

Influência da aplicação foliar de silício no desenvolvimento e produtividade do milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense

Influence of foliar application of silicon on the development and productivity of corn under water deficit in the semi-arid region of Piauí

Influencia de la aplicación foliar de silicio en el desarrollo y productividad del maíz bajo déficit hídrico em la región semiárida de Piauí

Recebido: 14/03/2022 | Revisado: 24/03/2022 | Aceito: 29/03/2022 | Publicado: 05/04/2022

Vinicius de Sousa Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8755-4580>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: viniciusaraujo@aluno.uespi.br

Thalma Katiani Rodrigues de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7669-772X>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: thalmasousa@aluno.uespi.br

Rafael de Sousa Nobre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8472-4302>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: rafaelnobre@aluno.uespi.br

Cássio de Moura Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8217-0534>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: cassiosantos@aluno.uespi.br

Katriny Kellen da Silva Negreiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6404-2408>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: katrinynegreiros@aluno.uespi.br

Ana Clara Caminha de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6251-825X>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: anaccarvalho@aluno.uespi.br

Fernanda de Sousa Veloso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9649-2908>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: fernandaveloso@aluno.uespi.br

Ronilson Carvalho Veloso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1739-7791>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: ronilsonveloso@aluno.uespi.br

Jefrejan Souza Rezende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2606-9386>
Universidade Estadual do Piauí, Brasil
E-mail: jefrejansouza@pcs.uespi.br

Resumo

O silício tem sido associado a efeitos benéficos para as plantas como tolerância a déficit hídrico, stress salinos e menor transpiração. Este trabalho objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de silício no desenvolvimento e produtividade do milho submetido a diferentes períodos de déficit hídrico no Semiárido piauiense. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 4x2, formados pela combinação de quatro doses de silício (0, 50, 100 e 200% da dose recomendada) e duas condições de déficit hídrico (moderado e severo), com quatro repetições. A dose recomendada foi de 1,0 L ha⁻¹ do silicato, conforme o fabricante. A variedade utilizada foi a super precoce BRS Gorutuba. Cada parcela consistiu em quatro fileiras de 4,0 m espaçadas a 0,80 m uma da outra, considerando área útil às fileiras centrais e as extremas como bordadura. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Para a verificação da dose ótima de silício, para cada intensidade de stress foi aplicada à análise de regressão polinomial (P<0,05). Houve efeito significativo da interação para as variáveis massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e produtividade. As doses de 0,84 e 0,55 L ha⁻¹ de silício foram as mais

indicadas para o déficit moderado e severo, respectivamente. Doses acima de 1L ha⁻¹ proporcionaram redução do crescimento e produtividade do milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L; Estresse; Adubação silicatada.

Abstract

Silicon has been associated with beneficial effects on plants such as tolerance to water deficit, salt stress and reduced transpiration. This work aimed to evaluate the effect of silicon application on the development and productivity of corn submitted to different periods of water deficit in the semi-arid region of Piauí. The experimental design used was a randomized block design, in a 4x2 factorial arrangement, formed by the combination of four silicon doses (0, 50, 100 and 200% of the recommended dose) and two water deficit conditions (moderate and severe), with four repetitions. The recommended dose was 1.0 L ha⁻¹ of silicate, according to the manufacturer. The variety used was the super early BRS Gorutuba. Each plot consisted of four 4.0 m rows spaced at 0.80 m from each other, with the central rows being considered as useful area and the outer rows as border. The data were submitted to variance analysis using the F test. To verify the optimal silicon dose, for each stress intensity, polynomial regression analysis was applied (P<0.05). There was a significant interaction effect for the variables aboveground fresh mass, aboveground dry mass, and yield. Doses of 0.84 and 0.55 L ha⁻¹ of silicon were the most indicated for moderate and severe deficit, respectively. Doses above 1L ha⁻¹ reduced the growth and productivity of corn.

Keywords: *Zea mays* L; Stress; Silicate fertilization.

Resumen

El silicio se ha asociado con efectos beneficiosos para las plantas como tolerancia al déficit hídrico, estrés salino y menor transpiración. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el desarrollo y rendimiento de maíz sometido a diferentes períodos de déficit hídrico en la región semiárida de Piauí. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, en arreglo factorial 4x2, formado por la combinación de cuatro dosis de silicio (0, 50, 100 y 200% de la dosis recomendada) y dos condiciones de déficit hídrico (moderado y severo), con cuatro repeticiones. La dosis recomendada fue de 1,0 L ha⁻¹ de silicato, según el fabricante. La variedad utilizada fue la súper temprana BRS Gorutuba. Cada parcela constó de cuatro surcos de 4,0 m espaciados 0,80 m, considerando el área útil para los surcos centrales y los extremos como bordes. Los datos se sometieron a análisis de varianza mediante la prueba F. Para verificar la dosis óptima de silicio, para cada intensidad de estrés, se aplicó un análisis de regresión polinomial (P<0.05). Hubo un efecto significativo de la interacción para las variables masa fresca del vástago, masa seca del vástago y productividad. Las dosis de 0,84 y 0,55 L ha⁻¹ de silicio fueron las más indicadas para déficit moderado y severo, respectivamente. Dosis superiores a 1L ha⁻¹ redujeron el crecimiento y la productividad del maíz.

