

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MICHELLE BOTELHO RONQUI

SILÍCIO E ÁCIDO SALÍCILICO NA CULTURA DO MILHO

CHAPADÃO DO SUL – MS
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MICHELLE BOTELHO RONQUI

SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA CULTURA DO MILHO

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez
Co-Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque
Co-Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia, área
de concentração: Produção Vegetal.



Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Câmpus de Chapadão do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Michelle Botelho Ronqui

ORIENTADORA: Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez

TÍTULO: SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA CULTURA DO MILHO

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Rita de Cassia Felix Alvarez

Prof.(a) Dr.(a) Vespasiano Borges de Paiva Neto

Prof.(a) Dr.(a) Marcelo Valentini Arf

Chapadão do Sul, 28 de Novembro de 2016.

*Aos meus pais Marliane e Wagner,
aos meus avós Marli e Ademir,
especialmente a minha bisavó Laurinda.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter concedido saúde e força para nunca desistir.

A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), unidade de Chapadão do Sul, pelo apoio à minha participação no mestrado.

A Fundação CAPES pelo auxílio a pesquisa, ao programa PROCAD por ter proporcionado a realização desse projeto e a Fundação de Apoio a Pesquisa Agropecuária de Chapadão por ter disponibilizado o espaço para o plantio do experimento.

Agradeço minha orientadora Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez e ao meu co-orientador Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta defesa.

À Engenheira Florestal MSc. Thais Barros, pelo auxílio na elaboração e execução desse projeto.

Aos membros da banca examinadora Dr. Eng. Agrônomo Marcelo Arf e ao Prof. Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto, é uma satisfação tê-los na banca examinadora.

Ao assistente em administração Sinomar Moreira Andrade, por toda paciência nesses anos de pós-graduação.

Meus agradecimentos aos meus colegas e companheiros de trabalhos, que fizeram parte de todo desenvolvimento desse projeto, Gustavo, Betão, Alan, Clayton.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e incentivaram nessa jornada.

RESUMO

RONQUI, Michelle Botelho. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Silício e ácido salicílico na cultura do milho.
Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez

O milho (*Zea Mays* L) está entre os principais cereais consumidos no Brasil, sendo cultivado em praticamente em todo o país e considerado um dos quatro produtos agrícolas mais importantes do mundo. Dentre os fatores limitantes para o desenvolvimento do milho destaca-se o estresse por fatores bióticos e abióticos, e acredita-se que o silício e o ácido salicílico tenham potencial para reduzir tal estresse, porém são poucas as informações disponíveis para o milho sobre o uso desses elementos, utilizados isolados ou/e em conjunto. Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar a resposta agrônômica à aplicação de silício e ácido salicílico aplicado via foliar na cultura do milho cultivado em segunda safra, também se utilizou de metodologias para avaliações das plantas, como o teor de silício, medições de trocas gasosas, componentes de produção e produtividade de grãos de milho. O teor de silício e a clorofila total não tiveram diferença significativa perante aos tratamentos, já a condutância estomática, transpiração e a eficiência do uso da água momentânea tiveram efeitos significativos com as aplicações de Si e AS, e os componentes de produção e a produtividade de grãos não tiveram diferenças significativas.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*. Estresse. Segunda safra.

ABSTRACT

RONQUI, Michelle Botelho. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Silício e ácido salicílico na cultura do milho.

Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez

Maize (*Zea Mays* L) is among the main cereals consumed in Brazil, being grown practically throughout the country and considered one of the four most important agricultural products in the world. Among the limiting factors for the development of maize, stress is stressed by biotic and abiotic factors, and it is believed that silicon and salicylic acid have the potential to reduce such stress, but little information is available for corn on the use Used alone or in combination. This research was conducted with the objective of evaluating the agronomic response to the application of silicic and salicylic acid applied by foliar in maize cultivated in the second harvest, methodologies were also used for plant evaluations, such as silicon content, Gaseous components, production components and corn grain yield. Silicon content and total chlorophyll did not differ significantly from treatments, while stomatal conductance, transpiration and momentary water use efficiency had significant effects with Si and AS applications, as well as production components and yield productivity. Grains had no significant effects.

KEY-WORDS: *Zea mays*. Stress. Second crop.

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
1	Análise química do solo nas camadas de 0,0-0,20 m de profundidade, para caracterização geral da área do experimento.....	27
2	Data de aplicação, temperatura do ambiente, umidade, velocidade do vento e estágio da planta.....	28
3	Teor de silício e clorofila total da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.....	30
4	Taxa de assimilação líquida CO ₂ , condutância estomática, concentração interna de CO ₂ , transpiração foliar e eficiência do uso da água momentânea da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.....	31
5	Desdobramento da condutância estomática de plantas de milho, na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.....	32
6	Desdobramento da transpiração de plantas de milho, na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.....	33
7	Média da eficiência do uso da água momentânea de plantas de milho, na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.....	33
8	Componentes de produção e produtividade da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.....	34

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
1.1. Cultura Do Milho.....	11
1.2. Silício na planta.....	12
1.3. Ácido salicílico.....	14
1.4. Influência dos fatores abióticos na cultura do milho.....	15
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
CAPÍTULO 2 – SÍLCIO E ÁCIDO SALÍCILICO NA CULTURA DO MILHO.....	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1. Descrição da área e tratos culturais.....	26
2.2. Delineamento experimental, tratamentos e semeadura.....	27
2.3. Avaliações.....	28
2.3.1. Trocas gasosas.....	28
2.3.2. Teor de silício.....	28
2.3.3. Índice relativo de clorofila.....	29
2.3.4. Componentes de produção e produtividade.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4. CONCLUSÕES.....	35
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) está entre quatro produtos agrícolas mais importantes mundialmente, é cultivado praticamente em todo país, sendo o principal cereal consumido no Brasil. É plantado mais de 15 milhões de hectares de milho no Brasil, com uma produção de 68.476,1 milhões de toneladas na safra de 2015/16, mesmo sendo uma cultura de evolução favorável, a estimativa é de queda na produção total de milho, impulsionada pela redução na área plantada (CONAB, 2016).

Esse cereal é empregado na razão social do país devido a sua capacidade de produção em pequena e/ou grande escala, além de ser à base de inúmeras cadeias agroindustriais. Também faz parte da razão econômica do país, pois o milho é um produto onde seu valor nutricional é alto e seu uso é intenso na alimentação humana e animal, além de ser utilizado como matéria-prima para a indústria, favorecendo assim a economia (GALVÃO et al., 2014).

Pela cultura do milho ser de ampla importância para o mundo, é inevitável a procura por meios necessários à maximização do rendimento produtivo. Porém, a sua produtividade é complexa e depende da interação entre fatores genéticos e ambientais. Nesse sentido, evidencia-se o uso da adubação para fornecer os nutrientes necessários à cultura, no entanto são poucas as informações disponíveis para este cereal sobre o uso do silício (Si), como elemento benéfico e também o uso de novos hormônios de plantas, caso do ácido salicílico (AS) (FARIAS, 2012).

O silício é um nutriente benéfico às plantas, pode estimular o crescimento e a produção vegetal por melhorar a estrutura da planta, proporcionando a redução do auto sombreamento, diminuir o acamamento, ter maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra os fatores abióticos e bióticos (POZZA et al., 2015). O acúmulo e deposição de sílica na camada epidérmica da folha constituem uma barreira de proteção, interferindo de maneira positiva nos processos fisiológicos da planta (MASCHNER, 1995).

