

DESENVOLVIMENTO DE MILHO IRRIGADO E ADUBADO COM SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO

Edvaldo Eloy Dantas Júnior¹, Lúcia Helena Garófalo Chaves²,
Fernando Antônio Melo da Costa³, Gaspar Henrique Korndorfer⁴

¹Engenheiro Agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola - UFCG. Dep. de Engenharia Agrícola. Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP: 58429-140, Campina Grande, PB. edvaldoeloyjr@gmail.com

²Engenheira Agrônomo, Dra., Profa. Titular do Depto. de Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP: 58429-140, Campina Grande, PB. lhgarofalo@hotmail.com

³Graduando em Engenharia Agrícola - UFCG, Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP: 58429-140, Campina Grande, PB. nando_ufcg@hotmail.com

⁴Engenheiro Agrônomo, Dr. Prof. Titular da Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Avenida Amazonas, s/n, Umuarama, CEP: 38400-902, Uberlândia, MG. gahk@triang.com.br

RESUMO

Os silicatos de cálcio e magnésio quando aplicados aos solos, têm efeito sobre a nutrição das plantas, uma vez que são fontes de silício, cálcio e magnésio. Objetivando-se avaliar o desenvolvimento das plantas de milho submetidas às doses crescentes de silício e diferentes lâminas de água, realizou-se um experimento em uma casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande- PB, formado pela combinação de quatro lâminas de irrigação, referentes à reposição de água de 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura e 0, 82, 164 e 246 g de silicato de cálcio e magnésio, em triplicata, misturados a 80 kg de solo acondicionados em vasos plásticos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as lâminas de água distribuídas em faixas e as doses de silício compondo as subparcelas. As variáveis de crescimento, comprimento e diâmetro dos caules e comprimento, largura e número das folhas, foram influenciadas pelas lâminas de irrigação utilizadas e pela interação entre lâminas de irrigação e doses de silicato. As doses de silício utilizadas isoladamente não interferiram no comprimento nem no diâmetro do caule e na área foliar. As plantas submetidas a déficit hídrico (lâminas correspondentes a 50 e 75 % da ET_0), na presença de silício (300 e 600 kg ha⁻¹) não apresentaram redução na massa da matéria seca da parte aérea e mantiveram um conteúdo de água nas células semelhante ao encontrado nos tratamentos que receberam as maiores lâminas de irrigação (100 e 125 % da ET_c).

Palavras-chave: Silício, *Zea mays* L., irrigação.

DEVELOPMENT OF IRRIGATED CORN AND FERTILIZED WITH CALCIUM AND MAGNESIUM SILICATE

ABSTRACT

The silicates of calcium and magnesium when applied to soils have an effect on plant nutrition, since they are sources of silicon, calcium and magnesium. Aiming to evaluate the development of corn plants, irrigated and fertilized with calcium silicate and magnesium, there was an experiment in a greenhouse belonging to the Department of Agricultural Engineering Federal of Campina Grande, Campina Grande - PB, composed by the combinations of four irrigation levels concerning water replacement of 50, 75, 100 and 125% of crop evapotranspiration and 0, 82, 164 and 246 g of calcium silicate and magnesium in triplicate, mixed with 80 kg of soil placed in plastic pots. The experimental design was randomized blocks in split plots, with the irrigation water distributed in bands and silicon levels composing the subplots. Growth variables were influenced by irrigation water and by interaction between irrigation levels and doses of silicate. The doses of silicon did not affect the length and the diameter of the stem and leaf area. The plants subjected to water deficit (50 and 75% of ET) in the presence of silicon (300 and 600 kg ha⁻¹) showed no reduction in dry matter of shoots and maintained a water content in the cells similar to that found in treatments received the highest irrigation levels (100 and 125% ET).

Keywords: Silicon, *Zea mays L.*, irrigation.

INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (Raij, 1991). O dióxido de silício (SiO₂), vulgarmente chamado sílica, é um dos mais importantes compostos de silício que ocorrem na natureza. Segundo Korndöner *et al.* (2002), as principais formas de silício, do ponto de vista agrônômico, são: a) silício adsorvido ou precipitado com óxido de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos); b) silício solúvel (H₄SiO₄⁻ ácido monossilícico) que, desprovido de cargas elétricas, tem interessantes consequências no comportamento da sílica com relação aos vegetais (Raij e Camargo, 1973). Com esta última forma (neutra), o Si é absorvido pelas raízes das plantas por processo passivo ou ativo, através de transportadores de membrana específicos para este fim.

Dentre os benefícios ocasionados pelo uso de adubação silicatada às plantas, relatados na literatura, tem-se resistência às doenças e pragas (Goussain *et al.*, 2002), tolerância à toxicidade por metais pesados (Shi *et al.*, 2006; Wiese *et al.*, 2007), tolerância a estresses hídricos e salinos (Gunes *et al.*, 2008), menor transpiração,

promoção de crescimento e nodulação em leguminosas, efeito na atividade de enzimas e na composição mineral, melhoria da arquitetura da planta facilitando a mecanização, redução no acamamento e consequente aumento da taxa fotossintética e aumento de produtividade.

