### **5.1 Introduction**

Water stress is a limiting factor in agriculture, reducing plant development and yield. The need to maintain plant quality in water scarcity condition, a common situation in the Brazilian Cerrado Savanna (Heinemann *et al.*, 2009), is one of the main agricultural challenges in Brazil. The climatic events, such as *El Niño* (Li *et al.*, 2011), reduce precipitation, even during the rainy season, leading to plant water stress (Doto *et al.*, 2015).

Sweet corn cultivation has expanded, mainly in the Brazilian Midwest, with the largest area cultivated in this country for canned fresh sweet corn agroindustries increasing jobs and income of small and medium-sized farmers. Sweet corn cultivated in the Goiás state (Salton *et al.*, 2014) is used for produce spikes (with high added value) and fodder for cattle. Additionally, straw can be incorporated into the soil for no-tillage in crops

like soybean, bean and cotton. The company Syngenta Seeds Ltda dominates the sweet corn seed market in Brazil, with the Tropical Plus® hybrid.

Silicate fertilization is a promising technology because silicon (Si) is an elicitor inducing plant resistance to abiotic stresses (Zhu & Gong, 2014). Si accumulation in transpiration organs influences the formation of a silica double layer which reduces stomata opening, leaf transpiration and water losses (Guntzer *et al.*, 2012). Exogenous Si sources help to maintain the integrity and stability of the plant cell membrane under biotic or abiotic stress (Maghsoudi *et al.*, 2016) as a resistance elicitor in biochemical plant processes, including oxidative stress from stress conditions (Malčovská *et al.*, 2014).

Corn plant responses to exogenous Si source applications is due to accumulation of this element associated with aerobic respiration (Nissan *et al.*, 2015). The genes *ZmLsi1* and *ZmLsi6* are responsible for Si mechanism transport from the soil solution to the root cells and from the xylem to the rest of the plant, respectively (Mitani *et al.*, 2009).

The beneficial Si effects on corn plants in tropical agriculture need to be further studied because Brazilian soils, especially those in the Cerrado Savanna biome, are poor in soluble Si (Camargo *et al.*, 2013). Fertilizers with Si can stimulate sweet corn plant resistance to water stress. Water soluble potassium silicate ( $K_2SiO_3$ ) is one of the most readily available commercial Si sources easily applied as a foliar fertilizer in fertigation or hydroponic culture.

*Zea mays* L. (Poaceae) tolerates water scarcity during its vegetative stage but suffers high impacts during its reproductive stage (Barnaby *et al.*, 2013). Technologies and practices to reduce the effects of water stress in economically and socially important crops should be evaluated. In this way, the objective was to examine if leaf spraying with potassium silicate (6, 12 and 24 L ha<sup>-1</sup>) can reduce the negative effects of water stress, assessing different soil-water tensions on the sweet corn, Tropical Plus® hybrid, development traits. Sweet corn response was analyzed using an age-dependent analysis performed at 30, 45, 60, 75 and 90 days after seeding.

## 5.2 Methods

The sweet corn plants were cultivated in a simple arc type greenhouse (30 m long, 7 m wide and 6.2 m arc height) with East-West orientation, constructed with a metallic structure, covered with low-density polyethylene (LDPE) film (0.15 mm thick) and its sides with anti-aphid mesh. The climate of the region is classified as tropical altitude (Cwb) with dry winters and rainy summers by Köppen.

The Conservas Oderich SA company (Orizona, Goiás state, Brazil) supplied the sweet corn seeds of Tropical Plus® hybrid (Syngenta Seeds Ltda) and the technical management information for this crop. Sowing was performed in April, 2015 with 80 × 25 cm spacing with three seeds at 2 cm deep pit. Fertilization was performed via fertigation (Trani *et al.*, 2011) and the water distribution was evaluated shortly after the irrigation system installation (Borssoi *et al.*, 2012). The water distribution uniformity was 97%.

The experimental design had a randomized complete block design, with subplots, in a 4 × 4 factorial design with four soil-water tensions (15, 30, 45 and 60 kPa) and four potassium silicate concentrations (0, 6, 12 and 24 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>), 16 treatments and four replications. The experiment had four useful plots (blocks) with two parallel planting lines per plot except for the borderlines, at the lateral ends of the greenhouse, which had

one planting line. An irrigation lateral line with one dripping tube with auto-compensated driplines spaced 0.3 m, totaling eight useful lateral lines plus two located in the margins, were used per planting line. Soil was plowed with a 14 HP mini tractor, model TC14 of (Yanmar Agritech®) with rotary hoe. The 1.0 m wide beds were, manually constructed, spaced at 7.0 m between them totaling 16 beds in the experiment.

Each planting line had a of 16 mm diameter lateral irrigation line with outlets spaced every 0.30 m in the drip irrigation scheme. The outflow was 1.4 L h<sup>-1</sup> with a 1 kgf cm<sup>2</sup> pressure service. The pumping system had a 1 HP pump motor. The fertilizer was injected with a suction system of the pump driven by a valve set to control the flow. A blind of 120 mesh, in addition to valves and manometers to gauge the force per unit area of the irrigation scheme, was installed shortly after the pumping system.

The irrigation was managed with tensiometry using soil water retention curves (Tahir *et al.*, 2012) and adjusted by a model (Van Guenuchten, 1980) with the Soil Water Retention Curve software (SWRC, version 3.0) (Dourado Neto *et al.*, 2000). Two puncture tensiometers at 0.20 and 0.40 m deep, at each experimental plot (totaling 32 tensiometers), were installed to monitor the soil water tensions measured with a digital tensiometer, SondaTerra® model (Piracicaba, São Paulo state, Brazil).

The irrigation management was similar in the first 30 days after sweet corn seeding, to assure plant establishment. Irrigations were similar for all plots with permanent soil moisture control near field capacity. A 20.0 mm level was applied in the first two days after planting and bear 2.0 mm in the remaining days, according to the water retention curve to keep the soil near a -10 kPa matric potential.

Potassium silicate was sprayed in the subplots with a 20.0 L hand-operated costal spray. Drift protection was adapted to reduce water losses and contamination to adjacent subplots without potassium silicate. Four applications were performed. Cultural treatments, such as leaving one plant per pit were made and invasive ones were manually removed. Phytosanitary control was carried out preventively throughout the experiment.

Stem diameter (mm), plant height (cm) and number of leaves per sweet corn plant were quantified at 30, 45, 60, 75 and 90 days after seeding (DAS). The length (cm) of the longest vertical root (root length) of sweet corn plants was measured shortly after harvesting (90th day after seeding), through destructive plant analyses with cutting the shoot at 10.0 cm cut the soil. The roots were washed in running water and the soil at their base removed to evaluate the bare roots. A total of 16 whole roots per plant were removed from the soil per subplot. Roots broken during their removal were discarded.

Data were submitted to the premises of variance analysis (ANOVA). Normality was verified by the Lilliefors adherence test and by the proportion of the histogram obtained by the SAEG® software (Ribeiro Junior & Melo, 2009). The four dependent variables followed normal distribution and, consequently, their means were presented without transformation. Data were analyzed with ANOVA, through a 4x4 factorial arrangement, in randomized block design, considering soil-water tension as level A in the plots and potassium silicate doses as level B in the subplots. The factor B/ai was tested by the mean square and the number of degrees of freedom of the residue (b) of significant interactions and the A/bj factor levels with the mean square and the number of degrees of freedom of the mean residue (combined). The A factor levels were tested with the mean square and the number of degrees of freedom of the residue (a) of the non-significant interactions, and those of B factor with the mean square and the number of degrees of freedom of the residue (b).

The age-dependent development analysis, considering the effect of the independent variables (soil-water

tensions and potassium silicate doses) within each time interval (30, 45, 60, 75 and 90 DAS) was performed by with the data of each soil-water tension (Figures 1, 2 and 3). The dependent variables, over time, were analyzed by regression analyzes considering potassium silicate doses. The results of the ANOVA under factorial design were described, while the data corresponding to the regression analyzes in the figure legends. The second form represented (Figures 4A, 4B and 4C) considered the averages of all sweet corn development parameters evaluations, excluding the evaluation through time. This data treatment is a general effect of soil-water tensions and potassium silicate doses with the regression analyzes for the dependent variables as a function of soil-water tensions performed. The potassium silicate doses were again plotted to build regression curves. The ANOVA results under factorial arrangement were described, whereas the data corresponding to the regression analyzes put in the legends.

The root length variable data, evaluated only on the 90th day after seeding, was submitted to an ANOVA under factorial design. The time intervals were not considered because root length assessment was performed at the end of the plant cycle. The mean tests were performed with Tukey test at 5% probability level, after verifying the significance (or not) of the interacting factors, isolated, through ANOVA with factorial arrangement. Statistical analysis (ANOVA) were performed using the SAEG® software, and figures with SigmaPlot® software version 11 (Systat Software Inc).

### 5.3 Results

The two independent factors, soil-water tensions and potassium silicate doses, affected the sweet corn stem diameter responses at 30 ( $F = 12.98$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.04$ ), 45 ( $F = 33.56$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.01$ ), 60 ( $F = 15.54$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.02$ ), 75 ( $F = 22.10$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.001$ ) and 90 ( $F = 40.14$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.03$ ) days after seeding (Figure 1). This response showed a cubic regression model without differences between treatments at 15 kPa soil-water tension for each day after seeding evaluation (Figure 1A). Potassium silicate doses began to interact with soil-water tensions from 30 kPa up (Figure 1B), 40 kPa (Figure 1C) to 60 kPa soil-water tension (Figure 1D) for all five days after seeding evaluation. The applications of potassium silicate were determinant to maintain higher values of stem diameter as soil-water tension increased. Stem diameter of sweet corn plants had the highest fluctuation as showed by seeding observed data, according to plant height and number of leaves per plant.