De acordo com Hinojosa (2005), o ácido salicílico desempenha funções benéficas às plantas, é um regulador de crescimento vegetal, onde sua aplicação exógena pode influenciar vários processos nas plantas, como a taxa de crescimento, condutância estomática, absorção e transporte de íons (HORVATH et al., 2007). Estudos feitos por Daneshmand (2010) em batatas (*Solanum estoloniferum*)

verificou que o AS foi eficaz em melhorar a função das plantas sob condições de estresse hídrico.

O silício é considerado benéfico para muitas monocotiledôneas, podendo influenciar de modo positivo nas características das plantas, como o aumento da resistência a pragas, doenças, veranicos, temperaturas extremas e ao estresse salino (RODRIGUES, 2010), e o ácido salicílico está envolvido em vários processos fisiológicos das plantas, sendo grande o potencial para utilização no avanço da produção agrícola do Brasil (LIMA FILHO, 2005). Com as pesquisas realizadas, pode-se acreditar que tanto o silício quanto o ácido salicílico, têm grande potencial para serem utilizados na melhoria da produção brasileira.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Cultura Do Milho

Atualmente o milho (*Zea mays*) se consolida como a segunda cultura mais importante para agricultura brasileira, com a produção na safra 2015/16 de 68.476,1 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Entre os maiores produtores, encontramos Estados Unidos, China e Brasil, que sozinhos representam 65,62% da produção mundial, que fornecem produtos para a alimentação humana e animal, além de matérias-primas para a indústria (IMEA, 2015). Apesar de ocupar amplo espaço no território agrícola brasileiro, cerca de 70% do milho produzido no mundo é destinado para consumo animal (PAES, 2006), pois esse cereal é um dos principais ingredientes utilizados nas rações para alimentação de aves, bovinos, peixes e suínos pelo mundo.

O milho é uma gramínea, pertencente à família Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *mays*, é uma planta de origem tropical que exige durante seu ciclo vegetativo, temperatura e umidade suficientes para seu desenvolvimento (MAGALHÃES; SOUZA, 2013). As temperaturas ideais para o crescimento do milho se encontram na faixa de 25 e 30°C, e se a temperatura do solo alcançar o limite inferior a 10°C e/ou superior a 42°C a germinação é afetada negativamente (FANCELLI, 2001).

Quanto ao tipo de grão de milho, existem variações que se dividem em cinco grupos o dentado, duro, farináceo, pipoca e doce, sendo o milho comercial produzido no Brasil o tipo duro e semiduro (CRUZ et al., 2012), enquanto nos

países de clima temperado prevalece o dentado. Para diferenciar os tipos de milho é fundamental a forma e o tamanho dos grãos, que são definidos pela estrutura do endosperma e pelo tamanho do gérmen. Em relação ao tipo de endosperma, cerca de 40% são amiláceos, 30% são de grãos duros cristalinos, pouco mais de 20% são dentados, 10% são pipocas e 3% são milho-doce (PAES, 2006).

O ciclo do milho é determinado através do número de dias da semeadura até a colheita, descritos como superprecoce, precoce, semiprecoce e normal. A determinação desse ciclo não é rígida, pois a diferença entre as cultivares mais tardias e as superprecoces pode não ultrapassar a dez dias, além da colheita que pode acontecer mais cedo devido as diferentes taxas de secagem após a maturação fisiológica (CRUZ et al., 2010).

A cultura do milho no Brasil obteve um ganho expressivo na produtividade durante as últimas décadas, devido às pesquisas no desenvolvimento de novos genótipos e de práticas de manejo da cultura. Através do Centro de Milho e Sorgo, ocorre uma das pesquisas mais importantes para seleção de novos genótipos de milho para as diversas regiões do Brasil, cujos testes são chamados de Ensaio Nacionais e Regionais de Milho (EMBRAPA, 2001). No entanto a produtividade brasileira está distante de alcançar a produção média dos Estados Unidos e da China.

A produtividade do milho têm encontrado limitações, pelo desconhecimento dos produtores sobre as quantidades de nutrientes extraídos e exportados pela cultura, o que poderia auxiliar na adoção de sistemas de cultivo mais adequados e uma adubação mais criteriosa (CUSTÓDIO et al., 2003). Para a obtenção de altas produtividades da cultura do milho é indispensável tornar a cultura economicamente viável e para isso a adubação deve ser realizada, pois o fornecimento de nutrientes de forma correta e em doses adequadas proporciona o máximo desenvolvimento da cultura (BULL, 1993).

1.2. Silício na planta

A partir da comprovação da importância da adubação com silício, o elemento foi incluído na lista de nutrientes necessários às plantas com o Decreto nº 4.954, de 14/01/2004, que regulamenta a Lei 6.894, alterada pela Lei 6.934. Nesse decreto, no primeiro capítulo, o silício foi incluído como nutriente por ser

classificado como essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais, mais precisamente como micronutriente (BRASIL, 2007).

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio, é encontrado em forma de sílica (SiO_2) e minerais silicatados (CRUSCIOL, 2007). Vários materiais têm sido utilizados como fontes de silício, dentre os quais se destacam as escórias de siderurgia, a wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, o silicato de cálcio, o silicato de sódio, o cimento, o termofosfato, o silicato de magnésio e o silicato de potássio (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2010).

A absorção desse elemento traz vários benefícios às plantas, dessa forma existe a hipótese de que a aplicação do silício na cultura do milho pode elevar o grau de resistência das plantas, pois o milho quando se desenvolve em ambiente com alto teor de silício deve diferir daqueles em ambientes deficientes nesse elemento, principalmente quanto à resistência mecânica das células, características de superfície foliar e a tolerância ao estresse abiótico e biótico (HASHEMI et al., 2010).

Pesquisas evidenciaram quais processos estruturais e características das plantas que podem ser influenciados pelo silício, como o aumento da resistência das plantas a pragas e doenças, diminuição da toxidez do solo, diminuição da transpiração excessiva, aumento da resistência a veranicos, aumento da proteção contra temperaturas extremas e ao estresse salino, maior lignificação das folhas favorecendo a fotossíntese, entre outros (LIMA FILHO, 2005).

Existe uma classificação das plantas de acordo com a taxa acumulativa de silício foliar. As plantas com elevado teor de silício maior que 10 g kg^{-1} são consideradas acumuladoras, já as plantas com baixo teor de Si menores que 5 g Kg^{-1} são classificadas como não acumuladoras e aquelas plantas com quantidade de Si foliares entre 5 a 10 g Kg^{-1} são intermediárias. As plantas que a absorção de silício excedeu à absorção de água foram rotuladas em acumuladoras de silício e as plantas em que a absorção foi similar ou menor que a de água, foram consideradas não acumuladoras de silício (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

A distribuição de Si nas plantas depende da espécie vegetal e das condições climáticas (WRANG et al., 1998). Através de transportadores o silício nas plantas se acumula na parte aérea, junto à cutícula, pode ser encontrado também em

pequenas quantidades nos grãos (KORNDÖRFER, 2006). Esse nutriente é depositado como sílica amorfa hidratada, principalmente no retículo endoplasmático, em espaços intercelulares e paredes celulares (TAIZ; ZEIGER, 2004). De acordo com Yoshida (1975) citado por Camargo (2011), a maior parte do silício depositado nas folhas (71% do total), seguido pelo caule (13%), pelas raízes (10%) e pelo colmo (6%).