Palabras clave: *Zea mays* L; Estrés; Fertilización con silicatos.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.), devido a sua composição química e valor nutritivo constitui-se um dos mais importantes cereais consumidos e produzidos no mundo, cultivado nos hemisférios norte e sul, em climas úmidos e regiões secas (Lopes et al., 2020). Dele derivam-se grãos para alimentação humana, nutrição animal e o óleo utilizado na produção de bens de consumo para cozinha, medicamentos e biocombustíveis (USDA, 2021).

Em função do seu potencial produtivo, o milho assume a segunda posição entre os grãos mais produzidos no Brasil, que é o terceiro maior produtor e segundo maior exportador de milho. Segundo o primeiro Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) de 2021 divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na safra 2019/2020, foram produzidas mais de 103,235 milhões de toneladas do cereal.

A produtividade de milho na região Nordeste do Brasil e no Piauí, na safra 2020/2021 foi de 3,38 e 4,32 t ha⁻¹, respectivamente, inferior à produtividade média do Brasil que foi de 5,32 t ha⁻¹ (Conab, 2021). Essa baixa produtividade está associada, a diversos fatores, sendo o principal, o clima semiárido, que possui regime de chuvas irregular e baixos índices pluviométricos, o que ocasiona condições desfavoráveis para o manejo e expansão da cultura do milho (Neves et al., 2015).

O clima Semiárido da região nordeste do Brasil, apresenta as mais altas temperaturas do país e uma das mais altas da América Latina, com uma média anual que pode variar de 25 a 29 °C, em relação aos solos, a falta de chuvas favorece a formação de crostas e o acúmulo de sais na camada mais superficial, tornando o solo com baixa fertilidade e por vezes salino, como acontece em muitos desertos (Gardi et al., 2015). Além disso, as precipitações da região semiárida se distribuem de

forma irregular com médias anuais de mais ou menos 800 mm e o percentual diário de déficit hídrico é igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (Pimenta, 2020).

A escassez hídrica, resultante do clima semiárido, traz significativas perdas de produtividade e da qualidade dos produtos, ainda, seus solos de textura arenosa podem ampliar o agravamento de tal situação, pelas baixas condições de retenção de água e, geralmente, excessos de drenagem interna, dessa forma, se não houver reposição de água no solo pela precipitação pluvial ou por irrigação, o déficit hídrico se tornará irreversível (Cordeiro, 2019). Neste cenário, um maior conhecimento dos fatores relacionados à tolerância ao déficit hídrico, de forma a reduzir os impactos negativos e ampliar a produção torna-se fundamental.

Dentre as alternativas para redução do déficit hídrico, o silício (Si), apesar de não ser considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, tem sido associado a diversos efeitos benéficos dentre os quais se destacam a tolerância a déficit hídrico, stress salino e menor transpiração da planta (Lima et al., 2011). A sua importância para as plantas está diretamente relacionada às interações planta-ambiente, pois confere melhores condições para tolerarem as adversidades do meio, gerando resultados significativos na produtividade e melhoria na qualidade do produto (Zuffo & Aguilera, 2020).

Respostas positivas ao uso do Si foram observadas em várias espécies de plantas, como tomate (Cao et al., 2015; Shi et al., 2016; Nunes et al., 2019), sorgo (Hattori et al., 2007; Ahmed et al., 2014) e arroz (Chen et al., 2011; Mauad et al., 2016) ou voltados apenas para a influência do silício na produção de milho com ausência de stress (Freitas et al., 2011; Munaro; Simonetti, 2016; Miranda et al., 2018). No entanto, há a necessidade de estudos que avaliem a influência do Si na atenuação do déficit hídrico na cultura do milho, principalmente no semiárido piauiense.

Levando em consideração as intensas situações de estresse em que as plantas são expostas em ambiente semiárido e pela alta susceptibilidade da cultura do milho ao déficit hídrico, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de Si no desenvolvimento e produtividade do milho submetido a diferentes períodos de déficit hídrico no Semiárido piauiense.