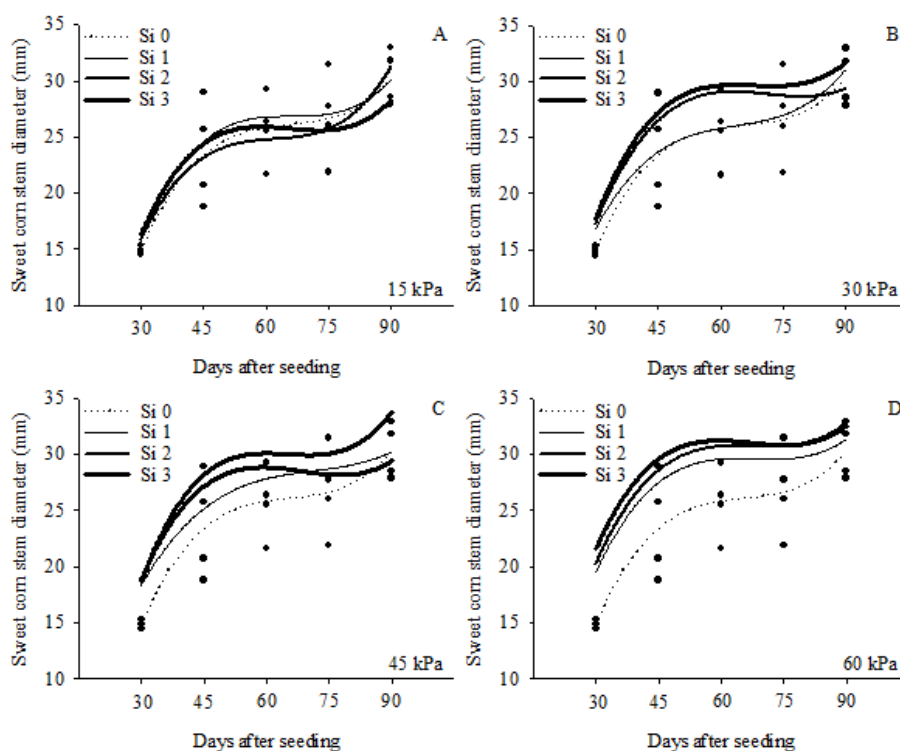


Figure 1. Regression analysis for stem diameter (mm) of sweet corn plants (*Zea mays* L.) Tropical Plus® hybrid, at five time intervals after germination with different soil water tensions and potassium silicate doses. Si 0 0 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ , Si 1 (6 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ), Si 2 (12 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ) and Si 3 (24 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil

Note. Regression data for stem diameter at 15 kPa: Si 0 ( $y = -38.34 + 2.87x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.87$ ,  $F = 17.74$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = -40.97 + 3.07x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 108.96$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = -6.15 + 2.91x - 0.04x^2 + 0.0003x^3$ ,  $R^2 = 0.94$ ,  $F = 47.26$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = -38.17 + 2.98x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.94$ ,  $F = 47.06$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for stem diameter at 30 kPa: Si 0 ( $y = -39.91 + 3.10x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.93$ ,  $F = 40.34$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = -26.26 + 2.34x - 0.03x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $F = 60.47$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = -36.41 + 2.83x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 92.85$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = -40.41 + 3.11x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 90.17$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for stem diameter at 45 kPa: Si 0 ( $y = -35.80 + 2.89x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 86.49$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = -17.30 + 1.83x - 0.02x^2 + 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $F = 55.63$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = -45.54 + .52x - 0.05x^2 + 0.0003x^3$ ,  $R^2 = 0.93$ ,  $F = 34.57$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = -33.98 + 2.85x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 92.92$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for stem diameter at 60 kPa: Si 0 ( $y = -31.67 + 2.71x - 0.03x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $F = 51.21$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = -29.38 + 2.61x - 0.03x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.87$ ,  $F = 16.90$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = -31.73 + .79x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 111.81$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = -29.75 + 2.77x - 0.04x^2 + 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $F = 78.15$ ,  $P = 0.01$ ).

The plant height (Figure 2) and number of leaves per plant (Figure 3) had similar means between treatments and time interval evaluated. The soil-water tensions and potassium silicate doses, isolated or in interaction, were not significant. Cubic regression curves were the best fit for plant height and number of leaves per plant

responses (Figures 2 and 3).

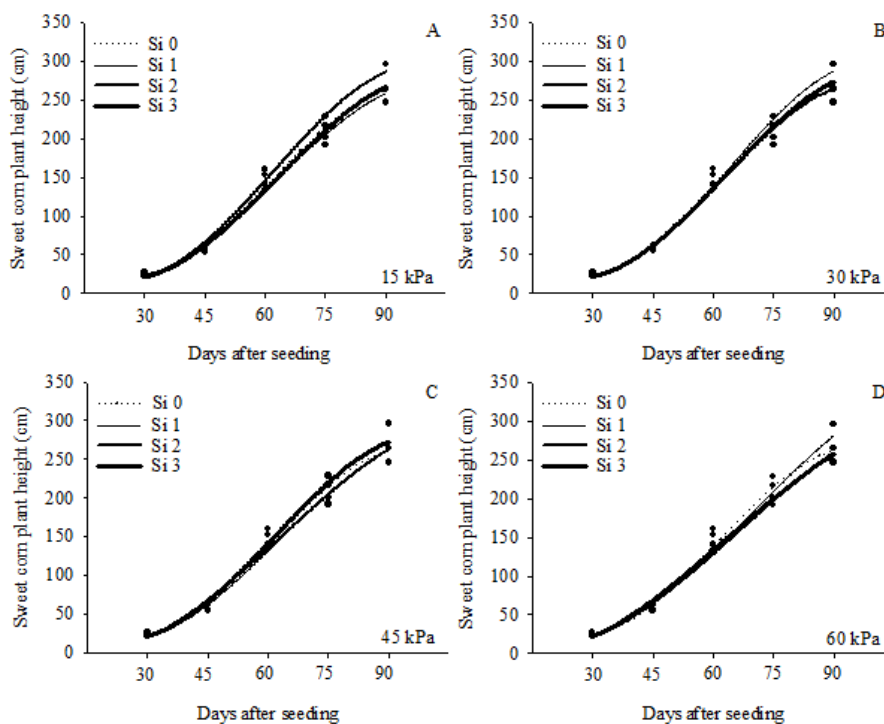


Figure 2. Regression analysis of plant height (cm) of sweet corn plants (*Zea mays* L.), Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid, at five time intervals after germination and submitted to different soil water tensions with potassium silicate doses. Si 0 (0 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>), Si 1 (6 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>), Si 2 (12 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>) and Si 3 (24 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil

Note. Regression data for plant height at 15 kPa: Si 0 ( $y = 168.47 - 12.43x + 0.28x^2 - 0.0016x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 246.69$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 102.76 - 7.85x + 0.20x^2 - 0.0011x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 365.00$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 171.43 - 12.28x + 0.29x^2 - 0.0016x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 772.06$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 138.15 - 10.00x + 0.24x^2 - 0.0013x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 141.36$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for plant height at 30 kPa: Si 0 ( $y = 102.40 - 8.22x + 0.22x^2 - 0.0012x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 234.34$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 212.67 - 14.34x + 0.31x^2 - 0.0017x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 181.00$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 170.65 - 12.04x + 0.28x^2 - 0.0015x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 133.76$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 152.45 - 10.85x + 0.25x^2 - 0.0014x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 116.68$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for plant height at 45 kPa: Si 0 ( $y = 182.44 - 12.41x + 0.28x^2 - 0.0015x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 185.43$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 116.21 - 8.71x + 0.21x^2 - 0.0012x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 282.51$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 32.50 - 3.85x + 0.13x^2 - 0.0007x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 159.27$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 141.71 - 10.49x + 0.25x^2 - 0.0014x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 168.88$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for plant height at 60 kPa: Si 0 ( $y = 8.08 - 1.65x + 0.07x^2 - 0.0003x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 106.27$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 78.27 - 5.93x + 0.15x^2 - 0.0008x^3$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $F = 82.65$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 36.30 - 3.82x + 0.13x^2 - 0.0007x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 112.33$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 48.81 - 4.04x + 0.13x^2 - 0.0007x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 88.93$ ,  $P = 0.01$ ).

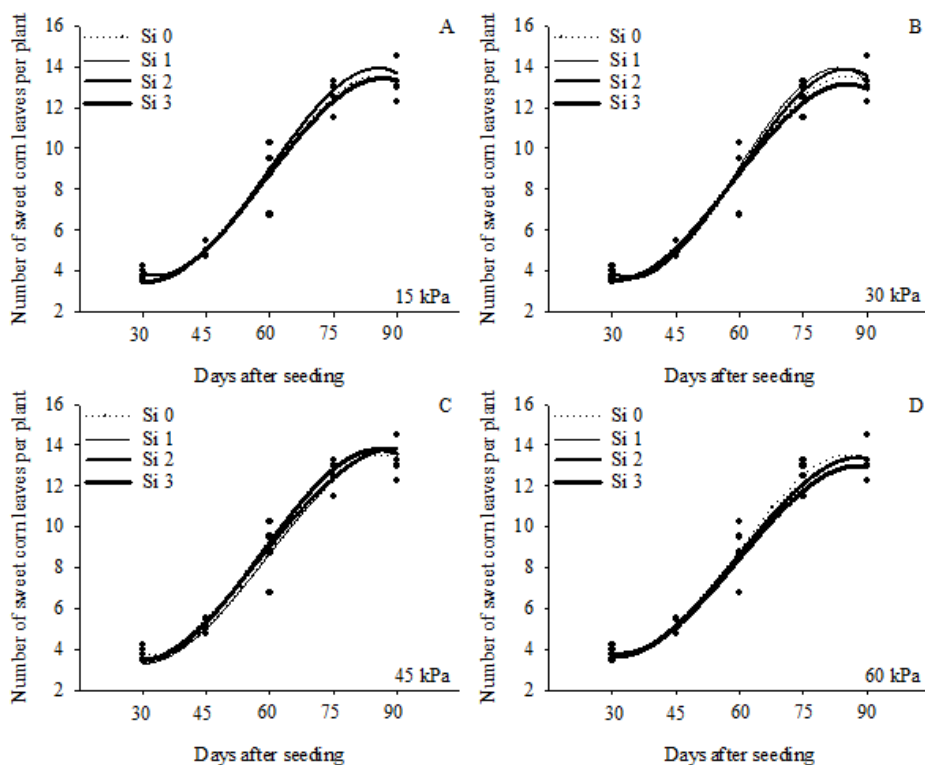


Figure 3. Regression analysis for the number of leaves per plant of sweet corn plants (*Zea mays* L.), Tropical Plus® hybrid, at five time intervals after germination and submitted to different soil water tensions and potassium silicate doses. Si 0 (0 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ), Si 1 (6 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ), Si 2 (12 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ) and Si 3 (24 L of  $K_2SiO_3$   $ha^{-1}$ ). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil

*Note.* Regression data for number of leaves per plant at 15 kPa: Si 0 ( $y = 20.83 - 1.18x + 0.02x^2 - 0.0016x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 129.95$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 17.33 - 0.96x + 0.02x^2 - 0.0011x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 214.77$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 21.82 - 1.24x + 0.02x^2 - 0.0016x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 812.52$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 16.27 - 0.93x + 0.02x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 436.52$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for number of leaves per plant at 30 kPa: Si 0 ( $y = 14.17 - 0.83x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 316.79$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 27.11 - 1.56x + 0.03x^2 - 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 478.83$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 23.61 - 1.34x + 0.02x^2 - 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 175.81$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 17.08 - 0.98x + 0.02x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 405.31$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for number of leaves per plant at 45 kPa: Si 0 ( $y = 17.08 - 0.99x + 0.02x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 307.11$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 13.81 - 0.79x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 451.35$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 11.12 - 0.63x + 0.01x^2 - 0.0002x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 226.31$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 16.07 - 0.94x + 0.02x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 434.24$ ,  $P = 0.01$ ).

Regression data for number of leaves per plant at 60 kPa: Si 0 ( $y = 11.95 - 0.64x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.98$ ,  $F = 139.26$ ,  $P = 0.01$ ), Si 1 ( $y = 14.60 - 0.81x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 87.52$ ,  $P = 0.01$ ), Si 2 ( $y = 15.85 - 0.87x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $F = 118.53$ ,  $P = 0.01$ ) and Si 3 ( $y = 15.18 - 0.83x + 0.01x^2 - 0.0001x^3$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $F = 80.87$ ,  $P = 0.01$ ).

Interactions between soil-water tensions and potassium silicate doses affected stem diameter (Figure 4A) ( $F = 50.28$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.00$ ), plant height (Figure 4B) ( $F = 19.44$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.01$ ) and number of leaves per

plant (Figure 4C) ( $F = 32.48$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.00$ ) values when the effect of these factors were evaluated without an age-dependent analysis.

The behavioral response of the sweet corn stem diameter along the soil-water tensions and each potassium silicate dose followed a quadratic regression model (Figure 4A). Stem diameter of sweet corn plants sprayed with potassium silicate was higher at 15 kPa and 60 kPa. The intermediate soil-water tensions (30 and 45 kPa) had the stem diameter values closer to each other. However, sweet corn plants without potassium silicate applications gave had a smaller stem diameter with all soil-water tensions (Figure 4A).

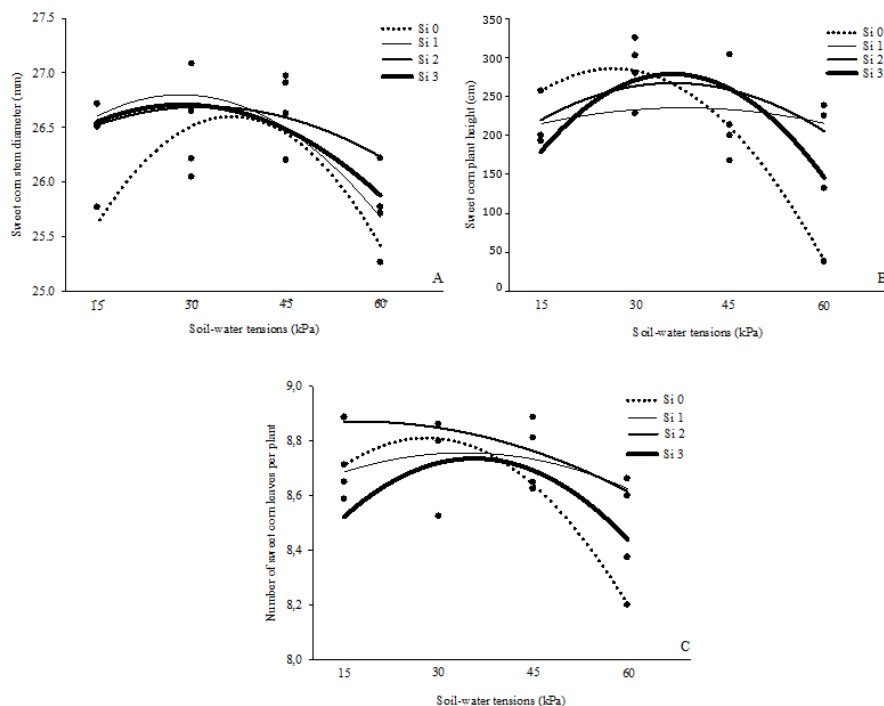


Figure 4. Regression analysis for stem diameter (mm) (A), plant height (cm) (B), and number of leaves per plant (C) of sweet corn (*Zea mays* L), Tropical Plus® hybrid, under interaction between the factors, soil-water tension (kPa) and potassium silicate doses. Si 0 (0 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>), Si 1 (6 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>), Si 2 (12 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>) and Si 3 (24 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil

*Note.* Regression data for stem diameter: Si 0 ( $y = 0.23 + 0.15x - 0.21x^2$ ,  $R^2 = 0.86$ ,  $F = 300.09$ ,  $P = 0.04$ ), Si 1 ( $y = 0.25 + 0.63x - 0.11x^2$ ,  $R^2 = 0.80$ ,  $F = 199.05$ ,  $P = 0.04$ ), Si 2 ( $y = 0.26 + 0.37x - 0.58x^2$ ,  $R^2 = 0.92$ ,  $F = 189.00$ ,  $P = 0.03$ ) and Si 3 ( $y = 0.26 + 0.48x - 0.84x^2$ ,  $R^2 = 0.72$ ,  $F = 370.08$ ,  $P = 0.04$ ).

Regression data for plant height: Si 0 ( $y = 0.83 + 0.46x - 0.88x^2$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 913.12$ ,  $P = 0.02$ ), Si 1 ( $y = 0.85 + 0.13x - 0.17x^2$ ,  $R^2 = 0.81$ ,  $F = 200.050$ ,  $P = 0.00$ ), Si 2 ( $y = 0.83 + 0.32x - 0.44x^2$ ,  $R^2 = 0.84$ ,  $F = 160.01$ ,  $P = 0.04$ ) and Si 3 ( $y = 0.77 + 0.66x - 0.91x^2$ ,  $R^2 = 0.73$ ,  $F = 136.12$ ,  $P = 0.04$ ).

Regression data for number of leaves per plant: Si 0 ( $y = 0.83 + 0.33x - 0.59x^2$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $F = 549.40$ ,  $P = 0.03$ ), Si 1 ( $y = 0.77 + 0.38x - 0.34x^2$ ,  $R^2 = 0.83$ ,  $F = 320.20$ ,  $P = 0.00$ ), Si 2 ( $y = 0.88 + 0.47x - 0.13x^2$ ,  $R^2 = 0.88$ ,  $F = 379.14$ ,  $P = 0.03$ ) and Si 3 ( $y = 0.81 + 0.35x - 0.50x^2$ ,  $R^2 = 0.82$ ,  $F = 320.02$ ,  $P = 0.02$ ).

Plant height showed a decreasing growth as soil-water tension increased, regardless of potassium silicate doses. However, the application of potassium silicate doses reduced this drop in sweet corn plants compared



to the Si 0 (0 L of  $K_2SiO_3$  ha<sup>-1</sup>) dose. Plants sweet corn had the highest drop in height with 60 kPa tension without potassium silicate spraying (Figure 4B).

Sweet corn plants had the lowest number of leaves with 60 kPa, regardless of the potassium silicate use. Conversely, the 15 kPa tension originated plants with greater number of leaves. The presence of potassium silicate reduced the drop of sweet corn plant growth parameters compared with its absence. Plants submitted to foliar potassium silicate application had a lower reduction in the number of leaves per plant as water stress increased. Plants without potassium silicate application showed a reduction in the number of leaves with 60 kPa (Figure 4C).

The interaction between the two independent factors evaluated was not observed for the root length of sweet corn plants ( $F = 1.38$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.23$ ). These parameters differed only between soil-water tensions ( $F = 11.48$ ,  $df = 36$ ,  $P = 0.00$ ) (Figure 5). Root length was longer at 60 kPa ( $30.37 \pm 0.94$  cm) than at 15 kPa ( $26.93 \pm 1.08$  cm), 30 kPa ( $27.00 \pm 0.80$  cm) and 45 kPa ( $26.25 \pm 0.78$  cm) (Figure 5).

