

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
BRUNO GARCIA DE OLIVEIRA

ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SILÍCIO EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO NO MILHO DOCE

MONTE CARMELO

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
BRUNO GARCIA DE OLIVEIRA

ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SILÍCIO EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO NO MILHO DOCE

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas José Marques.

MONTE CARMELO

2022

BRUNO GARCIA DE OLIVEIRA

ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SILÍCIO EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO NO MILHO DOCE

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 22 de março de 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Douglas José Marques
Orientador (a)

Prof^{ta}. Dr^a. Ana Carolina Silva Siquieroli
Membro da Banca

Eng. Agrônomo Hugo Gabriel Peres
Membro da Banca

Monte Carmelo
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus que sempre me guiou durante a graduação.

Agradecer aos meus pais que sempre me apoiaram, deram forças para vencer durante toda a graduação, agradecer ao meu avô e minha avó que não estão mais aqui presentes, mas sempre me incentivaram muito. Agradecer a toda a minha família que sempre esteve presente apoiando de alguma forma.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes e apoiando durante toda a trajetória da graduação.

Agradecer aos professores e técnicos da Universidade Federal de Uberlândia que passaram os conhecimentos necessários para a formação de Engenheiro Agrônomo.

Agradecer os integrantes do grupo de pesquisa NESF, Marcello, João Paulo e Matheus e aos amigos Hugo, João Pedro e Gustavo que ajudaram durante a condução do experimento.

Agradecer ao professor/orientador Douglas José Marques que auxiliou e transmitiu conhecimento para realização de todos as etapas do experimento.

SUMÁRIO

RESUMO	4
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 OBJETIVO	6
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
3.1 Milho-doce	6
3.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	7
3.3 Silício (si) e mitigação do estresse hídrico	8
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4.1 Condições Experimentais	10
4.2 Caracterização do Solo	11
4.3 Correção do solo e fertilização	13
4.4 Irrigação.....	14
4.5 Inóculo de FMA	15
4.6 Avaliações	15
4.7 Análises estatísticas	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS	22

RESUMO

Na última safra, o estresse hídrico diminuiu o potencial produtivo de cultivos de milho em diversas regiões brasileiras. O silício (Si), assim como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), são potenciais alternativas para mitigar este tipo de estresse de seca. Todavia, são escassos os estudos com a associação de Si e FMA. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi investigar a associação de FMA e Si no crescimento e nuances de cores nas folhas do milho-doce submetido a diferentes níveis de estresse hídrico. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação sob delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Foi utilizado o híbrido simples FT 2015, a semeadura e desenvolvimento da planta foram em vasos de 25 L preenchidos com solo, utilizando a irrigação por gotejamento. Os tratamentos consistiram de um esquema fatorial 2x2x5, envolvendo dois corretivos de solo (silicato de cálcio e calcário dolomítico) e dois níveis de inoculação de FMA (ausência e presença) e cinco lâminas de irrigação (40, 60, 80, 100 e 120% de reposição). Foram avaliadas a altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e índice SPAD. As lâminas de irrigação foram eficientes para causar estresse hídrico no milho-doce, diminuindo crescimento e SPAD. O Si promoveu aumento significativo no índice SPAD quando em estresse hídrico severo. Independente da lâmina, tanto o Si como FMA, isolados ou em conjunto, promoveram aumento do índice SPAD.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L., água, simbiose, silicato de cálcio.

1 INTRODUÇÃO

O milho-doce (*Zea mays* L. var. *saccharata*) é cultivado em diversas regiões do Brasil e destina-se especialmente ao consumo humano. Difere-se do milho comum por apresentar maior teor de açúcares em função da presença de um ou mais alelos mutantes, como *shrunk-2* (*sh2*) e *brittle-2* (*bt2*), o que resulta em um maior teor de açúcares no endosperma dos grãos. Pode ser consumido *in natura*, como mini milho ou milho-verde, ou ainda ser processado pelas indústrias de alimentos em conserva. No Brasil, a maior parte da produção destina-se ao processamento industrial (Teixeira et al., 2014; Pereira et al., 2019; Vendruscolo et al., 2018).

No ano de 2010, a agroindústria do milho-doce em conserva movimentou uma quantia superior a R\$ 500 milhões (Teixeira et al., 2014). Em 2016, este valor quase triplicou e atingiu a marca de R\$ 1,44 bilhões (Pereira et al., 2019). Apesar do alto valor de mercado do segmento de conservas, existe um alto potencial de crescimento dos cultivos visando o consumo *in natura*, que tendem a ser mais rentáveis ao produtor (Vendruscolo et al., 2018).

Na última safra, o estresse hídrico foi responsável por diminuir o potencial produtivo de cultivos de milho em diversas regiões produtoras brasileiras (CONAB, 2021a; 2021b; 2021c). O Si vêm sendo estudado como um potencial amenizador deste estresse em plantas de milho. Marques et al. (2021) relataram efeitos positivos do Si no crescimento, produção de grãos, eficiência no uso da água, fotossíntese, condutância e densidade estomática, espessura da epiderme e outros parâmetros morfofisiológicos. Já os Fungos micorrízicos arbusculares, alguns estudos vêm sendo feito sobre eles por aumentarem a resistência a seca e promover um maior desenvolvimento radicular para as plantas.

Alguns estudos reportam o aumento na concentração de Si tanto nas raízes (Frew et al., 2017) como na parte aérea de plantas inoculadas com FMA (Fungos Micorrizicos Arbusculares) (Ju et al., 2021; Hajiboland et al., 2018; Oye Anda et al., 2016). Todavia, os efeitos da associação do Si com a inoculação de FMA em plantas submetidas ao estresse hídrico são pouco estudados. Resultados promissores foram obtidos em plantas de morango por Moradtalab et al. (2019) ao utilizarem o Si associado ao FMA.

O SPAD é um clorofilometro portátil que mede o teor de clorofila de forma rápida, simples e sem danificar a folha. Ele é muito eficiente para medir a quantidade de nitrogênio que as plantas conseguem assimilar durante todo o seu ciclo. (PORTO et al., 2011).

Desta forma, este trabalho pode gerar informações de relevância para fomentar o desenvolvimento de novas tecnologias e pesquisas visando a mitigação do estresse hídrico.

2 OBJETIVO

Assim, o objetivo dessa pesquisa foi investigar a associação de fungos micorrízicos arbusculares e silício no crescimento e nuances de cores nas folhas milho-doce submetido a diferentes níveis de estresse hídrico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Milho-Doce

O milho-doce (*Zea mays L.*) pode ser colhido antes da polinização para ser consumido como mini milho (*baby corn*) ou quando as espigas atingem cerca de 70-75% de umidade, no estágio de milho-verde, para ser consumido *in natura* (cozido ou assado) ou processado (Pereira Filho e Teixeira, 2016). Além disto, as plantas podem ser utilizadas para a alimentação animal após a colheita das espigas (Purcino, 2016).