2. Metodologia

O experimento foi realizado em uma Fazenda, localizada no município de Dom Expedito Lopes (07°00'26'' S, 41°39'18''), pertencente à microrregião de Picos e mesorregião do Sudeste Piauiense, situado à altitude de 400 m. O clima da região é caracterizado como semiárido quente, e possui precipitação média anual de 700 mm e temperatura média anual do ar de 27 °C. (Alvares et al., 2014; Lima et al., 2020).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial (4x2), formados pela combinação de quatro doses de silício (0, 50, 100 e 200% da dose recomendada) e duas condições de déficit hídrico (moderado e severo), com quatro repetições, totalizando 32 parcelas. A dose recomendada foi de 1,0 L ha⁻¹ do silicato de acordo com a recomendação do fabricante. O silício utilizado foi o *SUPA SILICA*® (9,02 % de Si e 24,13 % de K₂O) da empresa Agrichem.

Cada parcela experimental consistiu em quatro fileiras de 4,0 m de comprimento espaçadas a 0,80 m uma da outra (9,6 m²). A distância entre plantas foi de 0,50 m, sendo considerada como área útil as duas fileiras centrais, ficando as linhas extremas como bordadura (Miranda et al., 2018).

Antes da implantação foi coletada uma amostra de solo na camada de 0,00-0,20 m e enviada ao laboratório para caracterização química e granulométrica do solo (Donagema et al., 2011), com o objetivo de realizar a correção e adubação das parcelas (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo, Dom Expedito Lopes-PI, 2021

pH H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	m	V	MO	Areia	Silte	Argila
	mgdm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----							
6,4	23	0,07	1,9	0,9	0,0	0,8	2,9	3,7	0,0	78,0	0,4	93,6	2,7	3,7

Fonte: Dados dos Autores (2021).

Conforme o resultado da análise química do solo e com base no boletim de recomendação para a cultura foram aplicados 0,501 kg de nitrogênio (N); 0,896 kg de potássio (K) e 3,41 kg de fósforo (P) na época da semeadura, mais 1,168 kg de N aplicados na cobertura 45 dias após o plantio. Foram utilizados como fonte de N, P e K, ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente (Coelho, 2006).

De acordo com o critério de saturação de bases (V%), não foi necessário realizar a correção da acidez do solo, visto que o solo possui uma $v = 78\%$ e um pH de 6,4, que são ambos adequados para o desenvolvimento da cultura.

A semeadura foi realizada de forma manual na densidade de cinco sementes por metro linear, utilizando-se a variedade super precoce do híbrido BRS Gorutuba. Essa cultivar é adaptada ao clima semiárido, com florescimento entre 41 e 55 dias e o grão do tipo duro e coloração amarelo-alaranjada (Oliveira et al., 2020). O desbaste foi realizado aos sete dias após a emergência das plantas deixando uma planta a cada 0,5m.

A irrigação foi aplicada por meio do sistema de gotejamento (vazão de 2,5 L ha⁻¹), de forma a deixar o solo na capacidade de campo. As plantas daninhas foram removidas por meio de capina manual a cada 15 dias, durante os dois primeiros meses de desenvolvimento.

As doses do silício (Si) foram aplicadas via foliar, no estágio V8 da cultura. A aplicação foi realizada no período da manhã com auxílio de um pulverizador costal, com volume de calda de 300 L ha⁻¹, que representou um volume de 0,288 L parcela⁻¹ (Freitas et al., 2011; Munaro; Simonetti, 2016).

No estágio de florescimento, as plantas foram submetidas as intensidades de déficit hídrico. Para o déficit moderado, ficaram sem reposição de água por um período de dois dias e para o déficit severo as plantas das parcelas que foram submetidas, ficaram sem reposição de água por um período de sete dias. A escolha da época do florescimento foi devido ao milho apresentar maior redução de produtividade pelo déficit hídrico nessa fase (Pegorare et al., 2009).

Na época da colheita foram avaliadas as seguintes variáveis: número de espigas por planta (NEP), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), comprimento médio da espiga (CME), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade.

O Número de Espigas por planta foi determinado com base na contagem do número de espigas das plantas da área útil de cada parcela. Em seguida, foram coletadas cinco espigas, ao acaso, na área útil de cada parcela, e realizado a contagem manual do NFE, NGF e do NGE. O CME foi obtido com o uso de uma régua graduada em centímetros, onde foram medidas todas as espigas da área útil de cada parcela. Para determinação da MFPA foram coletadas cinco plantas aleatórias na área útil de cada parcela, estas cortadas junto ao solo, separadas em folhas e colmos e pesadas em balança analítica. Posteriormente foram levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65° C até peso constante e pesadas em balança analítica para determinação da MSPA. A M100G foi calculada mediante três amostragens de 100 grãos, representativos de cada parcela experimental, onde foram pesados em balança analítica. A produtividade foi avaliada nas espigas contidas na área útil, colhidas manualmente. Após processamento, os grãos foram pesados e, posteriormente, calculado a produtividade em kg ha⁻¹ e os valores transformados para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P \leq 0,05$). Para a verificação da dose ótima de silício,

para cada intensidade de stress foi aplicada à análise de regressão polinomial ($P < 0,05$).