Aubos contendo silício são utilizados em diversos países e esse elemento tem sido considerado promissor para a sustentabilidade, não apenas da agricultura convencional, mas também da agricultura orgânica (REIS et al., 2007). Diversas classes de solo da Região Central do Brasil, especialmente nas áreas sob vegetação de Cerrado, são pobres em matéria orgânica e em Si solúvel disponível para as plantas (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004), nessas condições, pode ser esperado retorno das plantas á aplicação de Si na forma de fertilizantes e/ou corretivos silicatados.

1.3. Ácido salicílico

Os compostos orgânicos são produzidos pelas plantas e tem seu nível aumentado em resposta ao estresse, esses compostos funcionam como indutores de resistência, sendo chamados também de hormônios vegetais. As plantas produzem uma ampla variedade desses hormônios, entre os quais auxinas, citocininas, giberilinas, etileno, retardadores e inibidores. No entanto, outras moléculas foram descobertas, com efeitos parecidos como o ácido salicílico (GONÇALVES et al., 2014).

O ácido salicílico (AS) pertence ao grupo dos compostos fenólicos, e está relacionado a diversas funções regulatórias no metabolismo das plantas (MAZZUCHELLI et al., 2014). O AS é essencial na regulação das respostas ao estresse e nos processos de desenvolvimento da planta, gerando efeitos fisiológicos e bioquímicos, incluindo a indução da floração, a produção de calor, a fotossíntese, a condutância estomática, a transpiração, a absorção e o transporte de íons, a germinação de sementes, a inibição da biossíntese / ação do etileno e a resistência a doenças (ASGHARI; AGHDAM, 2010).

O AS é facilmente localizado em folhas, inflorescências de plantas termogênicas e em plantas atacadas por patógenos (PACHECO et al., 2007). Participa de processos benéficos como o crescimento, fotossíntese, metabolismo

de nitrato, indutor de florescimento, produção de etileno e de calor (HAYAT et al., 2010), além de aumentar a vida útil das flores (UMEBESE; BANKOLE, 2013). E quando aplicado exógenamente pode inibir a germinação e o crescimento da planta, reduzir a transpiração, promover abscisão das folhas, alterar o transporte de íons induzindo assim uma rápida despolarização das membranas, mas isto depende das espécies, ambiente, condições de cultivo, e principalmente da concentração utilizada deste hormônio (KERBAUY, 2008).

O ácido salicílico é essencial para a estimulação da defesa nas plantas, pela sua capacidade de movimentação e proteção sistêmica, quando aplicado externamente tem efeito preventivo e não curativo, após aplicação, a planta leva 4 a 7 dias para aumentar suas defesas (USAID-RED, 2006). Esse composto desempenha papel fundamental na tolerância ao estresse hídrico, desta maneira, interesses consideráveis têm sido focados nesse ácido, devido a sua capacidade de induzir efeitos de proteção em plantas submetidas ao estresse por escassez hídrica (AZOOZ; YOUSSEF, 2010).

1.4. Influência dos fatores abióticos na cultura do milho

O milho cultivado em segunda safra é conhecido como cultivo de verão ou milho safrinha. Entretanto, em ambas as épocas de cultivo (safra e safrinha) as plantas de milho estão expostas a diversos fatores bióticos e abióticos, podendo ocasionar perturbações no metabolismo das plantas, causando situações de estresse (SOUZA; BARBOSA, 2015). Então o desenvolvimento pleno da lavoura de milho vai depender de fatores genéticos e das condições ambientais.

Quando as plantas são mantidas em condições ambientais adversas, acabam sofrendo alterações no estado fisiológico, pois os tecidos vegetais possuem diferentes sistemas de resposta para o controle da produção de radicais livres, então as enzimas e compostos orgânicos formados nas situações de estresse, podem ser determinados conforme o envolvimento de reações metabólicas (MORO, 2012). De todos os fatores que podem intervir no metabolismo das plantas, a nutrição é o que demanda maior precaução, pois o excesso ou a deficiência de nutrientes pode estar diretamente correlacionado à variação na produção de substâncias ativas (MARTINS et al., 1995).

O silício atualmente é considerado um nutriente benéfico ou essencial para o desenvolvimento de plantas. De acordo com Ma e Takahashi (2002) o efeito

benéfico do silício nas plantas se destaca mais quando os cultivos estão em condições de estresse, como estresse salino, toxidez, falta de água, danos devido à radiação, balanço de nutrientes, altas temperaturas e geadas. Devido a esses fatores, o silício está na lista de micronutrientes para ser utilizado na produção (OLIVEIRA, 2009).

A produção de ácido salicílico também está associada com a resistência de fatores abióticos, resultados encontrados através de experimentos, que comprovaram que a aplicação de ácido salicílico em plantas induz a defesa das plantas contra o ataque por patógenos, pois os vegetais são capazes de sintetizar esse ácido, ou seja, acumulá-lo sob certas condições metabólicas e transportá-lo no floema (PINHEIRO, 1999).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWLER, C.; FLUHR, R. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. *Trends Plant Science*, v.5, p.241-246, 2000.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

CAMARGO, J. M. M. Seleção de clones, absorção e translocação de silício, e seu efeito sobre a população do psílideo-de-concha *Glycaspis brimblecombei* (Moore) (Hemiptera: *Psyllidae*) em plantas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. 2011. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas: Entomologia)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CASTRO, P. R. C.; MELLOTO, E. Bioestimulantes e hormônios aplicados via foliar. In: BOARETO, A. E.; ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. Campinas: Fundação Cargill, 1989. v. 1, cap. 8, p. 191-235.

COLLI, S. Outros Reguladores: Brassinosteróides, Poliaminas, Ácidos Jasmônico e Salicílico. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 296-302.

CONAB - Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 3 - Safra 2015/16, n. 3, dezembro 2015. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf, acesso: 17/06/2016.

ELAWAD, S. H.; GREEN, V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Revista IL RISO*, v. 28, n.2, p. 235-253, 1979.

EMBRAPA. Tecnologia de produção de soja. Londrina, 2001. 281 p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings National of Academy Science*, v. 91, n.1 p. 11-17, 1994.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. (Ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Reimar Carlesso, 2001. p. 59-73.

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

FARIAS, A.T.V. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico. 2012. 66f. Dissertação de pós-graduação, Campina Grande.

FLOSS, E. L.; FLOSS, L. G. Fertilizantes organominerais de última geração: funções fisiológicas e uso na agricultura. *Revista Plantio Direto*, v. 100, n.4, p. 26-29, 2007.

GALVÃO, J.C.C.; MIRANDO, G.V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Revista Ceres*, v. 61, Suplemento, p. 819-828, 2014.

GONÇALVES, K.S.; SOUSA, A.P.; VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; PAZ, V.P.S. Application of potassium phosphite to eucalyptus submitted to water stress in: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2014, Fortaleza, CE, Brasil. Anais... Fortaleza Inovagri International Meeting, 2014.

HAYAT, Q.; HAYAT, S.; IRFAN, M. et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. v.68, p.14 –25, 2010.