Diversos autores têm observado ganhos significativos na produtividade de algumas gramíneas, como o arroz, a cana-de-açúcar, o milho, o capim kikuiu, o capim Bermuda e outras não gramíneas, como a alfafa, feijão, tomate, alface e repolho, com aumento do nível de silício solúvel no solo (Korndöner e Lepsch, 2001). Invariavelmente, esses efeitos ocorrem em plantas cuja acumulação de silício em suas estruturas seja grande. No entanto, o efeito da adubação com silício em milho ainda precisa ser mais estudado, uma vez que são discordantes os resultados encontrados nas pesquisas relacionadas com efeito do silício em diversas plantas, citados nos trabalhos científicos.

O milho (*Zea mays L.*), planta da família das Gramíneas (*Poacea*) e do gênero *Zea* pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C₄, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo. Em território brasileiro o cultivo do milho é muito expressivo, sendo produzido em

praticamente todo o território. Costa *et al.* (2008) enfatizam que a produtividade do milho na região nordestina é baixa em decorrência da predominância de sistemas de produção que utilizam pouca ou nenhuma tecnologia e apresentam insuficiência e irregularidade pluviométrica. Ou seja, a produção de milho é extremamente afetada por deficiências hídricas durante o estabelecimento da cultura.

Conforme os relatos na literatura dos efeitos benéficos da adubação silicatada às plantas e a respeito da tolerância a estresses hídricos, objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento das plantas de milho submetidas às doses crescentes de silício e diferentes lâminas de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, localizada em Campina Grande, PB no ano de 2009. Foram utilizados vasos plásticos com 100 L de capacidade, perfurados na base para permitir a drenagem, os quais foram preenchidos com 80 kg de material (Neossolo Regolítico eutrófico) coletado na camada superficial do solo, cujas características foram: areia = 841,5 g kg⁻¹; silte = 87,5 g kg⁻¹; argila = 71,0 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 6,6; Ca = 2,55 cmol_c kg⁻¹; Mg = 2,23 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,06 cmol_c kg⁻¹; K = 0,28 cmol_c kg⁻¹; H = 0,79 cmol_c kg⁻¹; Al = 0,00 cmol_c kg⁻¹; matéria orgânica = 8,4 g kg⁻¹ e P = 28,50 mg kg⁻¹.

O delineamento do experimento foi em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições; as lâminas de água foram distribuídas em faixas e as doses de silicato de cálcio e magnésio compunham as subparcelas. Os tratamentos consistiram da combinação de quatro lâminas de irrigação referentes à reposição de água de 50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura, com quatro

quantidades de silicato de cálcio e magnésio, correspondentes a 0, 82, 164 e 246 g do material, em cada vaso. O silicato de cálcio e magnésio (Agrosilício) foi oriundo de uma escória da produção de aço inox (Acesita), tratada pela Recmix do Brasil, contendo: 25,0 % de Cálcio; 6,0 % de Magnésio e 10,5 % de Silício.

Os vasos foram preenchidos com 80 kg de solo misturados com 0, 82, 164 e 246 g de silicato de cálcio e magnésio, conforme os tratamentos. O solo foi incubado e mantido em capacidade de campo pelo tempo de trinta dias, para que o silicato pudesse reagir com o solo. Posteriormente o solo foi adubado com nitrogênio, fósforo e potássio, segundo recomendação de Novais *et al.* (1991) para ambiente protegido, nas dosagens 100 mg de N; 300 mg de P₂O₅ e 150 mg de K₂O por quilo de solo, tendo como fontes dos elementos a uréia (46 % de N), o superfosfato triplo (46 % de P₂O₅) e o cloreto de potássio (60 % de K₂O), respectivamente. Todo o fósforo foi colocado em fundação e as doses de nitrogênio e potássio divididas em duas partes, uma aplicada em fundação e a outra aplicada 15 dias após a germinação do milho.

Após a adubação de fundação realizou-se o semeio do milho colocando-se cinco sementes por vaso do milho BRS – Caatingueiro, permanecendo três plantas por vaso; uma delas foi colhida aos 43 dias após a semeadura (DAS); as outras duas plantas permaneceram até a produção.

Para o suprimento hídrico das plantas utilizou-se o método de irrigação localizada adotando-se o sistema de irrigação por gotejamento.

Tomou-se como base a evaporação do tanque “Classe A”, instalado na casa de vegetação, para quantificar a água aplicada na irrigação. O cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀), dentro da casa de vegetação, foi feito pela multiplicação de K_p (igual a 1,0) pela evaporação (EV), medida no tanque “Classe A” diariamente, conforme a equação ET₀ = K_p. EV; para o cálculo da

evapotranspiração da cultura (ET_c) multiplicou-se K_c (coeficiente de cultura) pela evapotranspiração de referência, conforme a equação $ET_c = K_c \cdot ET_0$.