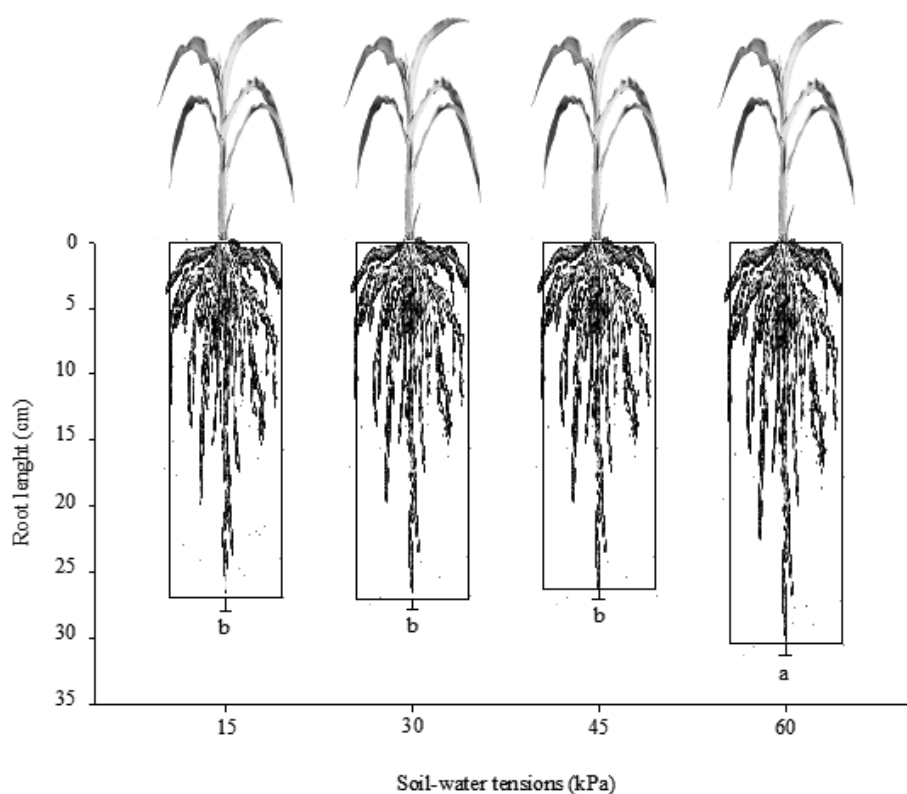


Figure 5. Root length (cm) (mean $\pm$ EP1) of sweet corn (*Zea mays* L.), Tropical Plus® hybrid, with different soil-water tensions (kPa). IF Goiano, Urutaí campus, Goiás state, Brazil. Means followed by the same letter do not differ at the 5% probability level by Tukey test. Corn plants pictures are merely illustrative, not corresponding to their real dimensions, and were adapted from [www.behance.net](http://www.behance.net), with credits of Jeffrey Marshall.

#### 5.4 Discussion

The higher plasticity of sweet corn stem diameter to water stress, compared to plant height and number of leaves per plant, has been previously reported (Brito *et al.*, 2013). Corn stem store carbohydrates (Slewinski 2012) and exogenous silicate sources may, indirectly, increase carbohydrate production in Poaceae plants due

to a higher photosynthetic efficiency promoted (Xie *et al.*, 2014). This may explain wider stem diameters with potassium silicate, especially, when a stress condition was imposed (45 to 60 kPa). The cubic regression model for stem diameter may indicate that carbohydrate reserve varies with plant phenological stage. Carbohydrates accumulated during the vegetative period are sent to reproductive organs at the beginning of the reproductive period which retards stem diameter growth (Russo *et al.*, 2004). This justifies different stem growth responses shown by regression curves between stem diameter, plant height and number of leaves per plant. Translocation of carbohydrates to reproductive organs prevented stem diameter growth of sweet corn plants during this phenology stage.

Potassium silicate avoided decrease on stem diameter, plant height and number of leaves per sweet corn plants under water stress. Sweet corn plants, normally, have a sharp decrease in growth parameters under water stress (Anjum *et al.*, 2011). Leaf stomata tend to close to reduce excessive transpiration causing low photosynthesis and photoassimilate production, which impairs plant growth. Si accumulation in the transpiration organs forms a double silica layer with a decrease in stomata opening reduce leaf transpiration and limiting water losses without affecting plant growth (Meena *et al.*, 2014). Potassium silicate sprayed on sweet corn plants acted as a resistance elicitor for stem diameter, plant height and number of leaves per corn plant under abiotic stress as also observed with wheat plants (Gong *et al.*, 2005).

The lacking effect of potassium silicate (isolated or under interaction) with soil-water tensions on root length agrees with that reported for this parameter biomass with silicon, and differences in enzyme concentration was also related to oxidative stress due to exposure to the heavy metal Antimony (Sb) (Vaculikova *et al.*, 2015). This proves that the effect of Si on plants may be related to morphometric changes and also as a stimulus to biochemical defenses. Corn plants had longer branched roots and greater fresh and dry biomass under stress conditions through exposure to the heavy metal Cadmium (Cd) with Si in nutrient solution (Vaculík *et al.*, 2012). This discrepancy in responses for root structure in corn plants with Si and poisoning by heavy metals, appears to be related to the species and cultivar. This was shown by the different responses in the root morphometry of corn plants between hybrids treated simultaneously with Si and Cd (Kuliková & Lux, 2010).

Corn strains tolerant to water scarcity with long roots (Li *et al.*, 2015) demonstrate ability to obtain water from deeper soil layers under high water stress, such as those with 60 kPa. Root growth of agricultural plants tends to be lower in soil with high soil-water tension values due to the combination of water stress (lack of water for plant growth) and mechanical impedance (resistance to soil penetration caused by tension between particles) (Bengough *et al.*, 2011). The ability of extracting water from the soil seems to be species-specific under water stress (Schoo *et al.*, 2016). Lateral and thinner corn roots (< 2 mm diameter) are responsible for high water and mineral ions (Eissenstat *et al.*, 2000) as well as Si uptake from the soil (Gahhoonia and Nielsen 2004, Mitani *et al.*, 2009). The most abundant and central roots support the plants with low water and nutrient absorption (Gahhoonia and Nielsen 2004) and water stress should be more evident on finer roots. The root length of sweet corn roots with greater vertical depth (probably those with > 2.0 mm diameter) did not vary with its thickness. The results agree with those observed, under water stress conditions, with the greatest vertical expansion of the corn root system to absorb water from deeper layers in the soil (Hund *et al.*, 2009).

## 5.5 Conclusions

The role of silicon as an additional input can be valuable in agricultural regions with frequent dry spells, such as those in the Brazilian Cerrado Savanna biome. Sweet corn stem diameter, plant height and number of leaves per plant did not decrease under water stress, when sprayed with potassium silicate. These developmental parameters, mainly stem diameter, showed a close relationship with Si under water stress. Root length had higher values with 60 kPa soil-water tension, but no apparent silicon-dependent effect. The protective role of silicon reducing negative impacts of water stress on sweet corn developmental traits was confirmed.

## 5.6 Acknowledgements

To CNPq and FAPEG for the granting of financial assistance. To *Programa de Pós-Graduação Profissional em Bioenergia e Grãos*. To *Conservas Oderich SA*. And, finally, to *Instituto Federal Goiano* for the structural support for the execution of this work.

## 5.7 References

- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Barnaby, J. Y., Kim, M., Bauchan, G., Bunce, J., Reddy, V., & Sicher, R. C. (2013). Drought responses of foliar metabolites in three maize hybrids differing in water stress tolerance. *PLoS ONE*, 8, e77145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077145>
- Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62, 59-68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- Borssoi, A. L., Vilas Boas, M. A., Reisdörfer, M., Hernández, R. H., & Follador, F. A. C. (2012). Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. *Engenharia Agrícola*, 32, 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400011>
- Brito, M. E. B., Filho, G. D. A., Wanderley, J. A. C., Melo, A. S., Costa, F. B., & Ferreira, M. G. P. (2013). Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. *Bioscience Journal*, 29, 1244-1254.
- Camargo, M. S., Rocha, G., & Korndorfer, G. H. (2013). Silicate fertilization of tropical soils: silicon availability and recovery index of sugarcane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1267-1275. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500016>
- Doto, V. C., Yacouba, H., Niang, D., Lahmar, R., & Agbossou, E. K. (2015). Mitigation effect of dry spells in Sahelian rainfed agriculture: Case study of supplemental irrigation in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*, 10, 1863-1873. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9639>
- Eissenstat, D. M., Wells, C. E., & Yanai, R. D. (2000). Building roots in a changing environment: Implications for root longevity. *New Phytologist*, 147, 33-42. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00686>
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos. SPI/CNPS, Brasília, DF, Brazil.
- Gahoonia, T. S., & Nielsen, N. E. (2004). Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant and Soil*, 260, 47-57. <https://doi.org/24129008>
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169, 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>
- Guntzer, F., Keller, C., & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 201-213. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>

- Heinemann, A. B., Andrade, C. L. T., Gomide, R. L., Amorim, A. O., & Paz, R. L. (2009). Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 1026-1033.
- Hund, A., Ruta, N., & Liedgens, M. (2009). Rooting depth and water efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance. *Plant and Soil*, 318, 311-325. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9843-6>
- Kuliková, Z. L., & Lux, A. (2010). Silicon influence on maize, *Zea mays* L., hybrids exposed to cadmium treatment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85, 243-250. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0046-5>
- Li, R., Zeng, Y., Xu, J., Wang, Q., Wu, F., Cao, M., Lan, H., Liu, Y., & Lu, Y. (2015). Genetic variation for maize root architecture in response to drought stress at the seedling stage. *Breeding Science*, 65, 298-307. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.298>
- Li, W., Zhang, P., Ye, J., Li, L., & Baker, P. A. (2011). Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. *Journal of Plant Ecology*, 4, 91-99. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq039>
- Maghsoudi, K., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2016). Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39, 1001-1015. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109108>
- Malčovská, S. M., Dučaiová, Z., Maslaňáková, I., & Bačkor, M. (2014). Effect of silicon on growth, photosynthesis, oxidative status and phenolic compounds of Maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium excess. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 2-11. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2056-0>
- Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S., & Rao, A. S. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84, 505-518. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0270-y>
- Mitani, N., Yamaji, N., & Ma, J. F. (2009). Identification of Maize silicon influx transporters. *Plant and Cell Physiology*, 50, 5-12. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn110>
- Nissan, H., Blum, S., Shimoni, E., & Elbaum, R. (2015). Characterization of silicon accumulation in Maize cell suspension cultures. *Silicon*, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s12633-015-9347-y>
- Ribeiro Júnior, J. I., & Melo, A. L. P. (2008). Guia prático para utilização do SAEG. Editora UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brazil.
- Russo, V. M., Collins, J. K., & Perkins, P. (2004). Carbohydrate distribution in a sweet maize with the sugar enhanced endosperm genotype. *Cereal Research Communications*, 32, 347-353. <https://doi.org/23787143>
- Salton, J. C., Mercante, F. M., Tomazi, M., Zanatta, J. A., Concenço, G., Silva, W. M., & Retore, M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>
- Schoo, B., Schroetter, S., Kage, H., & Schittenhelm, S. (2016). Root traits of cup plant, maize and lucerne grass grown under different soil and soil moisture conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 345-359. <https://doi.org/10.1111/jac.12194>