A presença dos alelos mutantes altera, além do teor de açúcares, a textura, aroma e sabor dos grãos (Teixeira et al., 2013; Teixeira, 2016). Por se diferenciar do milho comum somente pela presença de um ou dois alelos mutantes, qualquer germoplasma-elite de milho comum é passível da transferência destes alelos pelo método de retrocruzamento (Pereira et al., 2019). Esta estratégia pode acelerar o lançamento de cultivares, visto que os híbridos resultantes não precisam ser testados (Entringer et al., 2017).

No Brasil, o milho-doce é cultivado o ano todo, tanto em cultivos de sequeiro como irrigados, sendo os irrigados por pivô central dominantes quando o objetivo é atender a indústria. Devido ao ciclo curto e ao fato de seu cultivo ser realizado de forma intensiva e com altos investimentos é considerada uma cultura olerícola, pois são as culturas que demandam uma maior utilização do uso da terra e dos métodos para o cultivo. Nas áreas de produção para atender as indústrias, o manejo da cultura deve ser ajustado, pois é importante produzir espigas adequadas ao processamento. Neste sentido, deve-se priorizar manejos que maximizem a

produção de espigas grandes e com grãos profundos (Pereira Filho e Teixeira, 2016; Purcino, 2016).

Quase toda a produção nacional destina-se ao processamento industrial e está concentrada nos estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo. Tal crescimento se deve aos investimentos da indústria em máquinas mais modernas e de instituições públicas e empresas de sementes na condução de programas de melhoramento visando o desenvolvimento de cultivares com genética tropicalizada (Pereira Filho e Teixeira, 2016; Pereira et al., 2019).

3.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Os FMA pertencem ao filo Glomeromycota e estabelecem interações ecológicas do tipo simbiose com cerca de 80% das plantas terrestres conhecidas, incluindo diversas espécies de interesse econômico. A associação simbiótica do FMA com a planta é chamada de micorriza. Estima-se que a micorriza tenha se estabelecido há cerca de 400-460 milhões de anos (Madigan et al., 2016). Atualmente, estes fungos estão bem representados nos diversos biomas neotropicais, onde desempenham importante papel na manutenção do ecossistema (Stürmer e Kemmelmeier, 2021).

A colonização de uma raiz por uma FMA inicia-se com a germinação do esporo, o qual produz um curto micélio de germinação que, por meio de sinais químicos, reconhece a planta hospedeira. Ao entrar em contato com as células da epiderme da raiz, o fungo produz uma estrutura de adesão chamada hifopódio. A partir dessas estruturas, desenvolvem-se as hifas de penetração que seguem até o córtex interno da raiz, onde formam-se os arbúsculos, que são extensas hifas enoveladas ou ramificadas. Com a interação estabelecida, a simbiose ocorre da seguinte forma: o fungo fornece nutrientes minerais (principalmente P e N) e água para a planta, que retribui fornecendo moléculas orgânicas, como carboidratos (Berbara et al., 2006; Madigan et al., 2016).

Com relação a dependência micorrízica, as plantas podem ser classificadas em facultativas, obrigatórias e não-micorrízicas. A associação facultativa geralmente ocorre em solos com boas condições ao desenvolvimento das plantas, não necessitando da simbiose para se desenvolverem de forma satisfatória. Nestas situações, mecanismos genéticos presentes nas plantas inibem a simbiose. Algumas plantas nativas de regiões com solos de baixa fertilidade

necessitam obrigatoriamente dos FMA e não crescem em sua ausência. No entanto, cerca de 20% das plantas terrestres não desenvolvem micorrizas, sendo, geralmente, nativas de solos com alta fertilidade. A família *Brassicaceae*, da qual pertencem diversas espécies de interesse agrônomo, pertence a este grupo. Nas plantas não-micorrízicas, a colonização é impedida por mecanismos de incompatibilidade genética (Berbara et al., 2006).

Em situações de baixa disponibilidade de água no solo, o crescimento dos FMA é prejudicado. Todavia, algumas espécies são relatadas como tolerantes, como as do gênero *Glomus*. Nestas situações, as plantas acionam os FMA por meio da secreção de hormônios sinalizadores, chamados destrigolactonas e pôr as raízes apresentaram alta plasticidade para diversas características elas podem ser modificadas pelos FMA, por meio de mecanismos de regulação transcricional de genes que afetam diversos processos metabólicos (Bahadur et al., 2019).

3.3 Silício e mitigação do estresse hídrico

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, estando atrás apenas do oxigênio. Foi recentemente considerado *pelo International Plant Nutrition Institute (IPNI)* como um nutriente benéfico devido às diferentes funções exercidas no metabolismo vegetal. É absorvido pelas plantas de forma ativa por meio dos transportadores Lsi1, que pertencem a família das aquaporinas (Malik et al., 2021).

A nível celular, o estresse hídrico resulta no acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem levar a danos celulares causados pela peroxidação de lipídeos. Para controlar os níveis de EROs, as plantas possuem um complexo sistema antioxidante enzimático, do qual fazem parte as enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase, as quais têm sua atividade aumentada pelo Si (Gong et al., 2005; Malik et al., 2021; Zhu et al., 2004). Outro mecanismo de mitigação do estresse hídrico é a manutenção da taxa fotossintética e da condutância estomática da planta, mesmo em solo seco (Hattori et al., 2005), devido à redução da transpiração por meio da cutícula (Ma e Yamaji, 2006). O Si tem, ainda, efeito por meio da proteção mecânica que é atribuído, sobretudo, ao seu depósito na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) na parede celular. O acúmulo de sílica nos órgãos onde ocorre a transpiração provoca a

formação de uma dupla camada de sílica cuticular, que pela diminuição da transpiração, podendo fazer com que a exigência de água pelas plantas seja menor (Korndörfer et al., 2004).

Marques et al. (2021) relataram efeitos positivos do Si no crescimento, produção de grãos, eficiência no uso da água, fotossíntese, condutância e densidade estomática, espessura da epiderme e outros parâmetros morfofisiológicos de plantas de milho submetidas ao estresse hídrico. Além do milho, efeitos benéficos têm sido relatados em outras gramíneas cultivadas. A Tabela 1 apresenta algumas alterações causadas pelo estresse hídrico e o efeito do Si como mitigador em algumas gramíneas cultivadas.

Tabela 1. Efeito do Si e do estresse hídrico em parâmetros fisiológicos de algumas gramíneas cultivadas. Adaptada de Malik et al. (2021).