Em relação aos valores do K_c utilizados nesta pesquisa, adotou-se, inicialmente, um K_c igual a 0,7 na fase fenológica correspondente à emissão das segunda à quarta folhas totalmente expandidas. Até a emissão da oitava folha adotou-se K_c igual a 0,87; 1,04 da oitava à décima folha; 1,20 da décima folha até o aparecimento de grãos leitosos e K_c igual 0,35 na fase fisiológica do milho em que começou a formação de “dentes”, prolongando-se até a maturação fisiológica.

Os níveis de água em forma de volume (mensurada em litros), foram calculados multiplicando-se a ET_c referente a cada estágio de desenvolvimento do milho, por: 0,5; 0,75; 1,0 e 1,25, obtendo-se as lâminas L_1 , L_2 , L_3 e L_4 (mm dia^{-1} ou $\text{L m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) referentes à reposição de 50, 75, 100 e 125 %, da evapotranspiração da cultura; em seguida, os valores das lâminas L_1 , L_2 , L_3 e L_4 foram multiplicados pela área da abertura do vaso ($S_{\text{vaso}} = 0,13 \text{ m}^2$), obtendo-se o volume requerido para suprimento dos níveis de reposição diária de água.

As avaliações das variáveis de crescimento, como comprimento e diâmetro dos caules, comprimento, largura e número das folhas, foram realizadas em cinco épocas, discriminadas a seguir: 1º avaliação – aos 6 DAS (plantas apresentavam 2 folhas totalmente expandidas); 2º avaliação – aos 31 DAS (plantas apresentavam 4 folhas totalmente expandidas); 3º avaliação – aos 43 DAS (plantas apresentavam 8 folhas totalmente expandidas); 4º avaliação – aos 49 DAS (plantas apresentavam inflorescência); 5º avaliação – aos 92 DAS (fase em que os grãos se encontravam com a camada preta na inserção com a espiga, conhecida como maturação fisiológica). De acordo com a análise destrutiva, as plantas coletadas nas 3ª, 4ª e 5ª avaliações, foram separadas em caule,

folhas e fruto (da planta coletada na 5ª avaliação) separadas, lavadas com água destilada e acondicionadas em sacos de papel identificados e perfurados; em seguida, foram levadas a estufa com aeração forçada à temperatura de 61°C, por 72 horas ou até atingirem peso constante obtendo-se, assim, a massa seca da parte aérea (MSPA).

Do início do experimento até a emissão da segunda folha das plantas, completamente expandidas, a irrigação foi realizada diariamente mantendo o solo em capacidade de campo em todos os tratamentos; a partir daí, teve início do controle das lâminas de irrigação, diferenciando-se os tratamentos.

Os dados obtidos foram avaliados em esquema de faixas em parcelas subdivididas. Para os fatores lâminas de irrigação e doses de silício, realizou-se a análise de regressão polinomial e o teste de Tukey para comparação das médias, utilizando-se o programa computacional SISVAR versão 5.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância do comprimento do caule do milho, nas diferentes fases vegetativas não houve efeito de bloco em nenhuma avaliação, possivelmente em decorrência do experimento ter sido conduzido em ambiente protegido, o qual apresentava as mesmas condições para todos os blocos (Tabela 1). Os coeficientes de variação das médias foram baixos, indicando boa precisão experimental.

Os efeitos de lâmina de irrigação sobre o comprimento do caule foram significativos na fase em que a planta apresentava 8 folhas, na fase de floração e na fase de produção da cultura. Segundo Mattos *et al.* (2005) a deficiência hídrica interfere na fisiologia e na morfologia das plantas, a ponto de causar, conforme a magnitude, severas limitações no desenvolvimento da planta. Para Bergamaschi *et al.* (2004) o período crítico em que o milho necessita de

aporte hídrico máximo, vai da fase do pendoamento (ou floração masculina) ao início de enchimento de grãos.

A variação das médias do comprimento do caule em função das doses de silício, não foi significativa em nenhuma fase do desenvolvimento das plantas, indicando que o crescimento do caule não foi influenciado pela aplicação de silício como adubo (Tabela 1). Chaves e Vasconcelos (2006), avaliando o efeito do xisto retornado, proveniente da Petrobrás-SIX, como fonte de silício (57% em peso de SiO₂), na cultura do milho, observaram pequenos acréscimos na altura das plantas porém sem significância estatística. Segundo Orioli Júnior et al. (2008) e Medeiros et al. (2009), a aplicação de doses crescentes de silício na cultura de trigo e cana-de-açúcar, respectivamente, não teve

influência significativa no crescimento nem nas características fisiológicas das plantas.

A interação entre os fatores lâmina de água e silício teve efeito significativo sobre o comprimento do caule das plantas quando estas se encontravam com 8 folhas totalmente expandidas e quando se encontravam na fase de produção (Tabela 1).

Na fase vegetativa em que as plantas apresentavam 8 folhas totalmente expandidas, só ocorreu diferença significativa entre os comprimentos dos caules das plantas que receberam as lâminas de reposição de água nos níveis de 75 e 125 % da ET_c, tendo ocorrido os menores valores de comprimento de caule com a maior lâmina de água (Tabela 2). Nas fases de floração e produção as plantas que receberam o suprimento de água correspondente a 100 e 125 % da ET_c, apresentaram os maiores valores de comprimento de caule.