- Sleewinski, T. L. (2012). Non-structural carbohydrate partitioning in grass stems: A target to increase yield stability, stress tolerance, and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4647-4670. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers124>
- Tahir, M., Hassan, A. U., Zahir, Z. A., & Rehman, K. U. (2012). Modeling water retention capacity and hydraulic properties of a manure-amended loam soil and its effect on wheat and maize yield. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14, 492-498.
- Trani, P. E., Tiveli, S. W., & Carrijo, O. A. (2011). *Fertirrigação em hortaliças* (2nd ed.). Boletim Técnico IAC. Campinas, São Paulo, Brazil.
- Vaculík, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stoláriková, M., & Lux, A. (2012). Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, 110, 433-443. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs039>
- Vaculíková, M., Vaculík, M., Šimková, L., Fialová, I., Kochanová, Z., Sedláková, B., & Luxová, M. (2014). Influence of silicon on maize roots exposed to antimony—Growth and antioxidative response. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 279-284. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.014>
- Van Genuchten, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
- Xie, Z., Song, F., Xu, H., Shao, H., & Son, R. (2014). Effects of silicon on photosynthetic characteristics of Maize (*Zea mays* L.) on alluvial soil. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2014/718716>
- Zhu, Y., & Gong H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 455-472. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0194-1>

### Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## CAPÍTULO III

### POTASSIUM SILICATE AS A RESISTANCE ELICITOR IN SWEET CORN YIELD TRAITS, UNDER WATER STRESS

(Normas de acordo com Revista Colombiana Ciencias Horticolas)

#### ABSTRACT

Plant water stress is a major problem in the Brazil Cerrado biome. Dry periods and random climatic events cause quality and yield losses in sweet corn plants. Compounds, such as silicon (Si), are being studied to reduce water stress negative impacts in agricultural crops. Further tests may allow farmers to increase the use of silicon-based compounds. The objective of this study was to evaluate production parameters of sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*) (Poaceae) Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid with water stress and potassium silicate doses applied in foliar spraying. A randomized block design with four soil water tensions (15, 30, 45 and 60 kPa) and four potassium silicate doses (0, 6, 12 and 24 L ha<sup>-1</sup>) was used in a greenhouse. The factors studied alone or in interaction did not affect most sweet corn yield parameters. The hypothesis that these results may have been partially affected by the silicon presence are discussed. The sweet corn plant yield was affected mainly by soil water tension of 60 kPa.

**Key words:** Water deficit, tensiometry, silicate fertilization, production.

#### 6.1 Introduction

Goiás state, one of the largest corn producers in Brazil (Okumura *et al.*, 2013), has been experiencing droughts and poor rain distribution (Brunini *et al.*, 2001). The quality and

productivity of this plant, with high economic and social importance are affected (Berlato *et al.*, 2005). Climatic effects, such as the El Niño (Li *et al.*, 2011) have caused more frequent dry periods and water stress condition (Doto *et al.*, 2015). Corn farmers are irrigating their crops, but with high costs (Montero *et al.*, 2013). Besides-this the rainfall scarcity reduced water reaching reservoirs.

Sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*) (Poaceae) cultivation is increasing in Brazil (Teixeira *et al.*, 2014) to supply the agroindustry that process raw material for commercialization. This has increased the income of small and medium sized farmers and the jobs generation in a macro scale (Barbieri *et al.*, 2005). The sweet corn cultivation system in Goiás state has prospects for expansion, since Brazilian agriculture is one of the major producers of common corn (*Zea mays*) in the world (Okumura *et al.*, 2013).

*Zea mays* is considered tolerant to water deficit during its vegetative phase, but exhibits high sensitivity if this condition prevails during the reproductive phase (Santos & Carlesso 1998). Therefore, technologies able to amortize of water stress effects in economically and socially important plants, such as sweet corn, should be assessed. Silicate fertilization has been accounted as a technology that mitigates the negative effects of stress factors on plants (Ma & image 2006), although it is not yet widely practiced by Brazilian farmers. Silicon has been considered as an elicitor in induced resistance in plants under abiotic stress conditions, such as saline, heavy metal poisoning or water stress. The of Si accumulation in the transpiration organs forms of a double silica layer having a subtle decrease in stomata opening, reducing leaf transpiration, which restricts the water without loss influencing its growth (Oliveira & Castro 2002).

The corn plant has a natural potential to respond favorably after exposure by exogenous Si sources because is classified as accumulating this element (Takahashi *et al.*, 1990). The Si concentration in this plant is linked to aerobic respiration increasing its accumulation in soils, or hydroponic solutions, that hold in considerable amounts the silicon. In summary, the *ZmLsi1* and *ZmLsi6* genes present in the corn plant are responsible for the Si soil transport solution by root cells and xylem for the plant balance, respectively, what also demonstrates the plant adaptability to Si (Mitani *et al.*, 2009).

The Si beneficial effects on corn plants in the Brazilian agricultural scenario are still neglected in the field, while increasingly scientific results prove the high adaptability of these plants. The fact that Brazilian soils, especially those located in the Cerrado biome, are poor in soluble Si accessible by plants (Korndörfer *et al.*, 2004) may be a reason that explains this fact. In this manner, the farmer most often avoids using silicate fertilizers for fear of

bringing up his production costs. Nevertheless, the fertilizers use as an Si exogenous source in sweet corn, via soil or foliage spraying, has great potential to stimulate a resistance level against water stress (Marques *et al.*, 2016). The outcomes of the present study may encourage of silicate fertilization use in corn plants submitted to water stress.

The aim of the present study was to evaluate the production parameters responses of sweet corn (*Zea mays* L.) (Poaceae), hybrid Tropical Plus® (Syngenta Seeds Ltda), under water stress circumstance and potassium silicate doses sprayed on the leaves.

## 6.2 Material and methods

The experiment was carried out in an experimental area of the “Instituto Federal Goiano-Campus Urutaí” located at Palmital Farm, rural region of the Urutaí city, Goiás State, Brazil. The experimental site is 17°29'10 "S of latitude and 48°12'38" W of longitude at 697 m of elevation.

The sweet corn plants were cultivated in a greenhouse, simple arc type, with East-West orientation, made by metallic structure and dimensions of 30 m length, 7 m width, 6.2 m arc height, covered with low-density polyethylene (LDPE) film (0.15 mm thick) and sides covered by anti-aphid mesh.

The region climate is classified as tropical at altitude with dry winter and rainy summer, Cwb type by Köppen classification. The soil of the experimental area was classified as Dystrophic Yellow Red Latosol (Embrapa 1999) with sandy loam texture and physical and chemical characteristics presented in Table 1. For soil physical and chemical analysis five samples were collected inside the greenhouse. The samples were homogenized giving rise to a representative composite sample. This operation was performed at 0 to 20 cm and 20 to 40 cm two layers of soil depth. The soil samples were sent to the “Laboratório Agropecuário LTDA (SOLOGRIA)”, in Goiânia city, Goiás State to obtain the technical report.

Physical properties					
Deep (cm)	Coarse sand	Thin sand	Silte	Clay	Textural Class
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0-20	275	324	241	160	sandy franc
21-40	329	283	202	186	sandy franc
Chemical properties					
Deep (cm)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	H+Al	K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
0-20	6.0	24	300	21	4.98
21-40	5.7	16	280	20	4.34
Deep	Ca	Mg	SB	CTC	V



(cm)	-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%
0-20	57	22	84	104	80
21-40	55	14	73	93	78

**Table 1.** Soil Physical and chemical properties used to grow Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid corn (syngenta), in greenhouse, on the Goiás campus, Urutaí, Brazil.

The sweet corn used was the Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid (Syngenta Seeds Ltda) provided by the company Conservas Oderich SA (Orizona, Goiás) that produces canned vegetables, including sweet corn, and from which the technical information needed to cultivate the sweet corn plants were followed. Sowing was performed on April 30, 2015 with spacing of 80 x 25 cm, with three seeds per hole with 2 cm deep. Fertilization was carried out by fertigation following of Trani *et al.*, (2011) recommendations.

The experimental design was a randomized complete block with subdivided plots in a 4x4 factorial scheme, with four concentrations of potassium silicate (0, 6, 12 and 24 L of K<sup>2</sup>SiO<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) and four soil water tensions (15, 30, 45 and 60 kPa) totaling 16 treatments, with four replications.

The experiment consisted of four useful block with two planting lines per game except for the borderlines, which were placed at the lateral ends of the greenhouse and got just one planting line. Each planting line received an irrigation lateral line, taking the dripping tube, auto-compensated driplines spaced 0.3 m apart, totaling 8 useful lateral lines and two located in the margins.

The soil adaptation for planting was made up by plowing with the help of a mini motorized tractor model TC 14 of 14 HP (Yanmar Agritech<sup>®</sup>) adapted with rotary hoe. The blocks with dimensions of 7 meters in length and 1 m of width, per plot, were pulled in with hoes manually, totaling 16 blocks throughout the experiment.

A drip irrigation system was used, where each planting line received a lateral irrigation line of 16 mm, with emitters spaced every 0.30 m. The emitters provided a flow of 1.4 L h<sup>-1</sup> with a service pressure of 1 kgf cm<sup>-2</sup>. The pumping system consisted of a 1 HP motor pump assembly. The fertilizer injection was carried out using the suction system of the pumping set itself, being pushed by a set of manual controlling valves. Soon after the pumping system was installed a screen of 120 Mesh, in addition to recording and manometers for gauging the irrigation system pressure. A water distribution uniformity test, following Borsoi *et al.* (2012) recommendations was executed after the irrigation system installation. The water distribution uniformity previously calculated was 97%.