Cultura	Parâmetro	Efeito do estresse hídrico	Efeito do Si
Arroz	Fotossíntese	Diminuição	Incremento
	Transpiração	Diminuição	Incremento
	Potencial hídrico	Diminuição	Incremento
	Eficiência no uso da água	Diminuição	Incremento
	Absorção de nutrientes	Diminuição	Incremento
	Eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FotossistemaII (Fv/Fm)	Diminuição	Incremento
	Trigo	Crescimento	Diminuição
Potencial hídrico		Diminuição	Incremento
Teor de Clorofilas		Diminuição	Incremento
Teores de prolina e glicina betaína		Incremento	Diminuição
Cana-de-açúcar	Crescimento	Diminuição	Incremento
	Teor de clorofila	Diminuição	Incremento
	Condutância estomática	Diminuição	Incremento
	Teores de prolina e malondialdeído	Incremento	Diminuição

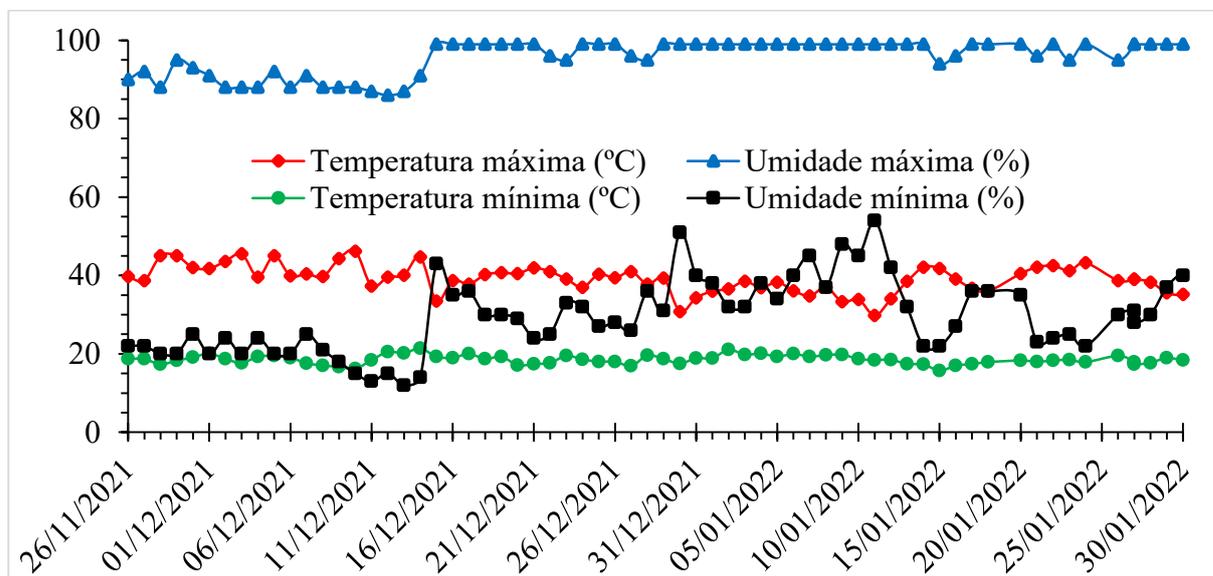
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condições experimentais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo arco, coberta com filme plástico de 150 micras aditivado e as laterais revestidas com tela branca do tipo antiafídeo. A casa de vegetação está localizada no Campo Demonstrativo e Experimental – CaDEx, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo-MG (18°43'36.26"S; 47°31'28.50"O; 903m).

Durante o cultivo das plantas, a umidade máxima diária sempre ficou acima de 85%, e a umidade mínima variou entre 10% a 26% nos 20 primeiros dias e entre 25 a 55% nos dias restantes. As mínimas de temperaturas diárias variaram levemente por volta de 15-20 e as máximas por volta de 35-45 ° C (Figura 1).

Figura 1. Máximas e mínimas diárias de temperatura (° C) e umidade relativa do ar (%) dentro da casa-de-vegetação.



O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos foram arrançados em um esquema fatorial 2x2x5, envolvendo dois tipos de correção do solo (silicato de cálcio e calcário), dois níveis de inoculação de FMA (ausência e presença) e cinco lâminas de irrigação (40, 60, 80, 100 e 120% de reposição da

tensão recomendada). As parcelas experimentais foram conduzidas com uma planta por vaso, totalizando 80 vasos no interior da casa de vegetação.

O genótipo de milho-doce utilizado foi o híbrido simples FT 2015. Segundo a empresa responsável pela comercialização das sementes, este híbrido apresenta ciclo de 90 dias após a semeadura (DAS) e é caracterizado pelos grãos de coloração clara, alta produtividade e plantas com sanidade elevada. O plantio na região Sudeste do Brasil é recomendado entre os meses de agosto a dezembro. Foram semeadas três sementes por vaso e aos 20 DAS foi realizado o desbaste, deixando somente uma planta por vaso.

4.2 Caracterização do solo

O solo utilizado para preencher os vasos foi um Latossolo Vermelho Distrófico, coletado na camada de 0-20 cm, em uma área adjacente a vegetação nativa do bioma Cerrado, no município de Monte Carmelo-MG (18°32'33.76"S; 47°29'10.65"O, 799 m). Para a caracterização química (Tabela 2), foram coletadas cerca de 20 amostras simples, que foram homogeneizadas para retirada uma amostra composta, a qual foi submetida a análise no Laboratório Brasileiro de Análises Agrícolas (LABRAS).

Tabela 2. Caracterização química e textural do solo.

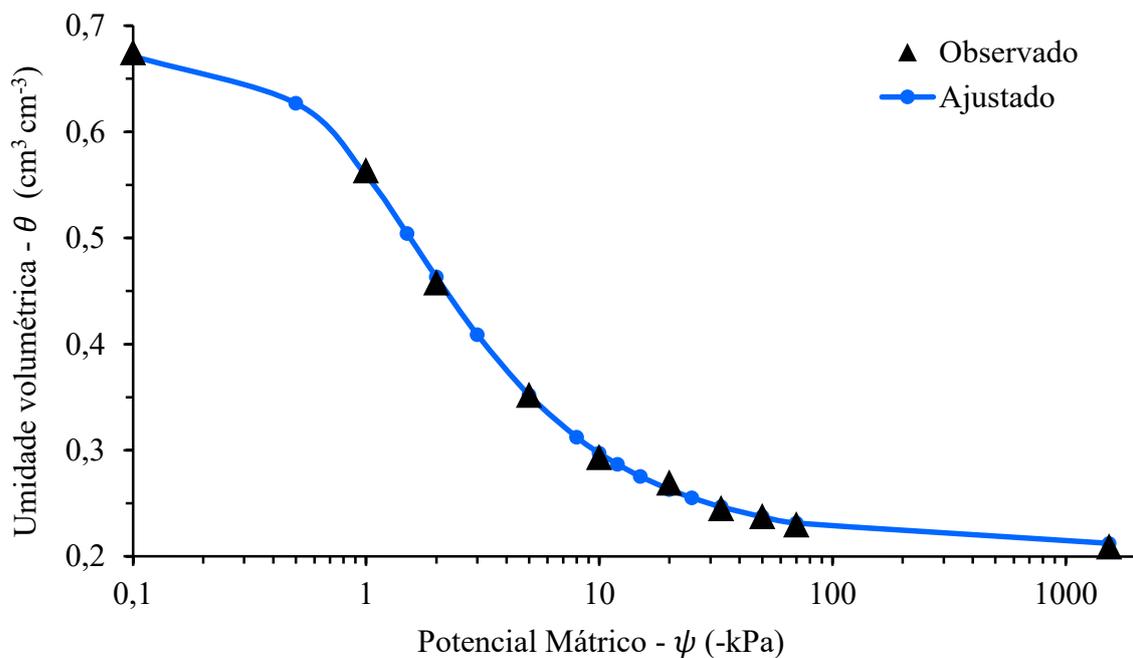
Característica	Valor	Classe de Fertilidade ¹
pH em H ₂ O (-log [H ⁺])	5,2	Baixo
P-melich (mg dm ⁻³)	5,4	Baixo
K ⁺ (mg dm ⁻³)	39	Baixo
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,18	Muito Baixo
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,04	Muito Baixo
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	1	Muito Baixo
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	Baixo
H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,2	Baixo
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,31	Muito Baixo
T (cmol _c dm ⁻³)	2,52	Baixo
t (cmol _c dm ⁻³)	0,57	Muito Baixo