HINOJOSA, G. F. Auxina em plantas superiores: síntese e propriedades fisiológicas. In: CID, L P. B. (Ed.). Hormônios vegetais em plantas superiores. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. p. 15-57.

HINOJOSA, G. F. Auxina em plantas superiores: síntese e propriedades fisiológicas. In: CID, L P. B. (Ed.). Hormônios vegetais em plantas superiores. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. p. 15-57.

- IMEA. Entendendo o Mercado do Milho. 2015. Disponível em <
http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Paper_jornalistas_Milho_AO.pdf>
Acesso: 22 de junho de 2016.
- JONES, C.A. C₄ grasses and cereals: growth, development, and stress response. New York: Wiley, 1985.
- KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23. Pelotas, 1999. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.313-316.
- KORNDORFER, G. H. Eficiência do silício como corretivo de solo. *Revista Campo & Negócios*, v. 4, n. 42, p. 84-85, 2006.
- KORNDÖRFER, G. H. Elementos Benéficos. In: FERNANES, M. S. (Ed.) Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 355-374.
- KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. Uso de silício em culturas comerciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5, 2010, Viçosa. Anais..., Viçosa, MG: UFV, DFP, 2010. p. 3-25.
- LEE, T.T.; SKOOG, F. Effect of substituted phenols on but formation and growth of tobacco tissue culture. *Plant Physiology*, v.18, n.1, p.386-402, 1965.
- LIMA FILHO, O. F. Aspectos Gerais sobre o Silício em Solos, Plantas e Animais. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.). Silício na Agricultura: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura. Viçosa, MG: UFV. 2010. p. 47-60.
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. 1999. p.1-7. (Circular Técnica, 87).
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. 1^o Edição, Elsevier Science. Amsterdam 2002.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de. Cultivo do Milho: Ecofisiologia. Disponível em: <http://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosafrinha2013/palestras/14-THIAGOCORREA-DE-SOUZA.pdf> Acesso em: 30 abr. 2016.

MARTINS ER; CASTRO DM; CASTELLANI DC; DIAS JE. 1995. Plantas medicinais. Viçosa: UFV, Imprensa universitária. 22p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 920 p. 1995.

MAZZUCHELLI, E. H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 443-450, 2014.

McCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J.; SHETTY, K. A model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. *Process Biochemistry*, v.35, n.6, p.603-613, 2000.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 31, n.4, p. 625-636, 1985.

MORO, A.L. Relação entre silício e deficiência hídrica sobre os aspectos bioquímicos e fisiológicos no arroz. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

NASS, L.L.; PATERNIANI, E. Perspectiva do pré-melhoramento do milho. In: UDRY, C.V.; DUARTE, W. (Org.). Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos. Brasília, DF: ed. Paralelo15, 2000. p. 46-63.

PACHECO, A.C.; CUSTÓDIO, C.C.; MACHADO NETO, N.B.; CARVALHO, P.R.; PEREIRA, D.N.; PACHECO, J.G.E. Germinação de sementes de camomila [*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert] e calêndula (*Calendula officinalis* L.) tratadas com ácido salicílico. *Revista Brasileira Plantas Medicinais. Botucatu*, v.9, n.1, p.61- 67, 2007.

PAES, M.C.D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. Embrapa: Passo Fundo, 2006. (Circular técnica 75).

PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M.X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.V.; DUARTE, W. (Org.). Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos. Brasília: Ed. Paralelo15, 2000. p. 11-41.

PINHEIRO, M . A defesa das plantas contra as doenças. *Ciência Hoje online*, v. 147, mar. 1999. Disponível em:

<<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/search.do> > Acesso em: 21 de junho de 2016.

PRATES, F. B. S. Crescimento, Desenvolvimento e Nutrição de Pinhão Manso Adubado com Lodo de Esgoto e Silicato de Cálcio e Magnésio. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, UFMG. Montes Claros, 2010.

POZZA, E. A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. O Silício no controle de doenças de plantas. *Revista Ceres*, v.62 n.3, 2015.

RASKIN, I., Salicylate, A New Plant Hormone. *Plant Physiology*. v. 99, p.799-803, 1992.

SOUZA, G.M.; BARBOSA, A.M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. *Revista Visão Agrícola*, n.13, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3º edição; Editora Artmed, Porto Alegre, p. 719, 2004.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; et al. (ed.). *Science of the rice plant: physiology*. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap.5, p.420-433.

UMEBESE, C.E.; BANKOLE A.E. Impact of salicylic acid on antioxidants, biomass and osmotic adjustments in *Vigna unguiculata* L. walp. during water deficit stress. *African Journal of Biotechnology*. v. 12, n.33, p.5200-5207, 2013.

USAID-RED. Programa de Diversificación Económica Rural. El Uso del Ácido Salicílico y Fosfonatos (Fosfitos) para Activar el Sistema de Resistencia de la Planta (SAR). Honduras: Oficina FHIA. 2006. (Boletín Técnico de Producción).

WRANG, S.S.; KIM, K.; HESS, W.M.. 1998. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae). – *Am. J. Bot.* v. 85, n.4, p.461-466.

YOSHIDA, S. The physiology of silicon in rice. Taipei: Food and Fertilization Technology Center, 1975. (Technical Bulletin, 25).

CAPÍTULO 2 – SÍLÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA CULTURA DO MILHO

RESUMO

Vários trabalhos têm evidenciado o efeito benéfico da adubação com silício sobre o aumento da produtividade de algumas culturas, como o arroz, cana-de-açúcar e batata, outro elemento que está sendo estudado é o ácido salicílico, onde se acredita que tem alto potencial na agricultura brasileira, diminuindo efeitos dos estresses abióticos nas plantas. Entretanto, são escassas as informações sobre os benefícios nutricionais do silício e do ácido salicílico para a cultura do milho. Portanto, esse trabalho foi desenvolvido com a finalidade de analisar e descrever o efeito da aplicação via foliar do silício e ácido salicílico na cultura do milho 2^o safra. Foi instalado o experimento a campo em delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação foliar de silício (3,6 g L⁻¹), ácido salicílico (210 mg L⁻¹), silício e ácido salicílico (3,6 g L⁻¹ + 210 mg L⁻¹) e o tratamento controle (sem silício e sem ácido salicílico). Foram determinados os índices de trocas gasosas, teor de silício foliar, índice relativo de clorofila, componentes de produção e produtividade do milho. As aplicações via foliar de silício e ácido salicílico influenciaram significativamente algumas variáveis como, a condutância estomática que foi reduzida com a aplicação de ácido salicílico, a transpiração, que foi reduzida com a aplicação de silício e a eficiência do uso da água momentânea, que foi maior com a aplicação do silício.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L. Produtividade. Aplicação.

ABSTRACT

Several studies have demonstrated the beneficial effect of silicon fertilization on the productivity increase of some crops, such as rice, sugarcane and potato, another element being studied is salicylic acid, where believed that it has high potential In Brazilian agriculture, reducing the effects of abiotic stresses on plants. However, there is little information on the nutritional benefits of silicon and salicylic acid for maize. This work aimed was the purpose of analyzing and describing the effect of foliar application of silicon and salicylic acid on maize crop. The field experiment was randomized complete block design, with five replications. The treatments consisted of foliar application of silicon (3.6 g L^{-1}), salicylic acid (210 mg L^{-1}), silicon and salicylic acid ($3.6 \text{ g L}^{-1} + 210 \text{ mg L}^{-1}$) Control (no silicon and no salicylic acid). Gaseous exchange indexes, leaf silicon content, relative chlorophyll index, production components and corn grain yield were determined. The siliceous and salicylic acid applications significantly influenced some variables such as stomatal conductance that was reduced with the application of salicylic acid, transpiration, which was reduced with the application of silicon and the efficiency of momentary water use. Greater with the application of silicon.