Tabela 1. Quadrados médios da análise de variância do comprimento do caule nas diferentes fases vegetativas das plantas, em função das lâminas de irrigação e doses de silício

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fases de avaliação				
		2º folha	4º folha	8º folha	Floração	Produção
Bloco	2	0,66 ^{ns}	2,48 ^{ns}	59,14 ^{ns}	350,13 ^{ns}	442,11 ^{ns}
Lâmina de Irrigação (L)	3	0,79 ^{ns}	5,73 ^{ns}	274,6*	4787,37**	6529,87**
Erro 1	6	1,42	1,85	61,77	192,58	214,14
Dose de silicato de cálcio e magnésio	3	0,32 ^{ns}	0,86 ^{ns}	21,95 ^{ns}	214,36 ^{ns}	262,74 ^{ns}
Erro2	6	0,39	1,27	37,65	79,46	112,24
Interação (L x Si)	9	0,24 ^{ns}	0,99 ^{ns}	50,07**	387,59 ^{ns}	490,29**
Erro 3	18	0,47	0,99	15,63	175,76	186,19
Total corrigido	47					

Coeficientes de Variação (CV, %)						
CV 1 -----	14,93	8,70	13,20	10,93	10,42	
CV 2 -----	7,78	7,21	10,31	7,02	7,54	
CV 3 -----	8,62	6,35	6,64	10,45	9,71	

^{ns} Não significativo; *; ** Significativo ao nível de 5 e 1 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Valores médios do comprimento do caule, em cm, nas diferentes fases vegetativas das plantas, em função das lâminas de irrigação e doses de silício

Fontes de Variação	Valores médios dos comprimentos de caule, cm.				
	Fases de avaliação				
	2° folha	4° folha	8° folha	Floração	Produção
Lâmina de irrigação (% ET _c)					
50	7,63 a	15,57 a	60,78 ab	101,51 a	110,85 a
75	8,10 a	16,60 a	63,98 b	120,92 ab	133,41 b
100	8,07 a	15,47 a	60,59 ab	146,00 c	162,65 c
125	8,22 a	14,95 a	52,73 a	139,21 bc	155,08 c
Dose de Silício (kg ha ⁻¹)					
0	8,23 a	15,93 a	60,27 a	121,44 a	134,85 a
300	7,98 a	15,78 a	60,99 a	127,90 a	140,98 a
600	7,97 a	13,32 a	58,78 a	126,62 a	139,89 a
900	7,84 a	15,56 a	58,03 a	131,67 a	146,26 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Médias do comprimento de caule, em cm, dos desdobramentos das lâminas de irrigação dentro das doses de silício

Desdobramento	Valores médios dos comprimentos de caule, cm.				
	Lâmina (% da ET _c) na Dose de Si (kg ha ⁻¹)	Fases de avaliação			
		2° folha	4° folha	8° folha	Floração
50 x 0	7,73 a	15,70 ab	60,67 a	97,93 a	107,40 a
75 x 0	8,67 a	17,57 b	60,43 a	108,00 ab	120,30 ba
100 x 0	8,47 a	15,67 ab	62,16 a	131,67 bc	146,67 bc
125 x 0	8,07 a	14,80 a	57,83 a	148,17 c	165,03 c
50 x 300	7,60 a	16,10 a	66,60 b	98,43 a	105,67 a
75 x 300	7,97 a	16,17 a	63,43 b	119,33 ab	130,93 ab
100 x 300	7,73 a	15,03 a	59,66 ab	164,33 c	183,07 c
125 x 300	8,63 a	15,80 a	54,26 a	129,50 b	144,27 b
50 x 600	7,70 a	15,47 a	61,27 b	103,00 a	113,17 a
75 x 600	7,97 a	15,93 a	64,77 b	122,33 ab	133,13 ab
100 x 600	7,93 a	15,17 a	57,67 ab	134,83 b	150,23 b
125 x 600	8,26 a	14,70 a	51,43 a	146,33 b	163,03 b
50 x 900	7,50 a	15,00 a	54,60 ab	106,67 a	117,17 a
75 x 900	7,80 a	16,73 a	67,27 c	134,00 ab	149,26 b
100 x 900	8,13 a	16,00 a	62,87 bc	153,16 b	170,63 b
125 x 900	7,93 a	14,50 a	47,4 a	132,83 ab	147,96 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os desdobramentos (Tabela 3) observa-se que, em geral, a maior lâmina de irrigação (125 % da ET_c) não foi a mais adequada para o desenvolvimento do caule.

Em relação às doses de silício (na interação com as lâminas), nas fases em que

houve diferença significativa entre as médias de comprimento de caule observa-se que, com a presença do elemento, o desenvolvimento do caule foi maior em relação à testemunha e, na maioria dos casos, as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ se apresentaram mais favoráveis (Tabela 4).