3. Resultados e Discussão

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), não houve efeito dos tratamentos para as variáveis número de espigas por planta (NEP), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileiras (NGF), número de grãos por espiga (NGE) e comprimento médio da espiga (CME).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para número de espigas por planta (NEP), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileiras (NGF), número de grãos por espiga (NGE) e comprimento médio da espiga (CME) em resposta a aplicação de doses de silício e períodos de déficit hídrico, Dom Expedito Lopes, 2021.

Fontes de variação	Quadrados Médios				
	NEP	NFE	NGF	NGE	CME
Déficit (D)	0,00 ^{ns}	0,057 ^{ns}	37,932 ^{ns}	2743.537 ^{ns}	3,094 ^{ns}
Doses de Silício (DS)	0,00 ^{ns}	0,125 ^{ns}	2,220 ^{ns}	241.977 ^{ns}	1,00 ^{ns}
D X DS	0,00 ^{ns}	0,553 ^{ns}	2,036 ^{ns}	365.083 ^{ns}	0,064 ^{ns}
CV (%)	0,00	4,83	9,64	11,61	16,01

* Significativo ($P < 0,05$); ^{ns} não significativo. Fonte: Dados dos Autores (2021).

Silveira et al. (2015) obtiveram resultados semelhantes para o NEP em virtude das doses de Si utilizadas. Isso ocorreu provavelmente devido ao fato da variedade já ter essas características para essa variável, onde foi obtido resultado de uma espiga por planta.

Para o NFE a falta de significância das doses de Si pode ser explicada pela elevada dependência do genótipo, para essas variáveis, além da alta herdabilidade, correlacionando-se mais intrinsecamente com a cultivar utilizada do que com as práticas culturais (Lopes et al., 2007). Sandim et al. (2010), Freitas et al. (2011) e Teodoro et al. (2014) avaliando o efeito da aplicação foliar de Si em híbridos de milho observaram que o NFE não sofreu influência da aplicação de Si, assim como as variáveis NGF, NGE e CME.

Já era esperado que com a ausência da influência do déficit nas variáveis não haveria influência da adubação silicatada, haja vista que o silício é considerado um elemento benéfico, e os seus efeitos são expressos mais claramente quando as plantas encontram-se em situação de stress (Datnoff et al., 2001).

Houve efeito significativo da interação (intensidade de déficit hídrico x doses de silício) para as variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade (Tabela 3). Para a variável de massa de 100 grãos (M100G) não houve efeito significativo dos tratamentos.

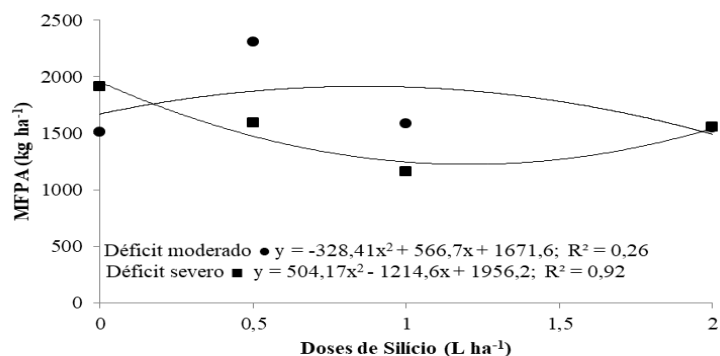
Tabela 3. Resumo da análise de variância para massa de 100 grãos (M100G), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade (P) em resposta a aplicação de doses de silício e períodos de déficit hídrico, Dom Expedito Lopes, 2021.

Fontes de variação	Quadrados Médios			
	M100G	MFPA	MSPA	Produtividade
	---- g parcela ⁻¹ ----	----- kg ha ⁻¹ -----		
Déficit (D)	20,512013 ^{ns}	3784,50*	1019,94*	195.734,42*
Doses de silício (DS)	4,920358 ^{ns}	6954,33*	94,53 ^{ns}	465.557,19*
S X DS	8,645371 ^{ns}	6972,83*	495,325*	122.704,68*
CV (%)	10,52	11,18	12,71	12,00

*Significativo ($P < 0,05$); ^{ns} não significativo. Fonte: Dados dos Autores (2021).