Key-words: Zea mays L. Productivity. Application.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) está entre os quatro produtos agrícolas mais importantes mundialmente, é cultivado praticamente em todo país, sendo o principal cereal consumido no Brasil (OLIVEIRA et al., 2009). São plantados mais de 15 milhões de hectares de milho no Brasil, porém na segunda safra de 2015/16 a cultura não teve uma evolução favorável, pelo fato de ter ocorrido estiagem em alguns estados, e assim gerado baixo desempenho da lavoura em todo o país, causando forte impacto na produção total do milho que foi de 68.476,1 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

A produção de grãos de milho segunda safra, neste ano, foi de 41.126,1 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Toda essa potência produtiva encontra-se pelas seguintes condições: adaptabilidade geográfica; condições favoráveis de solo e clima; aquecimento do mercado internacional, que acompanha a demanda crescente por esse cereal, em função do aumento da população mundial economicamente ativa; e nos avanços agronômicos conquistados pela pesquisa nas últimas décadas (KAPPES, 2013).

Pela cultura do milho ser de ampla importância para o mundo, é inevitável a procura por meios necessários para a maximização da produtividade. Com isso, existe uma necessidade crescente de identificar e desenvolver soluções para garantir o sucesso da cultura em campo. Nesse contexto, evidencia-se o uso da adubação, fornecendo os nutrientes corretos, nas doses adequadas e com condições de cultivo apropriadas. No entanto são poucas as informações disponíveis para este cereal sobre o uso do silício (Si), como elemento benéfico e também o uso de novos hormônios de plantas, caso do ácido salicílico (AS) (FARIAS, 2012).

Nas plantas, o silício é encontrado nos tecidos de suporte, no caule e nas folhas, podendo ser localizado em pequenas quantidades nos grãos (KORNDÖRFER, 2007). É um nutriente de suma importância nas relações planta-ambiente, pode oferecer às culturas melhores condições para suportarem as adversidades do campo, como os efeitos climáticos, edáficos e biológicos, obtendo como resultado final o acréscimo e a melhor qualidade da produção (LIMA FILHO, 2010).

O ácido salicílico (AS) está presente na maioria das plantas, onde desempenha funções importantes, como a participação na regulação de processos fisiológicos, da redução da transpiração e indução da fotossíntese, aumento do enchimento de grãos, entre outros (SHI et al., 2005). Porém, quando aplicado exogenamente, dependendo da concentração, pode inibir a germinação e crescimento das plantas, ter interferência na absorção de solutos pela raiz e queda das folhas (HINOJOSA, 2005; ASHRAF et al., 2010). Apesar disso, o mecanismo exato de atuação do AS não é bem compreendido, principalmente, porque o mesmo pode diferir de espécie para espécie, e se alterar de acordo com as condições ambientais (PAL et al., 2014).

Deste modo, a combinação do silício e do ácido salicílico pode ser interessante para o aumento do avanço da produção agrícola do Brasil, pois a disponibilidade dessas informações poderá ampliar a eficiência agrônoma e difusão do uso na agricultura. Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar o uso do silício e do ácido salicílico na melhoria da fisiologia, da fotossíntese, teor de silício, componentes de produção e produtividade de grãos de milho, cultivado em segunda safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área e tratamentos culturais

O experimento foi conduzido em campo na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão, no município de Chapadão do Sul-MS, localizado a 18°41'33" latitude S e 52°40'45" longitude W, altitude de 821m, temperatura média de 25,3 °C, precipitação pluviométrica média de 1.850 mm e umidade relativa do ar de 35% (INMET, 2016).

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA 2013). De acordo com o resultado da análise de solo (Tabela 1) foi necessário realizar adubações corretivas, sendo aplicado em superfície 1.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico em julho de 2015 para elevar o valor de V para 60% na camada de 0,0-0,20 m.

Tabela 1- Análise química do solo nas camadas de 0,0 - 0,20 m de profundidade, para caracterização geral da área do experimento, Fundação Chapadão.

Prof.	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P(res)	S	M.O.	CTC	V	m
m		----- cmol _c dm ⁻³ -----				---- mg dm ⁻³ ----			g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%	%
0,0 – 0, 20	5,3	2,8	1,1	0,05	3,7	209,7	37,4	3,3	38,8	8,2	54,2	2,0

Fonte: Fundação Chapadão (2016).

Nas últimas três safras foram cultivadas na área experimental, soja em 2013/14, feijão (verão) em 2014/15, milho (safrinha) em 2014/15, *Urochloa ruziziensis* (verão) em 2015/16 que produziu dez toneladas há⁻¹ de massa seca, para posteriormente em 2015/16 entrar com o milho segunda safra sob a palhada, ou seja, sendo realizado o plantio direto.

As adubações foram realizadas no sulco da semeadura, visando o fornecimento de 130 kg há⁻¹ de P₂O₅, utilizando como fonte o MAP - Monoamônio fosfato (11-52-00) e 60 kg há⁻¹ de K₂O aplicado em pré-semeadura, utilizando como fonte do nutriente o cloreto de potássio (00-00-60), visando à adubação nitrogenada foram utilizados 135 kg há⁻¹ de N tendo como fonte à Ureia (45-00-00) dividida em duas aplicações (V2 e V6).

2.2. Delineamento experimental, tratamentos e semeadura

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação foliar de silício (3,6 g L⁻¹), ácido salicílico (210 mg L⁻¹), silício + ácido salicílico (3,6 g L⁻¹ + 210 mg L⁻¹) e o tratamento controle (sem silício e sem ácido salicílico). As aplicações foliares foram realizadas em três estádios da cultura (Tabela 2), utilizou-se um pulverizador que apresenta um cilindro de alumínio com capacidade para 2 kg de CO₂, regulador de pressão, apoio costal, manômetro de 0 a 100 Psi, pescador com válvula de segurança e uma barra de aplicação com 6 bicos, com vazão de 250 L ha⁻¹.

Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F e comparados pelo teste Tukey a 1% de probabilidade, pelo programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

Foram semeadas três sementes por metro linear do híbrido de milho P3456H (Dupont Pioneer) no dia (27/02/16) e a emergência ocorreu após cinco dias (02/03/16). As parcelas foram constituídas de 7 linhas, com espaçamento entre fileiras de 0,45 m, com uma população de 55.000 plantas por hectare, e 11 metros de comprimento, sendo utilizado para avaliação uma área útil de 4,05 m² (3 linhas de 3 metros).

Tabela 2 - Data de aplicação, temperatura do ambiente (°C), umidade (%), velocidade do vento (Km) e estágio da planta.

Aplicações	Dias	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vel. do vento (Km)	Estádio da planta
1º Aplicação	20/04	31,4	30	2,4	V8
2º Aplicação	28/04	17,1	57	2,1	Pré-pendão
3º Aplicação	13/05	27,2	45	2,7	Pré-pendão+15dias

Fonte: Fundação Chapadão (2016).