Tabela 4. Médias do comprimento de caule, em cm, dos desdobramentos das doses de silício dentro de cada lâmina de irrigação aplicada

Desdobramento	Valores médios dos comprimentos de caule, cm.				
	Fases de avaliação				
Dose de Si (kg ha ⁻¹) na Lâmina (% da ET _c)	2° folha	4° folha	8° folha	Floração	Produção
0 x 50	7,73 a	15,70 a	60,67 ab	97,93 a	107,40 a
300 x 50	7,60 a	16,10 a	66,60 b	98,43 a	105,67 a
600 x 50	7,70 a	15,47 a	61,27 ab	103,00 a	113,17 a
900 x 50	7,50 a	15,00 a	54,60 a	106,67 a	117,17 a
0 x 75	8,67 a	17,57 a	60,43 a	108,00 a	120,30 a
300 x 75	7,97 a	16,17 a	63,43 a	119,33 a	130,93 a
600 x 75	7,97 a	15,93 a	64,77 a	122,33 a	133,13 a
900 x 75	7,80 a	16,73 a	67,27 a	134,00 a	149,26 a
0 x 100	8,47 a	15,67 a	62,16 a	131,67 a	146,67 a
300 x 100	7,73 a	15,03 a	59,66 a	164,33 b	183,07 b
600 x 100	7,93 a	15,17 a	57,67 a	134,83 bc	150,23 a
900 x 100	8,13 a	16,00 a	62,87 a	153,16 bc	170,63 ab
0 x 125	8,07 a	14,80 a	57,83 a	148,17 a	165,03 a
300 x 125	8,63 a	15,80 a	54,26 a	129,50 a	144,27 a
600 x 125	8,26 a	14,70 a	51,43 a	146,33 a	163,03 a
900 x 125	7,93 a	14,50 a	47,40 a	132,83 a	147,96 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O diâmetro caulinar das plantas foi influenciado pela lamina de irrigação de maneira significativa, em nível de 5 % de probabilidade, no entanto, só a partir da fase em que as plantas já apresentavam 8 folhas totalmente expandidas (Tabela 5).

Os efeitos das doses de silício não refletiram em diferenças significativas do diâmetro do caule corroborando com Chaves e Vasconcelos (2006) que, avaliando o efeito

do xisto retornado (57% em peso de SiO₂) na cultura do milho, não observaram efeitos significativos sobre o diâmetro do caule. Entretanto, Neri *et al.* (2009), constataram aumento do diâmetro do caule das plantas de milho, quando adubadas com silício e Medeiros *et al.* (2008), mostraram decréscimo no diâmetro caulinar de cana-de-açúcar quando adubada com doses crescentes de silício.

Tabela 5. Resumo da análise de variância do diâmetro caulinar em diversas fases de crescimento do milho

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fases de avaliação				
		2º folha	4º folha	8º folha	Floração	Produção
Bloco	2	0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}	6,11 ^{ns}	4,59 ^{ns}	4,83 ^{ns}
Lâmina de Irrigação (L)	3	0,88 ^{ns}	0,35 ^{ns}	8,96 [*]	36,7 [*]	28,89 [*]
Erro 1	6	0,41	0,12	1,42	4,56	4,18
Dose de Silício (Si)	3	0,22 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,81 ^{ns}
Erro2	6	0,37	0,48	0,62	3,43	2,81
Interação (L X Si)	9	0,11 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,25 ^{ns}	2,58 ^{ns}
Erro 3	18	0,17	0,29	2,99	2,64	1,63
Total corrigido	47					

Coefficientes de Variação (CV, %)

CV 1 -----	11,99	3,49	4,99	10,14	9,88
CV 2 -----	11,45	6,84	3,29	8,80	8,11
CV 3 -----	7,73	5,37	7,22	7,72	6,18

^{ns} Não significativo; ^{*} Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Os níveis de reposição de água que inferiram maiores médias do diâmetro

Comparando as médias dos diâmetros de caule das plantas nas várias fases em que foram avaliados, observa-se que nas fases de floração e produção ocorreu seu decréscimo quando comparadas com as médias observadas na fase em que a planta apresentava 8 folhas (Tabela 6). Provavelmente isto tenha ocorrido pelo fato das plantas apresentarem, nos períodos da floração e produção, uma demanda hídrica maior e, em contrapartida, menor turgescência das células caulinares, que nos períodos

caulinar foram os que refletiam em 100 e 125 % da ET_c (Tabela 6).

Outro ponto a ser levado em consideração se refere à maturidade das células epidérmicas que, ao se tratar de caule, são chamadas de peridérmicas e para dar sustentação à planta tem em sua parede celular um acúmulo de súber, sendo intensificado na maturidade da planta (fases de floração e produção). Isto faz com que nessas células (da periderme) ocorra diminuição do conteúdo de água e da turgescência, explicando a diminuição do diâmetro do caule.

Tabela 6. Valores médios do diâmetro caulinar, em mm, em função da lâmina de irrigação aplicada
Valores médios dos diâmetros de caule, mm.