V (%)	12	Baixo
m (%)	45	Médio
M.O. (dag.kg ⁻¹)	1,4	Baixo
C. O. (dagkg ⁻¹)	0,8	Baixo
Si (mg dm ⁻³)	8,3	-
Cu (mg dm ⁻³)	1	Médio
Fe (mg dm ⁻³)	16	Baixo
B (mg dm ⁻³)	0,13	Muito Baixo
Mn (mg dm ⁻³)	7,7	Médio
Zn (mg dm ⁻³)	0,7	Baixo

¹ De acordo com Venegas et al. (1999); M.O.: Matéria orgânica; C.O.: Carbono orgânico;

Para a análise físico-hídrica, foi coletada uma amostra indeformada em um vaso aleatório na profundidade de 10 cm com o auxílio de um anel de aço inoxidável de 50 mm de diâmetro. A partir da análise da amostra indeformada, foi construída a curva de retenção de água do solo pelo ajuste dos dados ao modelo de van Genuchten (Figura 2).

Figura 2. Curva de retenção de água do solo, ajustada pelo modelo de *van Genuchten* (1986).



4.3 Correção do solo e fertilização

A aplicação das condições de estresse hídrico iniciou-se 30 dias após a semeadura, quando todas as plantas se encontravam em pleno desenvolvimento e continuou até o final do período de coleta de dados, conforme recomendação de Guerra (2000). As doses de Si utilizadas foram calculadas para corrigir a acidez do solo, conforme recomendado por Raij e Cantarella (1997) e adaptado por Marques et al. (2021) para a cultura do milho. Após a aplicação de Si nas concentrações utilizadas nos tratamentos (Tabela 3), o solo foi incubado por 45 dias. Como fonte de CaSiO_3 , foi utilizado um reagente puro ($\text{CaO} = 12\%$, $\text{SiO}_2 = 78\%$) a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de silicato recomendado para correção do solo. Como tratamentos de irrigação, aplicamos água a 40, 60, 80, 100 e 120% da capacidade de campo, considerando a reposição hídrica necessária para um solo de Latossolos. O delineamento experimental teve quatro repetições, com volume de 25 dm^3 em cada vaso utilizado, foram padronizadas para aplicação de reposição de água: 40, 60, 80, 100 e 120% das capacidades de campo.

Tabela 3. Quantidade e método de aplicação dos fertilizantes utilizados.

Fertilizante	Quantidade (g vaso ⁻¹)	Método de aplicação
Fosfato monoamônico ((NH_4) H_2PO_4)	18,1	Misturados ao solo dois dias antes da semeadura
Fosfato monopotássico (KH_2PO_4)	6,6	
Sulfato de Magnésio ($\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$)	10,8	
Cloreto de Potássio (KCl)	5,1	Três coberturas por coroamento, realizadas aos 20, 40 e 55 DAS
Ureia($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)	10,9	
Ácido Bórico (H_3BO_3)	0,060	Via solução nutritiva aos 22 DAS
Sulfato de Cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0,120	
Molibdato de Amônio ((NH_4) $\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	0,006	
Sulfato de Zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0,391	

4.4 Irrigação

A irrigação foi realizada via gotejamento, sendo os emissores do tipo botão autocompensante (*Netafim PCJ-CNL*). Os emissores foram conectados em tubos de polietileno de baixa densidade (PELBD) com 16 mm de diâmetro e microtubos do tipo *spaghetti* com diâmetro de 5mm, conectados a hastes angulares. Para fornecer as lâminas em estudo, a estratégia consistiu em fixar o tempo de irrigação e variar a vazão dos emissores, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Vazão dos emissores ($L h^{-1} vaso^{-1}$) utilizados para obter as lâminas de irrigação (%).

Vazão ($L h^{-1} vaso^{-1}$)	Lâmina de irrigação (%)
2	40
3	60
4	80
5	100
6	120

A tomada de decisão sobre o momento da irrigação foi realizada via tensiometria. Foram instalados 4 tensiômetros a 15 cm de profundidade na lâmina de 100%, utilizada como referência para irrigação. O monitoramento dos tensiômetros foi realizado diariamente, aproximadamente às 17:00 horas. A tensão crítica da lâmina de referência (100%) para tomada de decisão de irrigação foi adotada como sendo próxima a -30 kPa conforme recomendação de Guerra (2000). O sistema de irrigação foi alimentado por um conjunto motobomba de 0,5cv de potência, cujo tempo de funcionamento foi programado por meio de um controlador digital com resolução de 1 minuto.

4.5 Inóculo de FMA

Os fungos micorrízicos arbusculares utilizados pertencem a Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Um inóculo misto, elaborado a partir da mistura de quantidades iguais dos seguintes isolados de FMAs: *Acaulosporalongula* PNB101A, *Rhizophagusclarus* SCT720A, *Gigasporaalbida* PRN200A, *Dentiscutataheterogama* MGR610A, *Rhizophagusintraradices* SCT736J, *Acaulosporamellea* SCT063B foi aplicado nos 5 cm superficiais, no centro do vaso, antes da semeadura, na dose de 12 g de inóculo vaso⁻¹.

4.6 Avaliações

Foram avaliados os seguintes parâmetros de crescimento, aos 45 DAS:

Diâmetro do caule (DIAM) (mm): avaliado com paquímetro digital com resolução de 0,1 mm, cerca de 5 cm acima do nível do solo;

Altura da planta (ALT) (cm): distância entre o nível do solo e o ápice da planta, medida com trena com graduação de 0,2 cm;

Número de folhas (NF) (folhas planta⁻¹): contagem do número de folhas ativas totalmente expandidas;

Índice SPAD: avaliado ao florescimento pleno (aprox. 60 DAS), em três folhas do terço médio da planta com medidor SPAD-502 plus (Konica Minolta).

4.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em caso de interação significativa, os efeitos foram desdobrados dentro dos níveis de cada fator. As médias dos fatores Si e FMA foram comparadas pelo teste de *Tukey*. Ao fator lâminas de irrigação, foi aplicado análise de regressão. Os termos das equações de regressão foram testados pelo teste *t*. Todas as análises

foram realizadas no *software RStudio*. Para todas as análises estatísticas, o nível de significância adotado foi de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou significância dos efeitos simples do fator lâmina para todas as variáveis estudadas ($p < 0,01$). Para ALT e NF, foi observado efeito significativo de FMA. Si apresentou efeito significativo para ALT e DIAM. Para o índice SPAD, houve significância da interação entre os fatores Si e FMA, bem como a interação entre Si e lâmina (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo das análises de variâncias das variáveis altura (ALT), diâmetro do caule (DIAM), número de folhas (NF) aos 45 DAS e índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) avaliado no florescimento de milho-doce cv. FT 2015 submetido a diferentes lâminas de irrigação, aplicação de Si e inoculação com FMA.