2.3. Avaliações

2.3.1. Trocas gasosas

Foi realizada a medição do índice de trocas gasosas, com auxílio de um analisador de gás infravermelho (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo LI-6400, Li-COR, USA), com a câmara de *led* programada para densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 380 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂. Essa avaliação foi realizada sete dias após a última aplicação de Si e AS, das 9:00 às 11:00 horas, optando sempre pela primeira folha do dossel.

2.3.2. Teor de silício

A determinação do teor de silício ocorreu sete dias após a 2º aplicação de Si e AS, sendo coletada aleatoriamente, a terceira folha com pecíolo amadurecida contando a partir do ápice, amostrando-se 12 folhas por parcela. As folhas foram descontaminadas por tripla lavagem, em solução de detergente, em solução de ácido clorídrico e por fim em água deionizada, tal processo foi necessário para eliminar qualquer interferência no resultado final (CHAMEL et al., 1982). Em seguida, essas folhas foram acondicionadas em sacos de papel identificados e

levadas à estufa de ventilação forçada de ar, por 48 h, a 65 °C para secagem, posteriormente, foram trituradas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para análise laboratorial, onde foi determinado o teor foliar de silício pelo método do amarelo proposto por (KORNDÖRFER; NOLLA, 2004).

2.3.3. Índice relativo de clorofila

O índice relativo de clorofila foi avaliado com o auxílio do clorofilômetro manual ClorofiLOG (FALKER, 2008). Essa avaliação foi realizada sete dias após a última aplicação de Si e AS, sendo feito três leituras em cada folha avaliada, no terço inferior, médio e superior da primeira folha completamente expandida a partir do ápice.

2.3.4. Componentes de produção e produtividade

O comprimento da espiga foi medido com o auxílio de uma régua graduada, medindo em centímetros doze espigas por parcela. A massa de 100 grãos foi obtida pela pesagem de doze espigas da área útil da parcela, utilizando-se balança digital.

O diâmetro da espiga e do sabugo foram medidos com auxílio de um paquímetro manual. O diâmetro da espiga foi obtido na região mediana da espiga e após a debulha das espigas foi medido o diâmetro do sabugo na sua região mediana.

Número de fileiras por espiga e grãos por fileira, foram contados individualmente, em cada uma das doze espigas.

Para a determinação da produtividade de grãos foram colhidas às espigas das plantas das três linhas centrais de 3 metros da parcela e, após a debulha e a uniformização da umidade dos grãos para 13%, a produtividade de grãos obtida foi transformada para Kg ha⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução do experimento as plantas de milho não passaram por estresse do ambiente, como déficit hídrico. Ao final do projeto o acúmulo de chuvas foi de 831 mm (Figura 1), sendo que a quantidade de água consumida pela planta durante seu ciclo está em torno de 600 mm (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). A

distribuição de chuvas não foi uniforme, passando por momentos de escassez hídrica, porém esse fato não causou estresse hídrico à planta, devido ao plantio anterior de *Urochloa ruziziensis*, que proporcionou uma cobertura de fitomassa seca de 10 t há⁻¹ no solo, não permitindo que a planta passasse por necessidade hídrica.

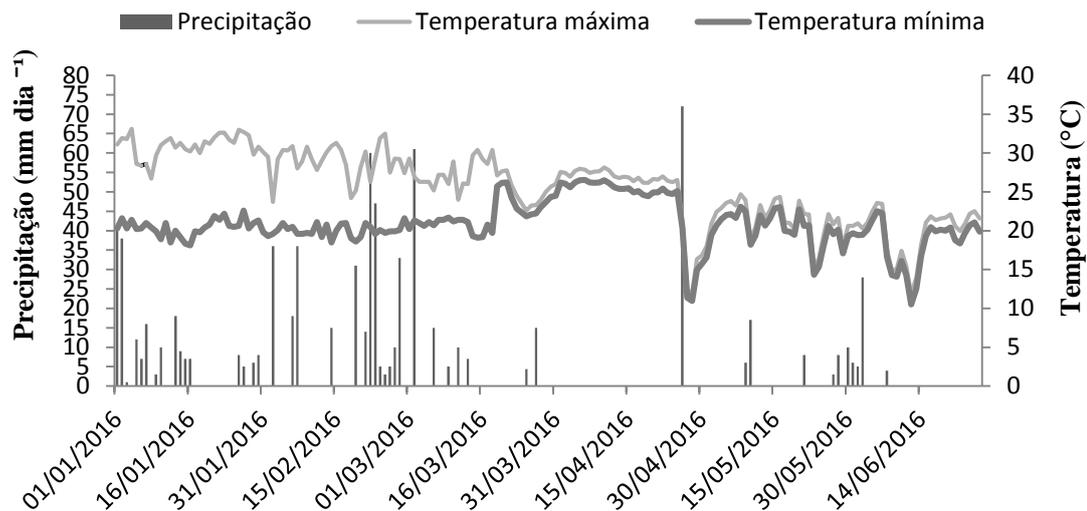


Figura 1- Valores da precipitação pluvial (mm) e temperatura (°C) durante o período de janeiro a junho de 2016. Fonte: Estação meteorológica, Fundação Chapadão (2016)

Não houve diferença significativa para o teor de silício (Tabela 3), isso pode estar relacionado à baixa absorção e translocação desse elemento na planta. Korndorfer e Datnoff (2000) afirmam que o silício é pouco móvel no interior das plantas, fato também encontrado em trabalhos de Marschner (1995) com as culturas do arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max L. Merril*).

Tabela 3 - Teor de silício (TS) e clorofila total (CT) da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.

	TS (g kg ⁻¹)	CT (µg g ⁻¹)
Si		
Presença	77,0	48,5
Ausência	72,9	47,7
AS		
Presença	74,5	48,7

Ausência	75,4	47,4
Si	3,77 ^{ns}	0,28 ^{ns}
AS	0,20 ^{ns}	0,81 ^{ns}
Si x AS	4,02 ^{ns}	1,38 ^{ns}
CV(%)	6,39	6,15

^{ns} não significativo; * significativo a 5% pelo Teste F** significativo a 1% pelo Teste F

Os tratamentos não influenciaram no teor de clorofila total (Tabela 3). Resultado semelhante foi encontrado por Farias et al., (2012) ao trabalharem com aplicação foliar de silício no algodoeiro em diferentes concentrações, e por Freitas et al., (2011) ao estudarem distintas concentrações de Si em diferentes épocas de aplicação no milho. Em experimento com ácido salicílico em plantas de arroz, milho e cana-de-açúcar, o teor de clorofila na planta também não foi alterado em nenhuma das espécies (SOARES, 2016).

Observando-se os resultados apresentados na tabela 4 verifica-se que não houve diferença significativa para taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) independente dos tratamentos, isso pode ser devido às condições de ausência de estresse como déficits hídricos. Resultados também observados por Costa et al., (2012) onde constataram que a taxa de assimilação líquida de CO₂ não foi significativa para as doses de Si, não influenciando diretamente na planta de mamona (*Ricinus communis*).