Para a MFPA houve ajuste quadrático, onde a dose de 0,86 L ha⁻¹, referente ao déficit moderado, proporcionou a maior média (1916,10 kg ha⁻¹). Para o déficit severo o maior valor (1912,50 kg ha⁻¹) ocorreu na dose 0 (Figura 1).

Figura 1. Dados médios de massa fresca da parte aérea de plantas de milho submetidas a aplicação de doses de silício e intensidades de déficit hídrico, Dom Expedito Lopes, 2021.



Fonte: Autores.

O aumento da MFPA, no déficit moderado evidencia a resposta positiva da aplicação do Silício (Si) para o desenvolvimento da planta. Esse aumento é analisado por Sousa et al. (2010), que verificaram efeito positivo do Si no aumento de massa do colmo, melhor conformidade arquitetônica das folhas, maior concentração de clorofila e melhor desempenho fotossintético, resultando em maior produção de biomassa fresca.

Souza et al. (2013) verificaram a eficiência da aplicação de Si no aumento da biomassa fresca de sorgo. Os autores atribuíram a capacidade do silício em se acumular nos tecidos das folhas e, com isso reduzir a transpiração da cultura, o que resulta em maior acúmulo de água. De acordo com Menegale et al. (2015) e Tubana et al. (2016), o acúmulo de camadas de sílica nos órgãos da planta reduz a abertura estomática, o que restringe a perda de água.

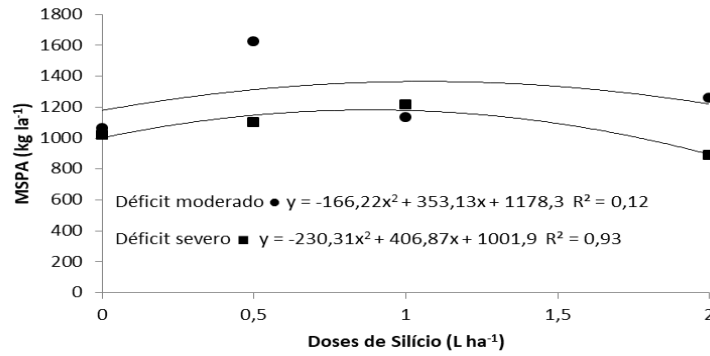
Em relação ao déficit severo, de acordo com Lima et al. (2019), déficit hídrico muito elevado compromete as atividades metabólicas da planta, o que pode não resultar em efeitos positivos na aplicação do Si. No entanto, Crusciol et al. (2013) verificaram resultados significativos de aplicações de Si, em duas fases fenológicas, na produção de biomassa de milho sob condição de seca severa. No presente estudo, uma única aplicação, pode não ter sido eficiente para o aumento da produção de biomassa fresca, nas condições de deficiência hídrica mais severa.

Outra explicação pode estar associada à melhora a eficiência da absorção de água pelas raízes da planta, com a aplicação de Si. Esse aumento da absorção de água é alcançado através do ajuste osmótico realizado pelo Si nas células da raiz, que aumenta a atividade da aquaporina, responsável pela maximização da eficiência da absorção de água pelas raízes de milho sob déficits hídricos severos. Então a regulação da absorção de água pelas raízes, em alguns casos, pode ser mais crucial para superar a lesão por déficit hídrico do que a regulação da perda de água foliar (Chen et al., 2018), o que pode explicar a baixa eficiência da adubação foliar de Si nesse caso.

O manejo da água é fundamental tanto para a otimização da absorção dos nutrientes relacionados à água, quanto para os insumos, onde o carbono, o hidrogênio e o oxigênio representam mais de 99% da massa fresca da planta de milho, o que explica o menor desenvolvimento da planta com o aumento do déficit hídrico e menor índice de massa fresca da parte aérea com a aplicação de silícios sob essa condição (Fernandes et al., 2018).

Para a massa seca da parte aérea houve ajuste quadrático onde para o déficit moderado a dose de 1,06L h⁻¹ proporcionou a maior massa seca da parte aérea (1365,85 kg ha⁻¹) do milho. No déficit severo a dose de 0,88L h⁻¹ proporcionou a maior massa seca da parte aérea (1181,59 kg ha⁻¹) do milho (Figura 2).

Figura 2. Dados médios de massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho submetidas à aplicação de doses de silício e intensidades de déficit hídrico, Dom Expedito Lopes, 2021.