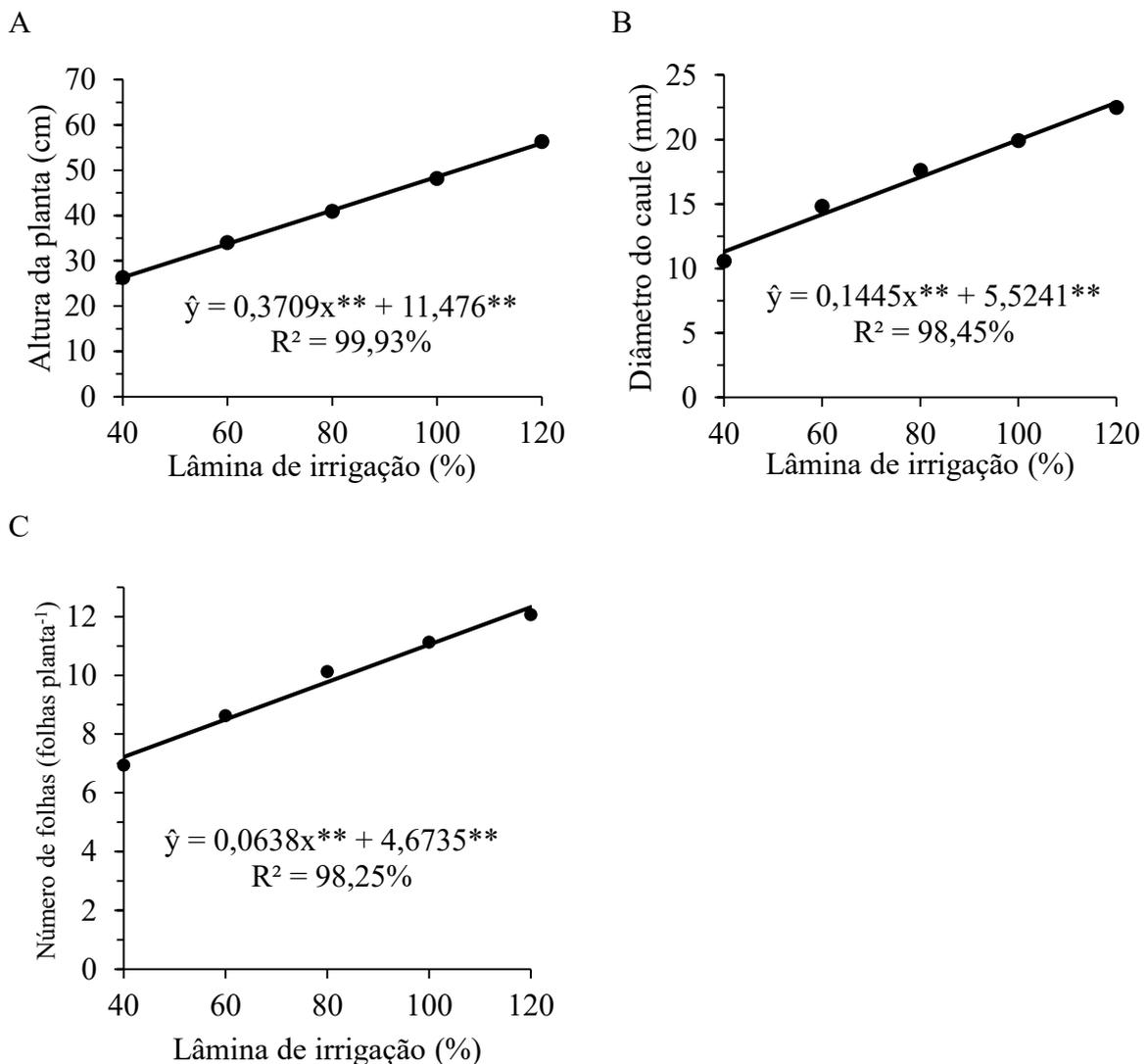
Fonte de variação	Quadrado médio			
	ALT	DIAM	NF	SPAD
Lâmina	2204,79**	340,51**	38,49**	424,13**
Si	1336,61**	86,61**	0,11 ^{ns}	386,23**
FMA	382,81*	34,01 ^{ns}	10,51*	34,79 ^{ns}
Lâmina*Si	107,83 ^{ns}	10,55 ^{ns}	1,45 ^{ns}	46,75 **
Lâmina*FMA	69,03 ^{ns}	9,33 ^{ns}	1,04 ^{ns}	33,72 ^{ns}
Si*FMA	86,11 ^{ns}	8,42 ^{ns}	0,11 ^{ns}	197,02 **
Lâmina*Si*FMA	73,27 ^{ns}	15,11 ^{ns}	1,58 ^{ns}	5,55 ^{ns}
CV (%)	20,05	17,07	13,42	9,55

* e ** indicam p -valores menores que 0,05 e 0,01, respectivamente. ^{ns}: não significativo. CV: Coeficiente de variação.

A lâmina de irrigação, com variação de 40% a 120%, resultou em incremento linear para ALT, DIAM e NF das plantas de milho (Figura 3). Estes resultados mostram que este híbrido, FT 2015, é uma planta que é susceptível ao estresse hídrico, podendo ser usada em pesquisas para estudar tal estresse. O comportamento linear nesta faixa indica que também é um genótipo responsivo a aplicação de água.

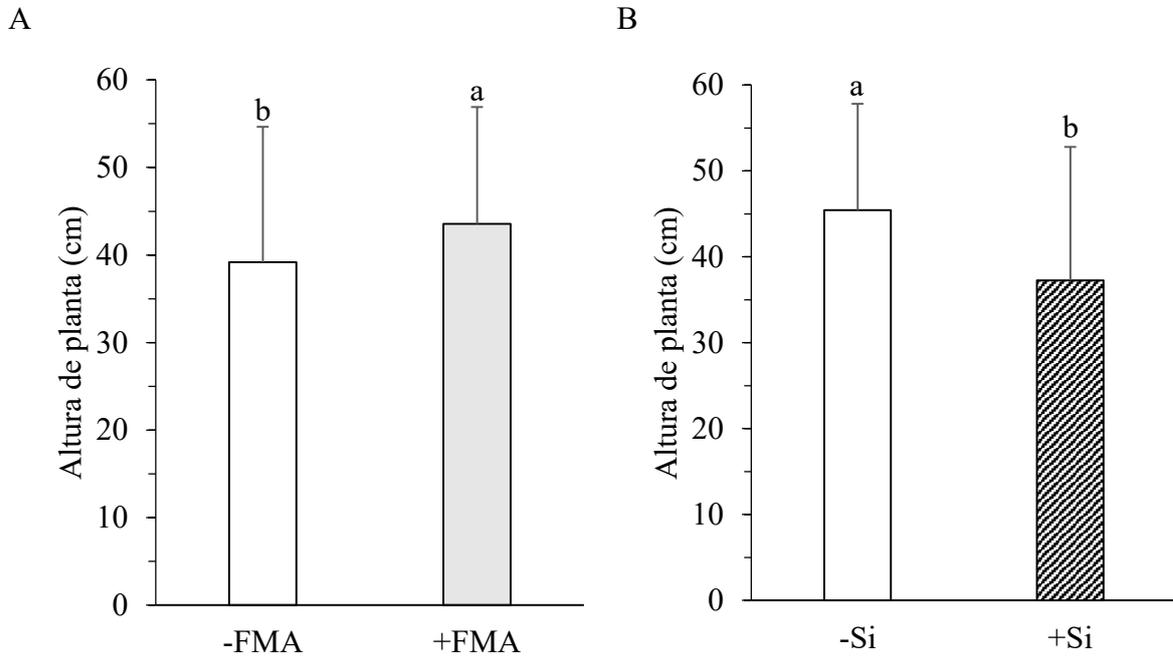
Marques et al., (2021) encontraram comportamento distinto, do tipo quadrático, em faixas de reposição hídrica similar, em que nas faixas superiores a 100% de reposição hídrica não obtiveram aumento agrônômico da cultivar BR 106 quando comparada com a faixa de 100% de reposição hídrica.