Fonte de Variação	Fases de avaliação				
	2º folha	4º folha	8º folha	Floração	Produção
Lâmina de irrigação (L; % da ET _c)					
50	5,31 a	10,02 a	24,04 ab	19,87 ab	19,71 ab
75	4,97 a	9,99 a	22,72 a	19,27 a	19,03 a
100	5,50 a	10,37 a	24,27 ab	22,31 b	21,69 ab
125	5,58 a	10,07 a	24,74 b	22,80 b	22,27 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Resumo da análise de variância da área foliar em diversas fases de crescimento do milho

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fases de avaliação				
		2º folha	4º folha	8º folha	Floração	Produção
Bloco	2	49,7 ^{ns}	947,42 ^{ns}	1883,09 ^{ns}	38526,6 ^{ns}	36249,74 ^{ns}
Lâmina de Irrigação (L)	3	26,37*	700,64*	73697,65 ^{ns}	153781,69 ^{ns}	144692,3 ^{ns}
Erro 1	6	3,69	123,72	26834,99	97307,16	91555,25
Dose de Silício (Si)	3	6,43 ^{ns}	23,93 ^{ns}	11055,17 ^{ns}	35400,08 ^{ns}	33307,11 ^{ns}
Erro2	6	10,4	220,22	17221,26	33194,78	31232,81
Interação (L X Si)	9	3,99 ^{ns}	185,85 ^{ns}	23822,01 ^{ns}	131094,68 ^{ns}	123348,61 ^{ns}
Erro 3	18	17,16	409,58	12281,66	53415,28	50258,91
Total corrigido	47					

Coefficientes de Variação (CV, %)

CV 1-----	11,99	3,49	4,99	10,14	9,88
CV 2-----	11,45	6,84	3,29	8,80	8,11
CV 3-----	7,73	5,37	7,22	7,72	6,18

^{ns} Não significativo; * Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

As lâminas de irrigação exerceram efeito significativo na área foliar das plantas somente nos períodos em que elas apresentavam 2 e 4 folhas totalmente expandidas, o que não foi observado nas demais fases vegetativas (Tabela 7).

As doses de silício não refletiram em efeitos significativos nas médias de área foliar em nenhum período de avaliação, assim como a interação das lâminas de irrigação

com as dosagens de adubação silicatada, discordando de Mali e Aery (2009). Este autores, estudando o efeito do silício na cultura de feijão macassar (*Vigna unguiculata* L.) observaram aumento de 52,2% na área foliar das plantas cultivadas com a dose 100 mg Si kg⁻¹ de solo em relação ao controle, sem silício, ocorrendo, a partir de 200 mg Si kg⁻¹, redução gradual na mesma.

Tabela 8. Valores médios da área foliar em função da lâmina de irrigação e da adubação silicatada aplicada

Fonte de Variação	Valores médios das áreas foliar, cm ²				
	Fases de avaliação				
	2º folha	4º folha	8º folha	Floração	Produção
Lâmina de irrigação (% da ET _c)					
50	27,40 a	147,70 a	1106,26 a	760,52 a	737,71 a
75	26,88 a	147,85 ab	1021,74 a	682,48 a	662,00 a
100	27,80 ab	149,58 ab	1087,55 a	886,99 a	860,38 a
125	30,23 b	163,56 b	932,89 a	927,85 a	900,00 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As lâminas de irrigação tiveram efeito significativo, ao nível de 1 % de probabilidade, sobre o acúmulo de massa seca da parte aérea do milho nas fases de 8 folhas, floração e de produção, enquanto as

doses de silício e a interação entre os dois fatores apresentaram efeito significativo a 5 % de probabilidade, nas fases em que as plantas apresentavam 8 folhas e na produção do milho (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância da matéria seca da parte aérea (MSPA) em diversas fases de crescimento do milho

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios MSPA		
		Fases de avaliação		
		8º folha	Floração	Produção
Bloco	2	0,489 ^{ns}	110,73 ^{ns}	10,93 ^{ns}
Lâmina de Irrigação (L)	3	71,00 ^{**}	1382,70 ^{**}	18883,31 ^{**}
Erro 1	6	0,63	40,29	22,58
Dose de Silício (Si)	3	8,53 [*]	154,39 ^{ns}	291,27 [*]
Erro2	6	1,42	37,86	32,42
Interação (L X Si)	9	5,91 [*]	89,32 ^{ns}	82,09 [*]
Erro 3	18	1,82	77,41	38,52
Total corrigido	47			

Coefficientes de Variação (CV, %)

CV 1-----	9,84	9,84	6,39
CV 2-----	8,59	9,54	7,66
CV 3-----	9,71	13,64	8,35

^{ns} Não significativo; ^{*} e ^{**} Significativo ao nível de 5 e 1 % de probabilidade.