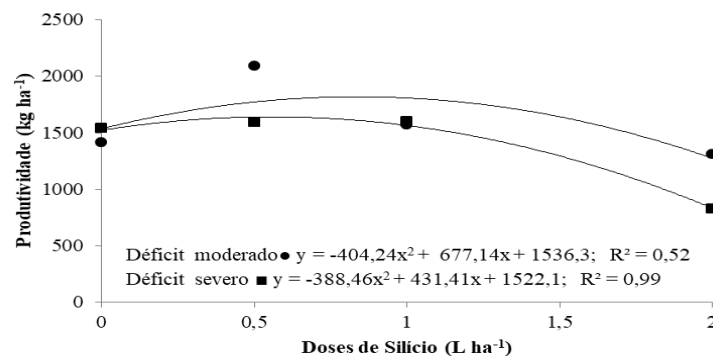


Fonte: Autores.

O maior acúmulo de MSPA pode ser justificado devido o Si contribuir com os mecanismos de defesa física e química em plantas sob deficiência nutricional. Sua ação desacelera a degradação da clorofila, protege a estrutura das membranas de cloroplasto, realiza a deposição de sílica nas paredes celulares de forma a manter as folhas ereta, melhorando a interceptação de luz e estimulando a fotossíntese (Gonzalo et al., 2013), o que garante maior integridade da planta até a sua senescência. Ahmed et al. (2014) verificaram efeito da aplicação de Si na massa seca da parte aérea de genótipos de sorgo.

Em relação à Produtividade, houve ajuste quadrático, onde as doses estimadas de 0,84 e 0,55 L ha⁻¹ proporcionaram os valores máximos de 1820,00 e 1642,00 kg ha⁻¹, para os déficits hídricos moderado e severo, respectivamente (Figura 3).

Figura 3. Dados médios de produtividade (P) de plantas de milho submetidas a aplicação de doses de silício e intensidades de déficit hídrico, Dom Expedito Lopes, 2021.



Fonte: Autores.

A maior Produtividade do milho em resposta a aplicação de Si, comprova que a adição desse elemento aumenta a produtividade do milho sob condição de déficit hídrico. O efeito do silício pode ser explicado pelo fato de que em condições de déficit hídrico o silício atua de forma efetiva em algumas atividades, tais como no aumento da taxa fotossintética (Souza et al., 2015) e na eficiência do uso de nutrientes pela cultura (Alsaeedi et al., 2019). Isso leva ao maior desenvolvimento e rendimento da planta. Esse aumento de produtividade foi evidenciado por Jinger et al. (2020), em trabalho realizado com arroz.

Eles observaram que as espiguetas contendo Si perderam apenas 7% de água em comparação com espiguetas deficientes em Si, onde a perda foi 20% maior durante as fases de ordenha e maturação refletindo diretamente no aumento de produtividade.

O uso da aplicação foliar de Si em morangueiros, de acordo com Kowal et al. (2020), aumentou a produção de frutos comerciais, além de resultar em aumento da firmeza de polpa e redução a perda de água pelos frutos. Semelhantemente, Cuong et al. (2017), relataram que a produtividade de grãos e o rendimento de palha do arroz foram significativamente afetados pela aplicação de Si, onde o número de grãos por panícula foi aumentado em quase 6%. A taxa de formação de sementes foi de 89,8% sob a dose mais alta de Si e a dose recomendada de fertilizante. As doses de Si resultaram em um aumento na absorção e acúmulo de Si em grãos e palha e, conseqüentemente, no total da biomassa.

A redução da produtividade acima das doses ideais estimadas no trabalho pode ser devido à redução da absorção desse elemento pelas folhas da planta, quando a cultura apresenta teor adequado desse elemento (Freitas et al., 2011). Fleck et al. (2011) identificaram a redução na produtividade de arroz com o aumento das taxas de Si indicando possíveis efeitos fitotóxicos deste elemento. Fernandes (2006) afirmam que doses excessivas de Si pode provocar desbalanço nutricional nas células das folhas de milho, o que pode explicar a redução da produtividade.

4. Considerações Finais

As doses de silício influenciaram as variáveis massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e produtividade de milho, submetido a déficit hídrico moderado e severo.

As doses mais indicadas para o déficit moderado e severo, respectivamente, variaram de 0,5 L a 1,0 L ha⁻¹ configurando efeito benéfico na resistência da cultura ao déficit hídrico.

Doses acima de 1,0 L ha⁻¹ proporcionaram redução do crescimento e produtividade do milho.

Agradecimentos

A Universidade Estadual do Piauí (UESPI). A Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROP). Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e ao Grupo de Pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas do *Campus* Professor Barros Araújo (GPSNP).