Figura 3. Efeito de lâminas de irrigação na altura (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas (C) de plantas de milho doce cv. FT 2015 aos 45 D.A.S., 15 dias após a imposição do estresse hídrico.



Para a variável ALT, a análise de variância indicou efeito significativo para todos fatores isolados (Tabela 5). Houve um aumento da ordem de 10% (39,18 *versus* 43,55) nas plantas inoculadas com os FMAs (Figura 4A). Silva et al. (1998), também observaram incremento na altura de plantas de pupunheira submetidas a inoculação com FMA.

Figura 4. Altura de plantas (cm) de milho doce FT 2015 aos 45 D.A.S. em função da inoculação com FMA (A) e aplicação de Si (B).

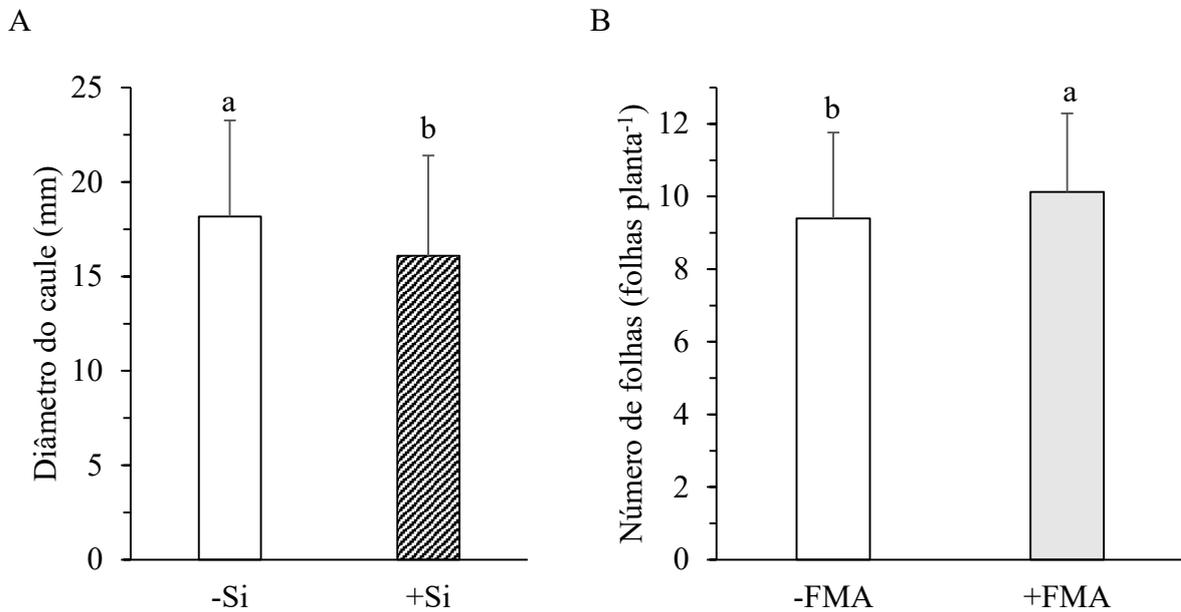


Colunas seguidas por letras distintas se diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o fator Si, observou-se que não houve incremento no crescimento de plantas que tiveram o Si incrementado no solo. Pelo contrário, plantas que tiveram o silício incrementado obtiveram uma ALT (Figura 4B) e DIAM (Figura 5A) menor do que a testemunha (-Si). Os resultados obtidos são similares aos de Neri (2006), que observou que o Si não proporcionou aumento da ALT de milho. Miranda et al. (2018) também não obtiveram aumento do DIAM pela incorporação de Si no solo para a cultivar de milho AG-1051.

Apesar da ligeira redução na ALT e DIAM, o Si não teve efeito significativo no NF (Tabela 5), indicando que provavelmente ocorreu um ligeiro encurtamento dos internódios das plantas. Por outro lado, houve um ligeiro aumento do NF das plantas que tiveram a inoculação com os FMAs (Figura 5B).

Figura 5. Efeito da aplicação de Si (A) e inoculação com FMA (B) no diâmetro do caule (mm) e número de folhas (folhas planta⁻¹) de milho doce cv. FT 2015 submetido a diferentes lâminas de irrigação, respectivamente.

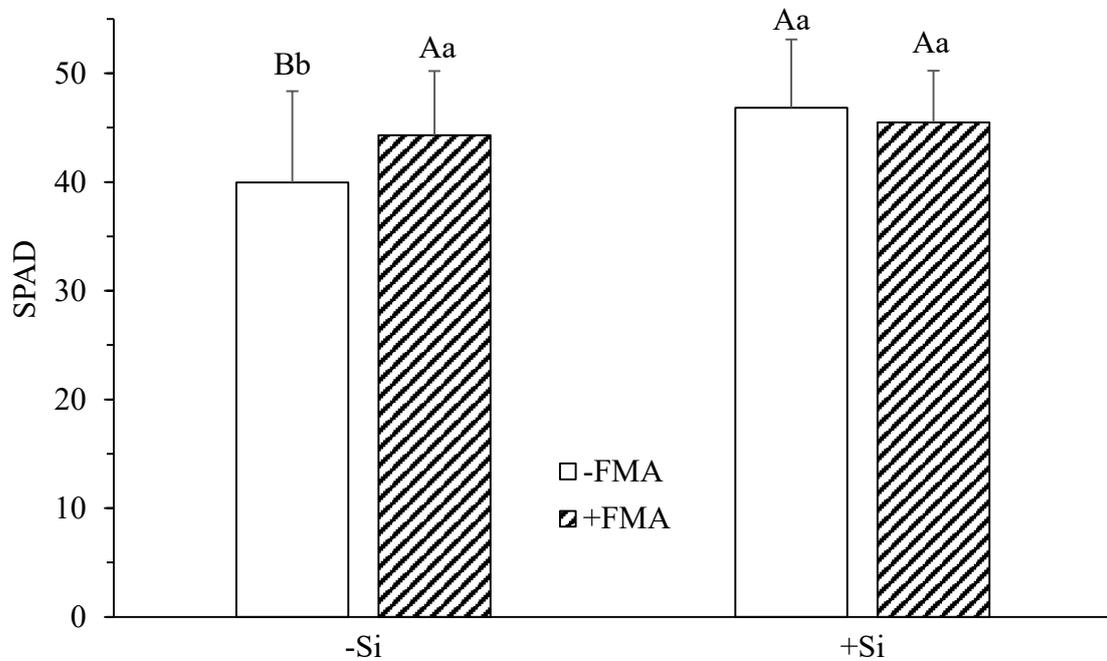


Colunas seguidas por letras distintas se diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados de Silva et al. (1998), demonstraram não haver aumento do NF quando foi inoculado FMAs nas plantas cultivadas. Entretanto, neste experimento, a inoculação dos FMAs proporcionou um aumento do NF.