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que houve interação entre os tratamentos com silício e ácido salicílico sobre a variável da condutância estomática (g_s) (Tabela 4). Pode estar relacionada com a maior EUA (Tabela 4), que apresentou valores maiores na aplicação de Si e ausência de AS, isso também pode ser consequência da menor taxa transpiratória da planta (Tabela 4).

Tabela 4 - Taxa de assimilação líquida CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração foliar (E) e eficiência do uso da água momentânea (EUAm) da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.

A	g _s	Ci	E	EUA
$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	-----mmol m ⁻² s ⁻¹ -----		

Si

Presença	29,9	0,59	397,5	6,94	4,71
Ausência	29,3	0,59	397,1	6,62	4,41
AS					
Presença	28,1	0,57	397,5	6,75	4,22
Ausência	31,1	0,62	397,0	6,81	4,91
Si	0,20 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,54 ^{ns}	6,45*
AS	4,11 ^{ns}	7,94*	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	33,82**
Si x AS	0,09 ^{ns}	34,63**	0,56 ^{ns}	72,23**	29,11**
CV(%)	9,98	6,24	4,59	5,79	5,21

^{ns} não significativo; * significativo a 5% pelo Teste F ** significativo a 1% pelo Teste F

De acordo com os dados, pode-se observar que a menor média foi encontrada na ausência de Si e na presença do AS, proporcionando assim, menor condutância estomática (Tabela 5). Destaca-se que a redução da condutância estomática, induz a redução da transpiração, e por consequência, possui menor perda de água, resultando em maior tolerância das plantas a estresses abióticos (DUTRA et al., 2015).

Tabela 5 - Desdobramento da condutância estomática de plantas de milho (*Zea mays* L.), na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.

		AS	
		Presença	Ausência
Si	Presença	0,64 Aa	0,57 Ba
	Ausência	0,51 Bb	0,68 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (1%)

Não houve diferença significativa na concentração internas de CO₂ (C_i) perante os tratamentos (Tabela 4). Pois, na presença de quantidade de luz adequada e ausência de estresse, como déficit hídrico, concentrações mais altas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas elevadas, enquanto que em concentrações interna de CO₂ muito baixas a fotossíntese é restringida (TAIZ; ZEIGER, 2006), e como a taxa de fotossíntese (A) não teve efeito significativo, já era esperado o mesmo resultado com a C_i.

Segundo Soares (2016) em pesquisa sobre o efeito do ácido salicílico em plantas de arroz, milho e cana-de-açúcar, também não encontrou efeito significativo para concentração interna de CO₂. Em trabalho realizado sobre aplicação de silício

foliar em cultivares de algodoeiro herbáceo, também não foi encontrada diferença estatística para a variável C_i (FERRAZ, 2014).

Os resultados obtidos para transpiração (E) estão presentes na Tabela 4. É possível observar que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade do ácido salicílico e do silício respectivamente, sobre a transpiração das plantas de milho. Na Tabela 6 nota-se que a menor taxa de transpiração da planta foi encontrada na presença de Si e ausência de AS. A redução da transpiração provocada pelo Si já é conhecida, pois a maior parte do Si absorvido pelas plantas é depositado na epiderme das folhas, fazendo uma camada de corpos siliciosos contra a perda de água pela transpiração (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 2011).

Tabela 6 - Desdobramento da transpiração de plantas de milho (*Zea mays* L.), na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.

		AS	
		Presença	Ausência
Si	Presença	7,43 Aa	5,82 Bb
	Ausência	6,08 Bb	7,80 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (1%)

Houve interação significativa entre o silício e o ácido salicílico na eficiência do uso da água momentânea (Tabela 4). A EUA é uma medida complexa e decisiva da produtividade de grãos, especialmente, em condições de déficit hídrico (BLUM, 2005). Observa-se que a maior eficiência do uso da água foi encontrada na presença de Si e ausência do AS (Tabela 7). O silício proporcionou as plantas de milho uma menor transpiração devido à menor abertura estomática, aumentando consequentemente a eficiência de uso da água, resultado esse também encontrado por Pupatto (2003) em trabalho com a cultura do arroz em função da aplicação de silício.

Tabela 7 - Média da eficiência do uso da água momentânea (EUAm) de plantas de milho (*Zea mays* L.), na presença e ausência de silício e de ácido salicílico, aplicados via foliar.

		AS	
		Presença	Ausência
Si	Presença	4,05 Ba	5,38 Aa
	Ausência	4,39 Aa	4,44 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (1%)

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios do comprimento de espiga, diâmetro de sabugo, diâmetro de espiga e o número de fileiras, que não foram influenciados significativamente pela aplicação de silício e ácido salicílico. Resultado já esperado pelo fato da taxa de fotossíntese não ter apresentado efeitos significativos, também, por essas características apresentarem alta herdabilidade, correlacionam-se mais com a cultivar utilizada, do que com as práticas culturais aplicadas (FREITAS et al., 2009).

Tabela 8 - Comprimento de espiga (CE); Diâmetro do sabugo (DS); Diâmetro de espiga (DE); Número de fileiras (NF); Grãos por fileira (GF); Massa de cem grãos (MCG); Produtividade de grãos (PROD) da cultura do milho submetida à aplicação foliar de silício e ácido salicílico.

	CE	DS	DE	NF	GF	MCG	PROD
	-----cm-----					g	kg ha ⁻¹
Si							
Presença	71,9	13,8	24,6	86,5	454,0	36,0	7724,3
Ausência	74,6	13,5	24,5	86,4	453,3	34,9	7825,1
AS							
Presença	75,9	13,4	24,5	86,4	461,4	36,9	7831,1
Ausência	70,7	13,8	24,6	86,5	445,9	33,9	7718,2
Si	1,05 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,35 ^{ns}
AS	3,86 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,73 ^{ns}	4,27 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Si x AS	2,49 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,30 ^{ns}
CV(%)	8,04	3,92	3,49	4,72	8,97	9,00	4,91

^{ns} não significativo; * significativo a 5% pelo Teste F** significativo a 1% pelo Teste F

O número de grãos por fileira (Tabela 8) também não foi influenciado pela aplicação de silício e ácido salicílico, entretanto, como o comprimento de espiga não

alterou em função da aplicação dos tratamentos, já era esperado que a número de grãos por fileira de espiga apresentasse resultado semelhante. Sandim et al., (2010), em pesquisa com diferentes doses de Si em híbrido simples de milho, também não encontraram resultados significativos para as variáveis de número de fileiras por espiga, número de grãos por fileiras e massa de 100 grãos concordando com o atual estudo.

A massa de 100 grãos não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 8), possivelmente por ser influenciada pelas características genéticas condizentes a cultivar utilizada (ARF et al., 2008), resultado também encontrado por Timbola et al., (2015) em pesquisa com diferentes doses de aplicação de silício via foliar na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*). De acordo com Pereira Junior et al., (2010), avaliando a influência de doses de Si na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) não constataram influência significativa sobre os componentes de produção e também sobre a produtividade de grãos da cultura.

As aplicações dos tratamentos com silício e ácido salicílico não influenciaram significativamente o resultado da produtividade de grãos de milho (Tabela 8), já era esperado, pois a taxa de fotossíntese também não obteve efeito significativo. De acordo com Nivedithadevi et al.,(2012) a resposta da planta ao AS depende de condições ambientais, cultivar, época de aplicação, dose e forma de uso. De forma semelhante, em pesquisa de adubação foliar com silício na cultura do milho também não foi encontrada diferença significativa para produtividade de grãos (FREITAS et al., 2011).

4. CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que pulverizações foliares com silício e ácido salicílico não tiveram efeitos significativos para teor de silício e clorofila total das plantas de milho.

Nas medições das trocas gasosas houve efeito significativo apenas para condutância estomática, que foi reduzida com a aplicação de ácido salicílico, para a transpiração que foi reduzida com a aplicação de silício e para a eficiência do uso da água momentânea, que foi maior com a aplicação do silício.

As aplicações foliares com silício e ácido salicílico não tiveram efeitos significativos para o índice relativo de clorofila, componentes de produção e produtividade de grãos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ARTECA, R. N.; FOOLAD, M. R. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 29, n. 3, p. 162-190, 2010.

ARF, O.; AFONSO, R. J.; ROMANINI JUNIOR, A.; SILVA, M. G.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.

BARBOSA, J.C. & MALDONADO JÚNIOR, W. Software AgroEstat - Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2009.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, v.56, p.1159-1168, 2005.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade e nutrição mineral de soja, milho e capim ruziziensis influenciados por calcário e escória de siderurgia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.48, n.6, p.673-68, 2013.

CHAMEL, A.R., MARCELLE, R.D., AND ELOY, J.F. Cuticular retention in vitro and localization of Zn after a foliar application of zinc-containing fungicides. *Journal of American Society for Horticultural Science*, v.107 p. 804–807, 1982.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos. Safra 2015/16, v. 3, n. 3, dezembro 2015 [Internet]. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento; 2016 [Acesso em 17 jun 2016]. Disponível em:

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_gaos_janeiro_2016.pdf, acesso: 17/06/2016.

COSTA, J.C.F.; BELTRÃO, N.E.M.; ROCHA, M.S.; CARVALHO JÚNIOR, G.S.; SILVA, J.L.C. Análise da taxa fotossintética das três cultivares de mamoneira sob diferentes doses de silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5 ; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2 & I FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO MANSO, 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 109.

DETMANN, K. C.; ARAÚJO, W. L.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; REIS, J. V.; DETMANN, E.; RODRIGUES, F. A.; NUNES-NESE, A.; FERNIE, A. R.; DAMATTA, F. M. Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. *New Phytologist*, Oxford, v. 196, n. 3, p. 752-762, 2012.

DUTRA, W.F. Ácido salicílico como indutor de tolerância ao déficit hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial de feijão caupi. 2015. 98f. Dissertação (pós-graduação em ciências agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos . 3.ed. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 342p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Growth and mineral nutrition of field crops. Boca Raton: CRC Press, 2011. 640 p.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila: ClorofiLOG / CFL 1030). Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33p.

FERRAZ, R.L.S.; BELTRÃO, N.E.M.; MELO, A.S.; MAGALHÃES, I.D.; FERNANDES, P.D.; ROCHA, M.S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. *Semina Ciências Agrárias*. v.35, n.2, p.735-748, 2014.

FONSECA, I. M. Atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da canaplanta em função da aplicação de nitrogênio e de escória de siderurgia. 2011. 98f. Tese

(Doutorado em Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2011.

FREITAS, L. B. de; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M. Avaliação de espigas de milho em função da aplicação foliar de silício. *Cultivando o Saber*. v.2, p.113-120, 2009.

FREITAS, L. B. de; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. *Revista. Ceres*. v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.

GOULART, F.A.P.; BARRETO, C.F.; LIMA, P.C.; SANTOS, L.C.; AGUILA, L.S.H.D.; FISCHER, D.L.O.; RADMANN, E.B.; AGUILA, J.S.D. Fotossíntese, transpiração e condutância estomática de mudas de mirtilheiro 'woodard' tratadas com silicato de cálcio ou ácido salicílico. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 2013. Fraiburgo. Epagri, 2013.

HINOJOSA, G. F. Auxina em plantas superiores: síntese e propriedades fisiológicas. In: CID, L P. B. (Ed.). *Hormônios vegetais em plantas superiores*. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. p. 15-57.

KAPPES, C. Sistemas de cultivo de milho safrinha no Mato Grosso. In: Seminário Nacional de Milho Safrinha, 7, Dourados. Nov. 2013.

KORNDÖRFER, G.H. Uso de Silício na Agricultura. *Informações Agrônomicas*. n. 117. p. 9-11; 2007.

KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Papel do silício na produção de cana de açúcar. In: SECAP 200, SEMINÁRIO DE CANA DE AÇÚCAR DE PIRACICABA, 5, Piracicaba. jul. 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Correção da acidez do solo com a silicatagem. 1a ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2004. (Boletim técnico, 02).

LIMA FILHO OF. Aspectos Gerais sobre o Silício em Solos, Plantas e Animais. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.). *Silício na Agricultura: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura*; Agosto 2010; Viçosa. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2010. p. 47-60.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a benefic element for crop plants. In: DATNOFF LE, SNYDER GH, KORNDORFER GH (Ed.) Silicon in agriculture. Amsterdam, Elsevier; 2001.p.17-39.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, E. O. M. Fisiologia da produção de milho. EMBRAPA (Circular Técnica 76). Sete Lagoas, 2006.
p.http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_76.pdf>.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

NIVEDITHADEVI, D.; SOMASUNDARAM, R.; PANNERSELVAM, R. Effect of abscisic acid, paclobutrazol and salicylic acid on the growth and pigment variation in *Solanum Trilobatum*. International Journal of Drug Development e Research, v. 4, n. 3, p. 236-246, 2012.

OLIVEIRA, L. A. Silício em plantas de feijão e arroz: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio. 2009. 157 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PÁL, M.; KOVÁCS, V.; SZALAI, G.; SOÓS, V.; MA, X.; LIU, H.; MEI, H.; JANDA, T. Salicylic acid and abiotic stress responses in rice. Journal of Agronomy and Crop Science, v.200, n.1, p.1-11, 2014.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Ciênc. Agrotec., Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.

PUPATTO, J.G.C. Trocas gasosas e eficiência de uso da água da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de silício. 2003. 151f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2003.

SANDIM, A. S.; RIBON, A. A.; DIOGO, L. O.; SAVI, M. A. Doses de silício na produtividade do milho (*Zea mays* L.) híbrido simples na região de Campo Grande – MS. Cultivando o saber, v. 3, n. 1, p. 171- 178, 2010.

SCHMIDT, R.E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D.R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.1763-1773, 1999.

SHI Q, BAO Z, ZHU Z, YING Q, QIAN Q. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Russian Journal of Plant Physiology*. v.52, n. 2 , p. 793-800, 2005.

SOARES, G.C.M. Efeito do ácido salicílico no metabolismo primário e secundário de plantas de arroz, milho e cana-de-açúcar. 2016. 56f. Tese (doutorado em agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p.174-219.

TIMBOLA, M.M.L.; KWIATKOWSKI, C.A.; BELLETTINI, S.; BELLETTINI, N.T. Diferentes doses de aplicação de silício via foliar na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*), Bandeirantes – PR. In: V Jornada de iniciação científica da UENP, 2015, Bandeirantes.

TRENHOLM LE, DUNCAN RR, CARROW RN, SNYDER GH. Influence of silica on growth, quality, and wear tolerance of seashore paspalum. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.1763-1773, 1999.