The irrigation management was performed by tensiometry using soil water retention curves (Tahir *et al.*, 2012) and adjusted by the model proposed by Van Guenuchten (1980) with the aid of the Soil Water Retention Curve (SWRC<sup>®</sup> software) version 3.0 (Dourado Neto *et al.*, 2000). Two puncture tensiometers at depths of 20 cm and 40 cm were installed to monitor soil water tension for each experimental plot (totaling 32 tensiometers used). The soil water tension values readings, quantified by the tensiometers, were measured using a digital tensiometer (SondaTerra<sup>®</sup> model).

In the first 30 days after sweet corn planting there was no differentiation of irrigation management among the treatments in order to assure the plants natural establishment. Irrigations were similar for all plots with permanent soil moisture control to near field capacity. In the first two days after seeding a 20 mm blade was applied and the remaining days and daily levels close to 2 mm according to the soil water retention curve. It was carried out to maintain the land close to the mean matric potential (-15 kPa).

The potassium silicate was applied via foliar spraying in the subplots with the help of a costal spray of manual action (20 L). A drift protection was used to ensure maximum application precision and to avoid the adjacent subplots contamination that did not receive the potassium silicate doses. An aggregate of four applications was done throughout the experiment.

Throughout the sweet corn plant cycle, cultural treatments were performed, such as cutting of plants, leaving a single plant per hole. The dominance of invasive plants was carried away along the crop cycle through manual weeding. Phytosanitary control was done according to the need for prevention and control throughout the experiment.

All production parameters were quantified at 95 days after planting, which is in accord with the average cycle of the Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid, which is earlier compared to the common corn (Okumura *et al.*, 2013). The following plant parameters were quantified: 1<sup>st</sup> ear (cm) height, 2<sup>nd</sup> ear (cm) height, ear length with (cm) and without straw (cm), ear diameter with (cm) and without straw (cm), ear weight with (cm) and without straw (cm), cob diameter (cm), cob fresh weight (g), rows per cob number, unit grain depth (mm), grain width (mm) unit, fresh (g) and dry (mg) weight of total grains per cob, fresh (g) and dry (mg) weight of a unit cob, fresh (g) and dry (mg) weight of total all straw per plant, fresh (g) and dry (mg) stem weight, fresh (g) and dry (mg) weight of all leaves per plant, number of grains per row and per ear, ear yield (ton ha<sup>-1</sup>), grain yield (ton ha<sup>-1</sup>) and industrial yield (ton ha<sup>-1</sup>).

All quantified data were checked for assumptions of the variance analysis. Normality was verified by the Lilliefors adherence test and, in a complementary way, visually by the

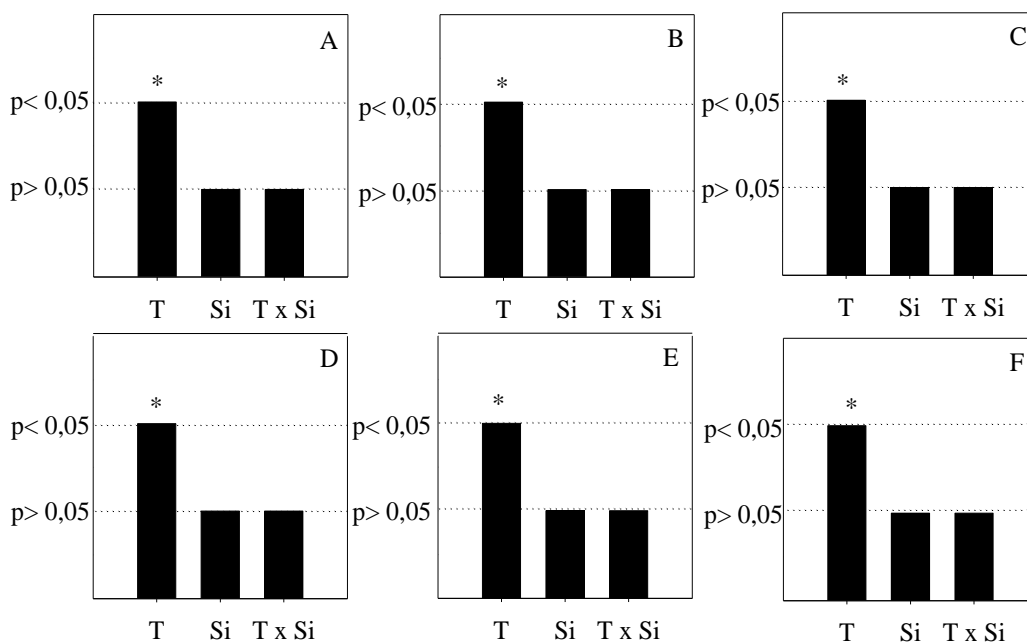
symmetry of the histogram obtained by the SAEG (System of Statistical and Genetic Analysis) (Ribeiro Junior & Melo 2009). According to this procedure, all the quantified variables followed normal distribution and, therefore, the values of their averages disclosed in figures and tables were full presented and without the need of transformation.

After confirmation of the implication (or not) of the factors under interaction or considered isolated through the ANOVA with factorial arrangement, the means were compared using the Tukey test at the 5% probability level. Statistical analyzes (ANOVA and means tests) were done through the SAEG software, while the images were constructed in the SigmaPlot® software, version 11 (Systat Software Inc).

### 6.3 Results

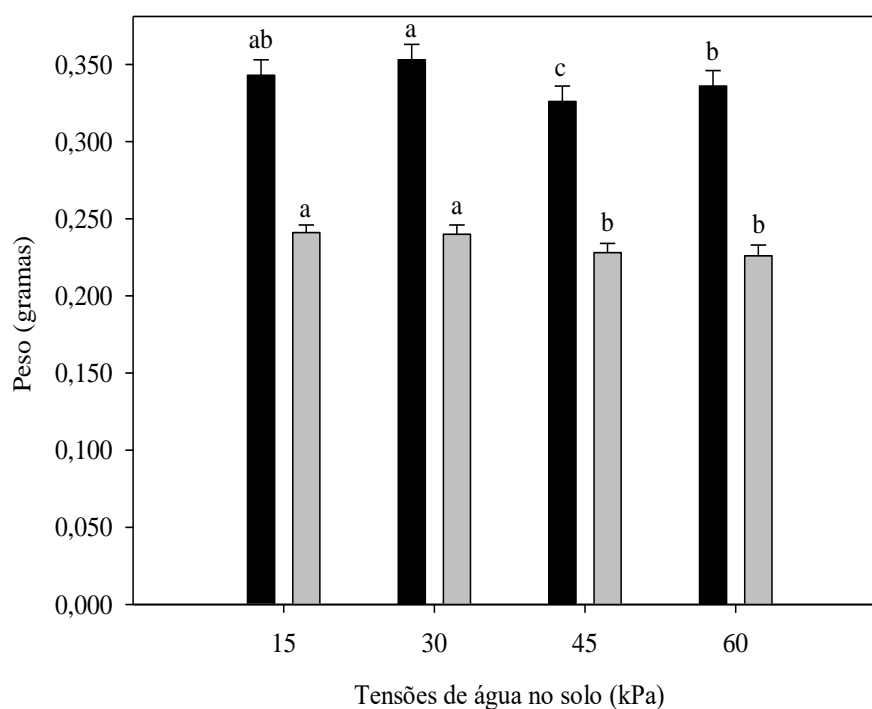
The soil water tensions and potassium silicate doses under interaction did not affect the yield parameters 1st ear height ( $F= 0.20$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 10$ , ( $F= 1.24$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.04$ ,  $CV= 9.42$ ), 2nd ear height ( $F= 0.18$ , ( $F= 1.34$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.25$ ,  $CV= 5.68$ ), stem-to-straw diameter ( $F= 1.24$ ,  $gl= (F= 1.00$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.45$ ,  $CV= 20.25$ ), grain depth ( $F= 0.30$ ,  $CV= 4.03$ ) ( $F= 0.38$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 12.41$ ), fresh (g/ $F= 0.66$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 14.45$ ) and dry ( $F= 0.37$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 13.26$ ), ( $F= 3.40$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.41$ ,  $CV= 10.12$ ) grain weight, fresh weights ( $F= 0.96$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 11$ ,  $F= 0.67$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.05$ ,  $CV= 14.06$ ), fresh ( $F= 0.67$ ,  $CV= 28.07$ ) and dry ( $F= 1.29$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.27$ ,  $CV= 21.08$ ) stem weight, fresh weight ( $F= 0.84$ ,  $gl= 36$ ,  $P> 0$  ( $F= 1.68$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.12$ ,  $CV= 11.45$ ) and grains per row number ( $F= 0.73$ ,  $gl$  ( $F= 0.66$ ,  $P= .05$ ,  $CV= 14.45$ ) and industrial yield ( $F= .05$ ,  $CV= 7.79$ ) 51,  $gl= 36$ ,  $P> 0.05$ ,  $CV= 12.97$ ) isolated or not.

The parameters spike weight ( $F= 3.41$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.02$ ,  $CV= 9.68$ ) and without straw ( $F= 4.13$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.01$ ,  $CV$  ( $F= 6.52$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.04$ ,  $CV= 9.81$ ), fresh cob weight ( $F= (F= 3.46$ ,  $gl= 36$ ,  $P= 0.02$ ,  $CV= 5.85$ ) and ear yield ( $F= 3.41$ , (Figure 1) was affected by soil water stress isolated (Figure 1).



**Figure 1.** Summary of the ANOVA (factorial with subdivided plots) of soil water stresses (T) (plots) and potassium silicate (Si) doses (subplots) considered separately or in interaction (T x Si) for the significant parameters (Figure 1B, Fig. 1B, Fig. 1B and Fig. 1B, respectively), and the results obtained in the present study, Fig. 1B, Fig. 1B, Fig. Tang production).

Higher values for shank weight with and without straw were reached at 15 and 30 kPa compared to the 45 and 60 kPa voltages (Figure 2). The cob diameter, cob, fresh weight and rows per spike number were also higher with the tensions between 15 and 30 kPa (Table 2). The 60 kPa tension had lower values for these parameters, including the ear yield (Table 2).