Referências

- Ahmed, M., Asif, M. & Hassan, F. (2014). Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 473-483.
- Alsaedi, A., El-Ramady, H., Alshaal, T., El-Garawany, M., Elhawat, N. & Al-Otaibi, A. (2019). Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 1-10.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, 22 (6), 711-728.
- Cao, B. L., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L. & Xu, K. (2015). Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. *Scientia Horticulturae*, 194, 53-62.
- Chen, D., Wang, S., Yin, L. & Deng, X. (2018). How Does Silicon Mediate Plant Water Uptake and Loss Under Water Deficiency? *Frontiers in Plant Science*, 9 (281), 1-7.
- Chen, W., Cai, K., Chen, J. & Xiaoqin, Y. (2011). Silicon Alleviates Drought Stress of Rice Plants by Improving Plant Water Status, Photosynthesis and Mineral Nutrient Absorption. *Biological Trace Element Research*, 142 (1), 67-76.
- Coelho, A. M. (2006). Nutrição e Adubação do Milho. *Circular Técnica*, 78.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). *Boletim safra brasileira de grãos*. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.
- Cordeiro, C. J. S. (2019). *Balanço de água no solo para o milho no semiárido Alagoano*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, 41 p.

- Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., Castro, G. S. A., Ferrari Neto, J. & Costa, C. H. M. (2013). Leaf application of silicic acid to upland rice and corn, *Semina: Ciências Agrárias*, 34 (6), 2803-2808.
- Cuong, T. X., Ullah, H., Datta, A. & Hanh, T. C. (2017). Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. *Rice Science*, 24 (5), 283-290.
- Datnoff, L. E., Snyder, G. H. & Korndörfer, G. H. (2001). *Silicon in agriculture*. Elsevier Science: The Netherlands. 403 p.
- Donagema, G. K., Campos, D. V. B., Calderano, S. B., Teixeira, W. G. & Viana, J. H. M. *Manual de métodos de análise de solo*. 1. ed. rev. Embrapa Solos: Rio de Janeiro. 230 p.
- Fernandes, M. S. (2006). *Nutrição mineral de plantas*. 1 ed. SBCS: Viçosa. 432 p.
- Fernandes, S. N. D., Rodrigues, A. M. G., Viana, T. V. A., Fernandes, C. N. V., Sobreira, A. E. A. & AZEVEDO, B. M. (2018). Crescimento do milho verde sob Lâminas de irrigação e adubação foliar silicatada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12 (4), 2789-2798.
- Fleck, A.T., Nye, T., Repenning, C., Stahl, F., Zahn, M. & Schenk, M. K. (2011). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany*, 62 (6), 2001-2011.
- Freitas, L. B., Coelho, E. M., Maia, S. C. M. & Silva, E. R. B. (2011). Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Revista Ceres*, 58 (2), 262-267.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça-Santos, M. L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I., Vargas, R. & Ravina, S. M. (2015). *Atlas de solos da América Latina e do Caribe*. Comissão Europeia, Serviço das Publicações da União Europeia: Luxemburgo. 176 p.
- Gonzalo, M. J., Lucena, J. J. & Hernández-Apaolaza, L. (2013). Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron deficiency. *Plant physiology and biochemistry*, 70, 455-461.
- Hattori, T., Sonobe, K., Inanaga, S., An, P., Tsuji, W., Araki, H., Eneji, A. E. & Morita, S. (2007). Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. *Environmental and Experimental Botany*, 60, (2), 177-182.
- Jinger, D., Devi, M. T., Dass, A., Sharma, V. K., Joshi, E., Jatav, H. S., Singh, N. & Dhar, S. (2020). Silicon application mitigates abiotic stresses in rice: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90 (11), 3-10.
- Kowal, A. N., Wurz, D., Fagherazzi, A., Santos, G. & Leite, L. M. (2020). Efeito da aplicação foliar de silício nos aspectos produtivos e qualitativos de frutos de morangoeiro. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 6 (2), 144-149.
- Lima, D. T., Sampaio, M. V., Albuquerque, C. J. B., Pereira, H. S. & Martins, W. G. (2019). Silicon accumulation and its effect on agricultural traits and anthracnose incidence in lignocellulosic sorghum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49 (1), 1-8.
- Lima, M. A., Castro, V. F., Vidal, J. B. & Enéas-Filho, J. (2011). Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, 42 (2), 398-403.
- Lima, M. G., Moraes, A. M., Nunes, L. A. P. L. & Andrade Júnior, A.S. (2020). *Climas do estado do Piauí e suas relações com a conservação do solo*. Edufpi: Teresina. 144 p.
- Lopes, J. R. F., Dantas, M. P. & Ferreira, F. E. P. (2020). Identificação da Influência da pluviometria no rendimento do milho no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13 (5), 3610-3618.
- Lopes, S. J., Lúcio, A. D. C., Storck, L., Damo, H. P., Brum, B. & Santos, V. J. (2007). Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. *Ciência Rural*, 37 (6), 1536-1542.
- Mauad, M., Crusciol, C. A. C., Nascente, A. S., Grassi Filho, H. & Lima, G. P. P. (2016). Effects of silicon and drought stress on biochemical characteristics of leaves of upland rice cultivars. *Revista Ciência Agronômica*, 47 (3), 1-8.
- Menegale, M. L. C., Castro, G. S. A. & Mancuso, M. A. C. (2015). Silício: Interação com o sistema Solo-Planta. *Journal of Agronomic Sciences*, 4 (especial), 435-454.
- Miranda, P. S., Moraes, T. R., Santos, J. R. E., Carvalho, F. D., Viana, J. P. & Pérez-Maluf, R. (2018). Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista de Ciências Agroambientais*, 16 (1), 1-6.
- Munaro, M. F. & Simonetti, A. P. M. M. (2016). Aplicação foliar de silício no milho 2 a safra: Influência na produtividade. *Revista cultivando o saber*, 9 (4), 559-568.
- Neves, A. L. A., Santos, R. D., Pereira, L. G. R., Tabosa, J. N., Albuquerque, I. R. R., Neves, A. L. A., Oliveira, G. F. & Verneque, R. S. (2015). Agronomic characteristics of corn cultivars for silage production. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (3), 1799-1806.
- Nunes, A. M. C., Nunes, L. R. L., Rodrigues, A. J. O. & Uchôa, K. S. A. (2019). Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. *Ciência Rural*, 21 (2), 239-258.
- Oliveira, D. M., Manos, M. G. L., Carvalho, P. C. S., Carvalho, H. W. L. & Pacheco, C. A. P. (2020). *Relatório de avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa*. https://bs.sede.embrapa.br/2019/relatorios/tabuleiroscoasteiros_milhogorutuba.pdf
- Pegorare, A. B., Fredatto, E., Pereira, S. B., Souza, L. C. F. & Fietz, C. R. (2009). Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13 (3), 262-271.
- Pimenta, B. P. P. (2020). *Mudanças Climáticas e Secas no Brasil: Uma análise espacial integrada a partir de modelo IEGC e monitoramento climático no semiárido brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 113 p.