Observou-se um aumento significativo do índice SPAD nos tratamentos com o Si e FMA, isolados ou em conjunto, em relação ao controle, independente da lâmina de irrigação (Figura 6). O SPAD é um clorofilometro portátil que mede o teor de clorofila de forma rápida, simples e sem danificar a folha. Ele é muito eficiente para medir a quantidade de nitrogênio que as plantas conseguem assimilar durante todo o seu ciclo. (PORTO et al., 2011).

Figura 6. Interação de Silício e Fungos Micorrízicos Arbusculares no índice SPAD de plantas de milho doce FT 2015 expostas a diferentes níveis de estresse hídrico.

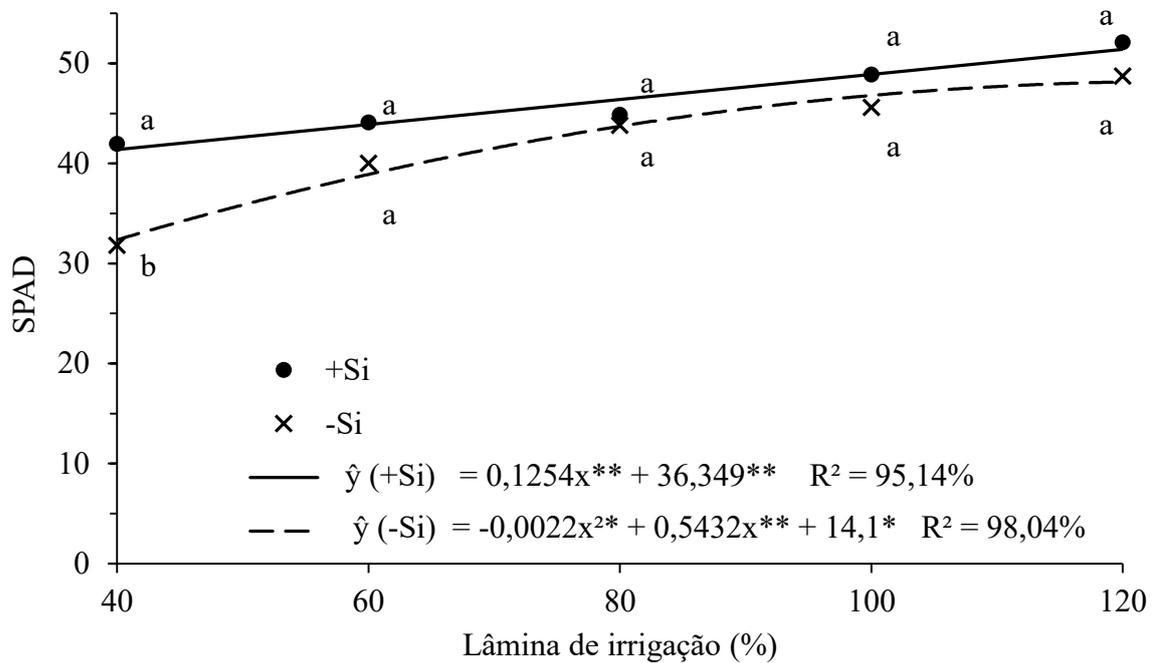


Letras maiúsculas comparam os níveis de fornecimento de silício em um nível fixo de FMA e letras minúsculas a inoculação de FMA em um nível fixo de Si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para ambos os níveis de Si, foram ajustados modelos de regressão quadrática com R^2 maiores que 95%, o que indica boa representatividade da variação do índice SPAD pela variação da quantidade de água aplicada em ambas as situações (com ou sem aplicação de Si).

O índice SPAD apresentou aumento gradativo conforme aumenta a quantidade de água fornecida, desde 40% até 120% de lâmina de irrigação, independentemente do nível de aplicação de Si (Figura 7).

Figura 7. Índice SPAD de plantas de milho doce cv. FT 2015 submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e fornecimento de Si.



Médias seguidas de letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre os níveis de de Si dentro de uma mesma lâmina. * e ** indicam significância do termo de regressão pelo teste t ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente).

Analisando o gráfico, percebe-se diferença significativa na lâmina de 40% de irrigação. O silício promove tolerância para as plantas quando elas passam por estresse hídrico, ou seja, o silício é benéfico para amenizar o estresse hídrico do milho em casos extremos (Nunes et al., 2019; Marques et al., 2021). Ao passo que a lâmina de irrigação se aproxima do recomendado, principalmente acima de 80% de irrigação, o benefício do Si é menos pronunciado (Figura 7).

Ao contrário dos resultados obtidos, Freitas et al. (2013) não observou influência de concentrações de Si no índice SPAD em duas cultivares de arroz. Os resultados obtidos são similares aos de Neri et al. (2009) que observaram que os índices SPAD de plantas de milho com Si foram superiores às plantas que não receberam este nutriente.

6 CONCLUSÕES

- 1) O híbrido de milho doce FT 2015 é altamente responsivo a aplicação de água e tem seu desempenho comprometido em condição de restrição hídrica, sendo indicado para pesquisas com estresse hídrico.
- 2) A inoculação de FMAs resulta em maior crescimento do milho-doce.
- 3) Independente da disponibilidade hídrica, tanto o fornecimento de Si como a inoculação de FMAs proporcionaram incrementos no índice SPAD de plantas de milho-doce cv. FT 2015, sendo o efeito do fornecimento de Si mais pronunciado quando as plantas estão em elevado estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

BAHADUR, A.; BATOOL, A.; NASIR, F.; JIANG, S. et al. Mechanistic Insights into Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Mediated Drought Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 20, p. e4199, 2019.

BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A. & FONSECA, H.M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, p. 53-85, 2006.

CAMARGO, A.B. de; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R. da; PINTO, F.A.; SANTOS, J.V. dos; CARNEIRO, M.A.C. **Steel slag and phosphate nutrition of corn inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.54, e00096, 2019.