Chaves e Vasconcelos (2006), avaliando o efeito do xisto retornado como fonte de silício (57% em peso de SiO₂), na cultura do milho, observaram pequenos acréscimos na matéria seca das plantas, porém sem significância estatística, estando de acordo com os resultados encontrados por Tanaka e Park (1966), Liang *et al.* (1994), Carvalho (2000) e Mauad *et al.* (2003). Esses autores não encontraram diferenças significativas entre as quantidades de silício aplicadas e a produção de matéria seca de arroz, discordando de Guo *et al.* (2005) que observaram aumento na matéria seca de arroz em função de doses crescentes de silício. Da mesma forma, Assis *et al.* (2007), encontraram aumentos significativos de produção de massa verde nas plantas de sorgo adubadas com silicato de cálcio e magnésio.

A ausência de resposta à aplicação de silício em solos considerados com baixos teores do elemento, muitas vezes está relacionada à carência de informações quanto à exigência e à capacidade de absorver silício por determinadas cultivares, uma vez que há diferença genotípica quanto a esta capacidade (Barbosa Filho *et al.*, 1998); assim, torna-se importante o estudo sobre a exigência de cada cultura em relação ao silício, para que possam ser definidos os níveis considerados adequados para as mesmas.

Os efeitos favoráveis causados pelos fatores lâmina de irrigação e dose de silício no comprimento e diâmetro do caule, discutido anteriormente, refletiram no acúmulo de matéria seca da parte aérea sendo as maiores médias observadas para as lâminas de reposição de água nos níveis de 100 e 125 % da ET_c e para as dosagens de silício de 600 e 900 kg ha⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios da matéria seca da parte aérea (MSPA) em função da lâmina de irrigação e da adubação silicatada aplicada

Fonte de Variação	Valores médios das MSPA, g		
	Fases de avaliação		Produção
	8º folha	Floração	
Lâmina de irrigação (% da ET _c)			
50	11,91 a	56,44 a	63,88 a
75	11,91 a	54,22 a	63,17 a
100	14,79 b	71,79 b	85,47 b
125	16,90 c	75,57 b	84,96 b
Dose de Silício (kg ha ⁻¹)			
0	13,22 a	62,30 a	72,16 ab
300	13,23 a	60,65 a	68,69 a
600	14,07 ab	67,20 a	79,83 b
900	14,99 b	67,91 a	76,79 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Médias da matéria seca da parte aérea (MSPA) dos desdobramentos das lâminas de irrigação dentro das doses de silício e das doses de silício dentro de cada lâmina de irrigação aplicada

Desdobramento	Valores médios das MSPA			Desdobramento	Valores médios das MSPA		
	Fases de Avaliação				Fases de Avaliação		
Lamina* vs Dose de Si**	8º.folha	Floração	Produção	Dose de Si** vs Lamina*	8º.folha	Floração	Produção
50 x 0	10,04a	51,48a	62,27a	0 x 50	10,04a	51,48	62,27a
75 x 0	10,92a	51,22a	58,83a	300 x 50	12,00ab	58,24a	64,01a
100 x 0	16,01b	75,04b	87,38b	600 x 50	13,57b	59,77a	65,97a
125 x 0	15,89b	71,44ab	80,18b	900 x 50	12,03ab	56,41a	63,30a
50 x 300	12,00a	58,24ab	64,01ab	0 x 75	10,92a	51,22a	58,83ab
75 x 300	10,71a	47,00a	52,75a	300 x 75	10,71a	47,00a	52,75a
100 x 300	13,08a	61,56ab	72,34bc	600 x 75	12,81a	60,87a	72,93b
125 x 300	17,15b	75,79b	85,68c	900 x 75	13,19a	57,79a	68,17b
50 x 600	13,57a	59,77a	65,97a	0 x 100	16,01 ab	75,04ab	87,38b
75 x 600	12,81a	60,87a	72,93a	300 x 100	13,08a	61,56a	72,34a
100 x 600	12,92a	68,50a	91,04b	600 x 100	12,92a	68,50ab	91,04b
125 x 600	16,99b	79,66a	89,39b	900 x 100	17,17b	82,06b	91,14b
50 x 900	12,03a	56,41a	63,30a	0 x 125	15,89a	71,44a	80,18a
75 x 900	13,19a	57,79a	68,17a	300 x 125	17,15a	75,79a	85,68a
100 x 900	17,16b	82,06b	91,14b	600 x 125	16,99a	79,66a	89,39a
125 x 900	17,58b	76,37ab	84,58b	900 x 125	17,58a	76,37a	84,58a

* Lâminas de irrigação (% da ET_c); ** Doses de silício (kg ha⁻¹); médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Através dos desdobramentos (Tabela 11), pode-se observar que a matéria seca da pelo estresse hídrico (lâmina de 50 % da ET_c), corroborando com Kaya et al. (2006), parte aérea foi significativamente reduzida

Observando os dados apresentados na Tabela 11, pode-se dizer que, nas plantas sob estresse hídrico, a presença de silício aumentou a matéria seca da parte aérea corroborando com Lux et al. (2002) que observaram aumento no crescimento de sorgo (*Sorghum bicolor*) quando submetido a estresse hídrico com doses crescentes de silício.