- Pitta, G. V. E., Coelho, A. M., Alves, V. M. C., França, G. E. & Magalhães, J. V. (2008). *Calagem e gessagem*. <http://alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491727/4/Calagemgessagem.pdf>.
- Sandim, A. S., Ribon, A. A., Diogo, L. O. & Savi, M. A. (2010). Doses de silício na produtividade do milho (*Zea mays L.*) híbrido simples na região de Campo Grande – MS. *Cultivando o saber*, 3 (1), 171- 178.
- Shi, Y., Zhang, Y., Feng, R., Hu, Y., Guo, J. & Gong, H. (2016). Silicon enhances water stress tolerance by improving root hydraulic conductance in *Solanum lycopersicum L.* *Frontiers in Plant Science*, 7 (196), 1-15.
- Silveira, D. C., Bonetti, L. P., Tragnago, J. L. & Nelson Neto. (2015). Produtividade e características de variedades de milho crioulo cultivadas na região Noroeste do Rio Grande do Sul. *Agrarian Academy*, 2 (4), 60-69.
- Sousa, J. V., Rodrigues, C. R., Luz, J. M. Q., Carvalho, P. C., Rodrigues, T. M. & Brito, C. H. (2010). Silicato de Potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. *Bioscience Journal*, 26 (4), 502-513.
- Souza, L. C., Siqueira, J. A. M., Silva, J. L. S., Coelho, C. C. R., Neves, M. G. & Oliveira Neto, C. F. (2013). Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 12 (3), 240-249.
- Souza, P. F. D., Martins, G. L. M., Pereira, A. C., Binotti, F. F. S. & Maruyama, W. I. (2015). Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. *Revista Agrícola Neotropical*, 2 (3), 13-17.
- Teodoro, P. E., Ribero, L. P., Corrêa, C. C. G. & Torres, F. E. (2014). Desempenho de híbridos de milho sob aplicação foliar de silício no Cerrado Sul-Mato-Grossense. *Bioscience Journal*, 30 (1), 224-231.
- Tubana, B. S., Babu, T. & Datnoff, L. E. (2016). A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives. *Soil Science*, 181 (9/10), 393-411.
- USDA – United States Department of Agriculture (2021). *Grain and Feed Update*. <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-grain-and-feed-update-17USDA>.
- Zuffo, A. M. & Aguilera, J. G. (2020). *Agronomia: Avanços e Perspectivas*. Nova Xavantina. 137 p.