CAMPOS D.T.S., ANDRADE J.A.C., CASSIOLATO A.M.R., **Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação**. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 3, p555-562, 2010

CONAB. **Bahia – Produção estadual de grãos fecha o ciclo com estimativa de 10,4 milhões de toneladas**. Brasília, 13 set. 2021a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4254-bahia-producao-estadual-de-graos-fecha-o-ciclo-com-estimativa-de-10-4-milhoes-de-toneladas>. Acesso em 1 de nov. 2021.

CONAB. **Distrito Federal – Milho e sorgo têm forte queda na produção regional.** Brasília, 9 set. 2021b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4238-distrito-federal-milho-e-sorgo-tem-forte-queda-na-producao-regional>. Acesso em 1 de nov. 2021.

CONAB. **Piauí – Pesquisa de campo avalia safra regional e efeitos da crise hídrica na produção de milho.** Brasília, 13 set. 2021c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4191-piaui-pesquisa-de-campo-avalia-safra-regional-e-efeitos-da-crise-hidrica-na-producao-de-milho>. Acesso em: 1 de nov. 2021.

DE FREITAS, L. B, FERNANDES D.M.& MAIA S.C.M. **Índice de clorofila em plantas de arroz de terras altas submetidas a estresse por alumínio e aplicação de silício.** Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v.2, n.2, p.229-241, 2013

ENTRINGER, G.C.; VERRORAZZI, J.C.F.; CREVELARI, J.A.; DURÃES, N.L.; CATARINA, R.S. & PEREIRA, M.S. Sweet corn breeding by backcross: a new choice for the Brazilian market. **Brazilian Journal of Agriculture**, Piracicaba, v. 92, n.1, p. 12-26, 2017.

FREW, A.; POWELL, J.R.; ALLSOPP, P.G.; SALLAM, N. & JOHNSON, S.N. Arbuscular mycorrhizal fungi promote silicon accumulation in plant roots, reducing the impacts of root herbivory. **Plant and Soil**, Crawley, v. 419, p. 423-433, jul.2017.

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

HAJIBOLAND, R.; MORADTALAB, N.; ALIASGHARZAD, N.; ESHAGHI, Z. & FEIZY, J. Silicon influences growth and mycorrhizal responsiveness in strawberry plants. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, Utrathia, v. 24, p. 1103–1115, 2018.

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

JU, S.; WANG, N.; CHEN, M. & WANG, J. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate tomato silicon absorption. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 67, n. 4, 2021.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: PPSi-ICIAG-UFU, 2004, 23p. (Boletim Técnico).

MA, J. F. & YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p.342-397, 2006.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; BENDER, K.S.; BUCKLEY, D.H. & STAHL, D.A. **Microbiologia de Brock**. 14^a ed. Rio de Janeiro: Artmed, 2016.987p.

MALIK, M.A.; WANI, A.H.; MIR, S.M.; REHMAN, I.U.; TAHIR, I.; AHMAD, P. & RASHID, I. Elucidating the role of silicon in drought stress tolerance in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Freiburg, v. 165, p. 187-195, mai. 2021.

MARQUES, D.J.; BIANCHINI, H.C.; MACIEL, G.M.; MENDONÇA, T.F.N. & SILVA, M.F. Morphophysiological Changes Resulting from the Application of Silicon in Corn Plants Under Water Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, fev. 2021.

MIRANDA P.S., MORAES T.R., SANTOS J.R.E, CARVALHO F.D., VIANA J.P., MALUF R.P. **Aplicação de silício na cultura do milho**. Rev. Ciênc. Agroamb. v.16, n.1, 2018.

MORADTALAB, N.; HAJIBOLAND, R.; ALIASGHARZAD, N.; HARTMANN, T.E. & NEUMANN, G. Silicon and the Association with an Arbuscular-Mycorrhizal Fungus (*Rhizophagus clarus*) Mitigate the Adverse Effects of Drought Stress on Strawberry. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 1, jan. 2019.

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

NERI, D.K.P. **Efeito do silício na resistência de plantas de milho a *Rhopalosiphum maidis* (Fich.) (Hemiptera: Aphididae) e sua interação com inseticida no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 2006. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em Ambiente Controlado. In: OLIVEIRA, A.J., GARRIDO, W.E., ARAÚJO, J.D. & LOURENÇO, S. (eds.) **Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, p. 189-254, 1991.

NUNES A.M.C., NUNES R.L.R., RODRIGUES A.J.O., UCHÔA K.S.A. **Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro**. Revista Científica Rural, Bagé-RS, volume21, nº2, ano 2019

OYE ANDA, C.C.; OPFERGELT, S. & DECLERCK, S. Silicon acquisition by bananas (cv. Grande Naine) is increased in presence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833. **Plant and Soil**, Crawley, v. 409, p. 77–85, jun. 2016;

PEREIRA FILHO, I.A. & TEIXEIRA, F.F. Introdução. In: PEREIRA FILHO, I.A. & TEIXEIRA, F.F. (eds.). **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, p. 11-15, 2016.

PEREIRA, M.G. GONÇALVES, G.M.B.; DURÃES, N.N.L.; CREVELARI, J.A.; FERREIRA JÚNIOR, J.A. & ENTRINGER, G.C. UENF SD 08 and UENF SD 09: Super-sweet corn hybrids for Northern Rio de Janeiro, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.19, p.235-239, 2019.

PÔRTO ML; PUIATTI M; FONTES PCR; CECON PR; ALVES JC; ARRUDA JA. **Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha**. Horticultura Brasileira, v. 29, n. 3, jul. - set. 2011

PURCINO, A.A.C. Apresentação. In: PEREIRA FILHO, I.A. & TEIXEIRA, F.F. (eds.). **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, p. 8-9, 2016.

SILVA, E.M.R. da; SUDO, A.; ALMEIDA, D.L. de; MATOS, R.M.B.; PEREIRA, M.G.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, C.T. de T. **Ocorrência e Efetividade de Fungos Micorrízicos em Plantas Cultivadas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia**. 25p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 83), 1998.

STÜRMER, S.L. & KEMMELMEIER, K. The Glomeromycota in the Neotropics. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 11, 2021.

TEIXEIRA, F.F. Desenvolvimento de cultivares de milho-doce. In: PEREIRA FILHO, I.A. & TEIXEIRA, F.F. (eds.). **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, p. 17-36, 2016.

TEIXEIRA, F.F.; MIRANDA, R.A.; PAES, M.C.D.; SOUZA, S.M. & GAMA, E.E.G. **Melhoramento do milho-doce**. Sete Lagoas: Embrapa, 2013. 33p.

TEIXEIRA, F.F.; PAES, M.C.D.; GAMA, E.E.G.; PEREIRA FILHO, I.A. et al. BRS Vivi: single-cross super sweet corn hybrid. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, p. 124-127, 2014.

VENDRUSCOLO, E.P.; SIQUEIRA, A.P.S.; RODRIGUES, A.H.A.; OLIVEIRA, P.R.; CORREIA, S.R. & SELEGUINI, A. Viabilidade econômica do cultivo de milho doce submetido

à inoculação com *Azospirillum brasilense* e soluções de tiamina. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 61, jul. 2018.

VENEGAS, V.H.A.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.& LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**, Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

VENEGAS, V.H.A.& RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**, Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

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