**Figure 2.** Spike weight (grams) (mean  $\pm$  SEM) of the spike with (black bars) and without (gray bars) sweet corn straw (*Zea mays* var. *Saccharata*) Tropical Plus® hybrid under the effect of soil water stresses (kPa). Instituto Federal Goiano, Urutaí, Goiás, Brazil. 1 Averages followed by the same letter, for each variable, do not differ among themselves at the 5% probability level by the Tukey test.

Table 2. Soil (SW), spike (CD), fresh ear (CFW), ears per spike number (RNEAR) and yield (SY) (SWST) (mean  $\pm$  SEM) (*Zea mays* Var. *Saccharata*) Tropical Plus® hybrid (Syngenta) under different soil water stress in the soil (kPa). Goiano Federal Institute, Urutaí, Goiás, Brazil.

SWST(kPa)	CD(cm)	CFW(gramas)	RNEAR	Spike yield(ton.ha <sup>-1</sup> )
15	33.74 $\pm$ 0.27 a	0.216 $\pm$ 0.05 a	15.81 $\pm$ 0.19 a	27.46 $\pm$ 0.80 b
30	33.11 $\pm$ 0.28 b	0.219 $\pm$ 0.01 a	15.60 $\pm$ 0.22 ab	28.28 $\pm$ 0.82 a
45	32.56 $\pm$ 0.30 c	0.204 $\pm$ 0.09 b	15.50 $\pm$ 0.25 ab	26.88 $\pm$ 0.87 c
60	32.91 $\pm$ 0.42 d	0.184 $\pm$ 0.07 c	15.35 $\pm$ 0.20 b	26.10 $\pm$ 0.69 d

**Table 2.** The averages followed by the same letter, per column, do not differ among themselves at the 5% probability level by the Tukey test.

## 6.4 Discussion

The lack of effect of soil water tensions and potassium silicate doses, isolated or under interaction, was observed on most yield parameters. The interaction between these two factors is important for corn maize plants by giving resistance to water stress as previously reported (Marques *et al.* 2016). The absence of significant effects of the Si dose factor (isolated) on productive parameters of sweet corn did not necessarily imply that this factor had no influence on the results found. The physiological and biochemical effects of Si under stress conditions such as water balance, reduction of oxidative stress and maintenance of adequate mineral absorption by the root system (Zhu & Gong 2014) were entirely ignored in the present work. The fact that the water stress did not affect most yield variables of sweet corn may have been due to the physiological and biochemical effect activated by Si in the sweet corn plant. Si can mitigate water stress effects on plants of economic importance, such as *Zea mays* (Gao *et al.*, 2006). This may have partially been noted in the present work with the absence of soil water tension effect in most production parameters that normally suffer from water stress.

Differences in yield parameters are more evident when different corn genotypes are compared (Santos *et al.*, 2004). The similar effect of the genetic configuration of the sweet corn Tropical Plus<sup>®</sup> hybrid in all treatments may also be responsible for the lack of effect on yield parameters evaluated. *Zea mays* is relatively tolerant to water stress during the vegetative stage, but extremely sensitive if the stress condition persists during its reproductive stage (Song 2004, Song *et al.*, 2010). Different soil water stresses were managed in sweet corn plants during their entire vegetative and reproductive cycle, including in the stage between pre-flowering and grain filling. This stage is critical where the plant can no longer satisfactorily recover from water stress experienced in previous stages (Çakir 2004). Therefore, the hypothesis that sweet corn adult plants have attenuated the negative effects of water stress experienced during its vegetative phase should be discarded. This would be an effective strategy for the plant to overcome stress conditions experienced in the vegetative stage without reducing yield parameters in the reproductive stage (Ferreira *et al.*, 2011).

The effect soil water tensions, with lower values of sweet corn ear weight with and without straw in the higher ones tensions agrees with reports that this variable was sensitive to water stress (Almeida *et al.* 2016) Lower values for cob diameter and cob fresh mass under water stress conditions was reported (Parizi *et al.*, 2009). These variables are strongly

yield indicatives in corn crops, because the highest is the corn mass, greater is the grain mass (Shaheenuzamn *et al.*, 2015). This may also explain, in part, the significant differences for cob diameter and fresh weight, as spike productivity with the different soil water tensions. However, it does not fully explain why this factor did not affect other yield parameters of corn ear yield. The soil water tension effect may have been compensated by the potassium silicate doses, even with the fact that that this factor (Si doses) did not affect most yield production parameters.

The lowest variation in the rows per spike means, among the parameters affected by soil water tensions may have been due to the genetic component of the Tropical Plus® hybrid evaluated agreeing with other studies that also did not report differences (Ferreira *et al.*, 2011). The decreasing number of rows per spike as soil water stress increased was also showed in a work evaluating the effect of different irrigation levels and calcium silicate doses in the common corn material BR 106 (Marques 2013). The average rows per ear number of sweet corn (independent of the soil water tensions content) are similar to the 16 rows per spike as having good acceptance for the Brazilian consumer market and reinforce the genetic resistance of the Tropical Plus® hybrid even with water stress (Pereira Filho *et al.* 2002).

The maximum productivity of the Tropical Plus® hybrid (~ 28 ton ha<sup>-1</sup> at 30 kPa) is higher than that indicated by the Syngenta company in Brazil (~ 17 ton ha<sup>-1</sup>) ([www.syngenta.com.br](http://www.syngenta.com.br)). This value varies with increasing crop yields while increasing the Tropical Plus® hybrid plant population from 40,000 to 100,000 ha<sup>-1</sup> plants with a maximum yield of ~ 9 ton ha<sup>-1</sup> for winter-spring cultivation and ~12 ton ha<sup>-1</sup> for the summer crop, respectively, under field conditions (Souza *et al.* 2013a, Souza *et al.* 2003b). The Vivi, Tropical Plus® and Dow SWB 551 hybrids of 5.73, 5.35 and 2.0 ton ha<sup>-1</sup>, respectively, also had similar ear yield production in the field (Teixeira *et al.*, 2009). Differences in productivity results may be explained by the fact that this experiment was conducted in greenhouse, reducing the influence of biotic and abiotic effects on sweet corn plants production (Rosa *et al.*, 2016).

The sweet corn cultivars KSC403, Merit and Obsession in Iran (Mashhad) had a similar response pattern to ours with a decreasing growth in water stress condition (Tafrihi *et al.* 2013). The yield parameters had high sensitivity to water stress as a very responsive component in water stress evaluations in *Zea mays* species (Moradi *et al.*, 2012).

The water stress reduces sweet corn plant productivity with losses to the corn agribusiness in Brazil. The silicon role as an elicitor of resistance against water stress effects

has been reported and for this reason the non significant Si effect (isolated or under interaction with soil water tensions) should not be neglected. The spraying of potassium silicate throughout their vegetative stage on sweet corn plants allowed the silicon absorption and its storage and transportation to the plant yield structures (Mitani *et al.*, 2009). This indicates a higher affinity of this plant with silicon in the vegetative than in the reproductive stage.

## 6.5 Conclusions

The factors studied alone or in interaction did not affect most parameters of sweet corn production. The yield of the sweet corn plant was affected mainly by the water tension in the soil of 60 kPa.

## 6.6 Acknowledgements

To the "Goiano Federal Institute (IF Goiano), Urutaí Campus", the "National Council for Scientific and Technological Development (CNPq)", Conservas Oderich SA, the "Foundation for Research Support of the State of Goiás (FAPEG)" and the "Postgraduate Program in Bioenergy and Grains of IF Goiano, Rio Verde Campus".

## 6.7 Bibliographic references

- Almeida BM. 2016. Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 123p.
- Barbieri VHB, JM Luz, CH Brito, JM Duarte, LS Gomes and DG Santana. 2005. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e populações de plantas. *Horticultura Brasileira* 23: 826-830.
- Berlato MA, H Farenzena and DC Fontana. 2005. Associação entre El Niño oscilação Sul e a produtividade do milho no estado do rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 423-432.
- Borssoi AL, MA Vilas Boas, M Reisdörfer, RH Hernández and FAC Follador. 2012. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. *Engenharia Agrícola* 32: 718-726.



- Brunini O, J Zullo, HS Pinto, ED Assad, E Sawazaki, AP Duarte, MEZ Patterniani. 2001. Riscos climáticos para a cultura do milho no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9: 519-526.
- Çakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1–16.
- Doto VC, H Yacouba, D Niang, R Lahmar, EK Agbossou. 2015. Mitigation effect of dry spells in Sahelian rainfed agriculture: Case study of supplemental irrigation in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research* 10: 1863-1873.
- Dourado-Neto D, DR Nielsen, JW Hopmans, K Reichardt and OOS Bacchi. 2000. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). *Scientia Agricola* 57: 191-192.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, SPI/ CNPS. 412p.
- Ferreira MGP, MEB Brito, FB Costa, GDA Filho and FCG Alvino. 2011. Aspectos químicos e físicos dos grãos de milho doce sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Agrotecnologia* 1: 01-06.
- Gao X, C Zou, L Wang and F Zhang. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *J Plant Nutr* 29: 1637-1647.
- Korndörfer GH, HS Pereira and MS Camargo. 2004. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. UFU/ICIAG. Boletim Técnico, no 1 (3ª Edição).
- Li W, P Zhang, J Ye, L Li and PA Baker. 2011. Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. *Journal of Plant Ecology* 4: 91-99.
- Ma JF and N Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Science* 11: 392-397.
- Marodin JC, JTV Resende, RGF Morales, MV Faria, AR Trevisam, AST Figueiredo and DM Dias. 2016. Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. *Horticultura Brasileira* 34: 361-366.
- Marques DJ, MM Ferreira, AKS Lobato, WA Freitas, JA Carvalho, ED Ferreira and F Broetto. 2016. Potential of calcium silicate to mitigate water deficiency in maize. *Bragantia* 75: 275-285.
- Marques DJ. 2013. Proporções de silicato e carbonato de cálcio no crescimento, nutrição mineral e eficiência do uso da água por plantas de milho sob estresse hídrico. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras. 184p.