CONCLUSÕES

As variáveis de crescimento, como comprimento e diâmetro do caule, a área foliar e conseqüentemente, a matéria seca da parte aérea, foram influenciados pelas lâminas de irrigação utilizadas.

As doses de silício utilizadas isoladamente não interferiram no comprimento nem no diâmetro do caule e na área foliar.

A interação das lâminas de irrigação com as diferentes doses de adubação silicatada teve efeito sobre o comprimento de caule e massa da matéria seca da parte aérea.

As plantas submetidas a déficit hídrico (lâminas correspondentes a 50 e 75 % da ET₀), na presença de silício (300 e 600 kg ha⁻¹) não apresentaram redução na massa da matéria seca da parte aérea e mantiveram um conteúdo de água nas células semelhante ao encontrado nos tratamentos que receberam as maiores lâminas de irrigação (100 e 125 % da ET_c).

AGRADECIMENTOS

À Hascos Mineraiis pela doação de Agrossilício, fonte de silício utilizada no experimento e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, M. H. S.; PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; PAIVA, J. B. Formas de aplicação de fertilizante silicatado e seus efeitos no solo e na produção de sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007, CD Rom.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; ELLIOTT, C. L.; DATNOFF, L. E.; PRABHU, A. S.; SILVA, O. F.; KORNDORFER, G. H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTIBIO 1998, Caxambu. **Anais...** Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p. 57.

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, n.9, p.831-839, 2004.

CARVALHO, J. C. **Análise do crescimento e produção de grãos da cultura de arroz irrigado por aspersão, em função da aplicação de escória de siderurgia como fonte de silício.** Botucatu: UNESP, 2000. 119p. Dissertação Mestrado.

CHAVES, L. H. G.; VASCONCELOS, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.84-88, 2006.

COSTA, C. T. F.; PEREIRA, L. G. R.; ANTOS, R. D.; NEVES, A. L. N.; ARAÚJO, G. G. L.; BARREIROS, D. C.; ARAGÃO, A. S. L. **Produtividade e características agrônômicas de sete genótipos de milho na região do sub-médio do vale do São**

- Francisco.** In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, V, Aracaju- SE, 2008.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, n.2, p.305-310, 2002.
- GUO, W.; HOU, Y. L.; WNG, S. G.; ZHU, Y. G. Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings in solution culture. **Plant and Soil**, v. 272, p. 173-181, 2005.
- GUNES, A.; INAL, A.; ADAK, M. S.; BAGCI, E.G.; CICEK, N.; ERASLAN, F. Effect of drought stress implemented at pre- or post- anthesis stage some physiological as screening criteria in chickpea cultivars. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 55, n.1, p. 59-67, 2008.
- KAYA, C.; TUNA, L.; HIGGS, D. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, p. 1469–1480, 2006.
- KORNDORFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L.E. et al. (ed.). **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 133-147.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 2.ed. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002. 24p. (Boletim Técnico, 1).
- LIANG, Y. C.; MA, T. S.; LI, F. J.; FENG, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 18, p. 2285-2297, 1994.
- LUX, A., LUXOVA, M., HATTORI, T., INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologic Plantarum**, v. 115, p. 87-92. 2002.
- MALI, M.; AERY, N. C. Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p.1041-1052, 2009.
- MATTOS, J.L.S.; GOMIDE, J.A.; HUAMAN, C.A.M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.746-754, 2005.
- MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.
- MEDEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; AQUINO, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 121-129, 2009.
- MEDEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; DANTAS NETO, J.; BELTRÃO, N. E. de M.; AQUINO, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre a produtividade e crescimento da cana-de-açúcar irrigada. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n. 3, p.192-202, 2008.

NERI, D. K. P.; GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; GÓES, G. B.; MARROCOS, S. DE 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, p. 1633-1638, 2009.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (eds.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Documentos 3. Brasília: Embrapa – SEA, 1991. p.189 - 253.

ORIOLI JÚNIOR, V.; ARF, O.; COSTA, R. S.; BUZETTI, S. Modos de aplicação e doses de silício em dois cultivares de trigo cultivados em semeadura direta. **Scientia Agraria**, v.9, n.3, p.377-383, 2008.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991. 343p.

RAIJ, B. V.; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v. 32, p. 223-236, 1973.

SHI, Y.; RIEKE, G. H.; HINES, D. C.; GORJIAN, V.; WERNER, M. W.; CLEARY, K.; LOW, F. J.; SMITH, P. S.; BOUWMAN, J. 9.7 μm Silicate Features in Active Galactic Nuclei: New Insights into Unification Models. **The Astrophysical Journal**, v.653, n.1, p.127-136, 2006.

TANAKA, A.; PARK, Y. D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.12, n.1, p.23-28, 1966.

WIESE, H.; NIKOLIC, M.; ROMHELD, V. Silicon in plant nutritio – Effects on zinc manganese and boron leaf concentration and compartmentation. In: SATTELMACHER, B.; HORST, W. J. (Ed.). **The apoplast of higher plants: compartment of storage, transport and reactions**. Editora Springer, 2007. p. 33-47.