- Mitani N, N Yamaji and JF Ma. 2009. Identification of maize silicon influx transporters. *Plant Cell Physiology* 50: 5-12.
- Montero J, A Martínez, M Valiente, MA Moreno and JM Tarjuelo. 2013. Analysis of water application costs with a centre pivot system for irrigation of crops in Spain. *Irrigation Science* 31: 507-521.
- Moradi H, GA Akbari, SK Khorasani and HA Ramshini. 2012. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. *European Journal of Sustainable Development* 1: 543-560.
- Okumura RS, DC Mariano, AAN Franco, PVC Zaccheo and TO Zorzenoni. 2013. Sweet corn: Genetic aspects, agronomic and nutritional traits. *Applied Research & Agrotecnology* 6: 105-114.
- Oliveira LA and NM Castro. 2002. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. *Revista Horizonte Científico* 4: 1-16.
- Parizi ARC, AD Robaina, ACS Gomes, FC Soares, CJ Ramão, MX Peiter and L Calegario. 2009. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. *Irriga* 14: 254-267.
- Pereira Filho IA, JC Cruz and EEG Gama. 2002. Cultivares de milho para o consumo verde. In: Pereira Filho, I. A. (Ed.). *O cultivo do milho verde*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. p. 17-30.
- Ribeiro Júnior JI and ALP Melo. 2008. *Guia prático para utilização do SAEG*. Viçosa, MG: UFV. 288 p.
- Rosa R, E Kosterna-Kelle, J Franczuk and A Zaniewicz-Bajkowska. 2016. The influence of weather conditions of eastern Poland on sweet corn yields and length of growing season. *Journal of Ecological Engineering* 17: 273-279.
- Santos PHAD, MG Pereira, RS Trindade, KS Cunha, GC Entringer and JCF Vettorazzi. 2014. Agronomic performance of super-sweet corn genotypes in the North of Rio de Janeiro. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 14: 8-14.
- Shaheenuzamn M, RR Saha, B Ahmed, J Rahman and M Salim. 2015. Green cob and fodder yield of sweet corn as influenced by sowing time in the hilly region. *Bangladesh J. Agril. Res.* 40: 61-69.
- Song Y, C Birch, S Qu, A Doherty and J Hanan. 2010. Analysis and modeling of the effects of water stress on maize growth and yield in dryland conditions. *Plant Production Science* 13: 199-208.

- Souza RS, PS Vidigal Filho, CA Scapim, OJ Marques, DC Queiroz, RS Okumura, DL Reche and VB Cortinove. 2013(a). Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. *Semina: Ciências Agrárias*. 34: 995-1010.
- Souza RS, PS Vidigal Filho, CA Scapim, OJ Marques, DC Queiroz, RS Okumura, JV José and RV Tavore. 2013(b). Elementos de produção de milho doce em diferentes densidades populacionais. *Comunicata Scientiae*. 4: 285-292.
- Tafrihi SG, A Ayenehband, H Tavakoli, SK Khorasani and M Joleini. 2013. Impacts of drought stress and planting methods on sweet corn yield and water use efficiency. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 3: 23-31.
- Tahir M, AU Hassan, ZA Zahir and KU Rehman. 2012. Modeling water retention capacity and hydraulic properties of a manure-amended loam soil and its effect on wheat and maize yield. *International Journal of Agriculture & Biology* 14: 492-498.
- Takahashi E, JF Ma and Y Miyake. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry* 2: 99-122.
- Teixeira FF, IRP Sousa, EEG Gama, CAP Pacheco, SN Parentoni, MX Santos and WF Meirelles. 2001. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. *Ciência e Agrotecnologia* 25: 483-488.
- Teixeira FF, EEG Gama and FM Costa. 2009. Aspectos agronômicos e de qualidade de espiga em famílias endogâmicas de milho doce. Circular Técnica 121, EMBRAPA, p.1-6, 2009.
- Trani PE, SW Tiveli and OA Carrijo. 2011. *Fertirrigação em hortaliças*. 2.ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2011. 51p. Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 196.
- Van Genuchten MT. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- Zhu Y and H Gong. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agron. Sustain. Dev* 34: 455-472.

## 7. CONCLUSÃO GERAL

O papel do silício como insumo adicional pode ser valioso em regiões agrícolas com frequentes períodos de seca, como os do bioma Cerrado brasileiro. O diâmetro do caule de milho doce, a altura de plantas e o número de folhas por planta não diminuíram com o estresse hídrico quando pulverizados com silicato de potássio. Esses parâmetros de desenvolvimento, principalmente o diâmetro do caule, mostraram uma estreita relação com o Si sob estresse hídrico. O comprimento da raiz apresentou valores mais elevados com 60 kPa de tensão solo-água, mas nenhum efeito aparente dependente de silício. O papel protetor do silício, reduzindo os impactos negativos do estresse hídrico sobre as características de desenvolvimento do milho doce, foi confirmado.

Os fatores estudados com aplicação de silício como elicitor de resistência em características de rendimento de milho doce sob estresse hídrico não afetaram isoladamente ou em interação a maioria dos parâmetros de produção de milho doce.

O rendimento da planta de milho doce foi afetado principalmente pela tensão da água no solo de 60 kPa.

## 8. APÊNDICES

APÊNDICE A - Informe técnico submetido ao Informe Goiano

### **PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL EM PARCELAS SUBDIVIDIDAS E CONSTRUÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Aushie Luis Graça Araújo<sup>1</sup>, Aurélio Rúbio Neto<sup>1</sup>, Amanda Maria de Almeida<sup>2</sup>, João de Jesus Guimarães<sup>2</sup>,  
Fernando Soares de Cantuário<sup>3</sup>, Leandro Caixeta Salomão<sup>3</sup>, Carmen Rosa da Silva Curvelo<sup>3</sup>, José Magno  
Queiroz Luz<sup>4</sup>, Alexandre Igor Azevedo Pereira<sup>3</sup>, Mara Lúcia Cruz de Souza<sup>2</sup>, Juliana Carla Carvalho dos  
Santos<sup>3</sup>

1 Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brazil

2 Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, Brazil

3 Instituto Federal Goiano, Campus Urutai, Urutai, Goiás, Brazil

4 Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil



## APÊNDICE B - Artigo publicado no Journal of Agricultural Science

Journal of Agricultural Science, Vol. 11, No. 5; 2019  
ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760  
Published by Canadian Center of Science and Education

---

## Potassium Silicate, Against Water Stress, in Sweet Corn Plant Growth Traits

Ausbie Luis Graça Araújo<sup>1</sup>, Amanda Maria de Almeida<sup>2</sup>, João de Jesus Guimarães<sup>2</sup>,  
Fernando Soares de Cantuário<sup>3</sup>, Leandro Caixeta Salomão<sup>3</sup>, Carmen Rosa da Silva Curvêlo<sup>3</sup>,  
Aurelio Rúbio Neto<sup>1</sup>, José Magno Queiroz Luz<sup>4</sup> & Alexandre Igor Azevedo Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, Brazil

<sup>3</sup> Instituto Federal Goiano, Campus Urutai, Urutai, Goiás, Brazil

<sup>4</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil

Correspondence: Alexandre Igor Azevedo Pereira, Instituto Federal Goiano, Campus Urutai, Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, Fazenda Palmital, CEP: 75.790-000, Urutai, Goiás, Brazil. Tel: 55-649-9287-4821. E-mail: aiapereira@yahoo.com.br

Received: November 7, 2018

Accepted: February 4, 2019

Online Published: April 15, 2019

doi:10.5539/jas.v11n5p172

URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p172>

APÊNDICE C – Manifesto de aceite do artigo submetido à Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.

## POTASSIUM SILICATE AS A RESISTANCE ELICITOR IN SWEET CORN YIELD TRAITS, UNDER WATER STRESS

Ausbie Luís Graça Araújo, Amanda Maria de Almeida, João de Jesus Guimarães, Fernando Soares de Cantuário, Leandro Caixeta Salomão, Aurélio Rúbio Neto, José Magno Queiroz Luz & Alexandre Igor Azevedo Pereira.

----- Mensagem encaminhada -----

**De:** Revista Colombiana Ciencias Hortícolas <[rcch@uptc.edu.co](mailto:rcch@uptc.edu.co)>

**Para:** ALEXANDRE IGOR DE AZEVEDO PEREIRA <[aiapereira@yahoo.com.br](mailto:aiapereira@yahoo.com.br)>

**Cc:** Gerhard Fischer <[gerfischer@gmail.com](mailto:gerfischer@gmail.com)>; Diego Miranda <[dmirandal01@gmail.com](mailto:dmirandal01@gmail.com)>

**Enviado:** terça-feira, 9 de abril de 2019 11:04:04 BRT

**Assunto:** RCCH, aceptación parcial para artículo de maiz dulce

Estimado Alexandre

Reciban un cordial saludo desde el Equipo Editorial de la Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.

Queremos informarle que su manuscrito "Potassium silicate as a resistance elicitor in sweet corn yield traits, under water stress" fue aprobado parcialmente para su publicación. Por favor hacer las correcciones de acuerdo a los conceptos enviados en los adjuntos y entregar la versión definitiva en un plazo no mayor a 25 días calendario junto con una carta confirmando los cambios realizados.

Nosotros estudiaremos la nueva versión del manuscrito junto con la carta de respuesta a cada comentario de los revisores y daremos respuesta en el término de 5 días calendario de su publicación definitiva.

Agradecemos el recibido del mensaje.

Un cordial saludo,

Arley Garcia  
Asistente Editorial  
Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas  
Teléfono móvil: (57) 3138055135  
Skype: alvaro.arley.garcia.gomez

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=df2aa8f605&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1630346353238886860&simpl=msg-f%3A16303463...> 1/5

Manifesto de aceite do trabalho “POTASSIUM SILICATE AS A RESISTANCE ELICITOR IN SWEET CORN YIELD TRAITS, UNDER WATER STRESS” pela Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.