



O SÍLCIO MINIMIZA O ESTRESSE SALINO EM PLANTAS DE SOJA?

André Pich Brunes¹, Leticia Winke Dias², David Bandeira da Cruz³, Igor Dias Leitzke⁴ e Antônio Carlos Souza Albuquerque Barros⁵

- 1 Engenheiro agrônomo. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas. E-mail: beldar_brunes@msn.com - Pelotas/RS – Brasil
- 2 Engenheira agrônoma. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas.
- 3 Engenheiro agrônomo. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.
- 4 Graduando em Agronomia. Bolsistas do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas.
- 5 Prof. Doutor Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja e sua produtividade aumenta a cada safra, graças a avanços científicos e tecnológicos. Um dos fatores limitantes ocorre pela salinidade presente nas áreas de várzea, aonde a cultura vem sendo introduzida, ocasionada principalmente pelo acúmulo de sal resultante da água da irrigação. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada no rendimento de plantas de soja submetidas a estresse salino. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três concentrações de NaCl (0 mM, 6 mM, e 12 mM) e cinco doses de adubação via solo de silício (0, 500, 1000, 1500 e 2000 kg ha⁻¹), com quatro repetições. As variáveis analisadas ao final do cultivo foram vagens com uma, duas e três sementes por planta, massa de sementes por planta e número de sementes por planta. A adubação silicatada com cinza de casca de arroz carbonizada em doses próximas de 1000 kg por hectare proporciona atenuação do efeito negativo do estresse salino na massa e número de sementes produzidas.

PALAVRAS-CHAVE: adubação silicatada; *Glycine max* (L. Merrill); salinidade;

SILICON MINIMIZES SALT STRESS IN SOYBEAN?

ABSTRACT

Brazil is the second largest producer of soybeans and their productivity increases each season, caused by scientific and technological advances. One of the limiting factors occurs by salinity in lowland areas, where the culture has been introduced, mainly caused by salt buildup resulting from irrigation water. Thus, the objective was to evaluate the effect of silicon fertilization on yield of soybean plants subjected to

salt stress. The experimental design was completely randomized in a 3 x 5 factorial design, with three concentrations of NaCl (0 mM, 6 mM, and 12 mM) and five doses of silicon soil fertilization (0, 500, 1000, 1500 and 2000 kg ha⁻¹), with four replications. The variables analyzed at the end of cultivation were pods with one, two or three seeds per plant, seed weight per plant and number of seeds per plant. Silicon fertilization with husk carbonized rice doses near 1000 kg per hectare provides attenuation of the negative effect of salinity stress on mass and number of seeds produced.

KEYWORDS: *Glycine max* (L. Merrill); salinity; silicon.

INTRODUÇÃO

A salinidade presente em áreas de várzea, onde a cultura da soja vem sendo recentemente introduzida, é ocasionada principalmente pelo acúmulo de sal resultante da água da irrigação, podendo tornar-se um fator agravante a produtividade, ou até mesmo limitar seu cultivo em determinadas áreas. A quantidade elevada de sais afeta o crescimento e a produtividade da cultura pelo aumento da pressão osmótica da solução do solo, acúmulo de íons em excesso no tecido vegetal, que podem ser tóxicos ou causar deficiência de outros nutrientes, ou ainda, pela alteração da condição nutricional da planta, quanto à exigência e habilidade de absorção de nutrientes (BERNSTEIN, 1961; FAGERIA, 1985; FAGERIA et al., 1981; GRATTAN et al., 2002; MAAS & HOFFMAN, 1977).

Em determinadas condições de solo e cultivo, existem elementos como o silício (Si), que são considerados benéficos para diversas culturas. Em plantas de soja, além de proporcionar aumento da rigidez estrutural dos tecidos e diminuir a fitotoxidez de ferro, alumínio, manganês e sódio, aumenta a rigidez das células, o que acarreta na diminuição da incidência de insetos e patógenos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995). Em condições de excesso de sal a integridade da parede celular é garantida, uma vez que este nutriente presente na planta estimula o sistema antioxidante. O emprego do Si na redução da toxidez causada pelo excesso de NaCl foi proposto por AHMAD et al., (1992), que conseguiu resultados positivos na produção de matéria seca em trigo (*Triticum aestivum*) tratado com esse elemento e submetido à salinidade.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o efeito da adubação silicatada no rendimento de plantas de soja submetidas a estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x5, sendo três concentrações de NaCl (0 mM, 6 mM, e 12 mM) e cinco doses de adubação via solo de silício (0, 500, 1000, 1500 e 2000 kg ha⁻¹), com quatro repetições. Após a semeadura, as unidades experimentais foram irrigadas diariamente com as concentrações de cloreto de sódio (NaCl). A fonte de silício utilizada foi a cinza da casca de arroz carbonizada, que possui 90% de SiO₂ em sua composição (TAVAREZ et al., 2014).

As unidades experimentais consistiram de vasos de 10 litros semeados com 20 sementes, e após 10 dias desbastados para que permanecessem três plantas até o final do cultivo. Os vasos foram preenchidos com solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (EMBRAPA, 2013), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008). A adubação

foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo (tabela 1), e seguindo as recomendações para cultura disponibilizadas pela EMBRAPA (2012). Juntamente a calagem incorporou-se as respectivas doses de Si.

Após o final do cultivo avaliou-se os seguintes componentes de rendimento: vagens com uma, duas e três sementes por planta, determinados por meio de contagem manual. Massa de sementes por planta, obtido pela pesagem das sementes colhidas, sendo a umidade corrigida para 13%. Número de sementes por planta (NSP), determinado por contagem manual das sementes colhidas.

TABELA 1. Resultado da análise de solo do horizonte A1 de um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, coletado na região de Pelotas – RS.

pH água 1:1	Ca	Mg	Saturação		Índice SMP	%MO	%Argila	Classe de Argila	P-Mehlich	CTC pH7	K
	cmolc/dm ³		Al	Bases		m/v			mg/dm ³	cmolc/dm ³	
4,7	2,1	1,4	21,3	33	5,5	1,52	24	3	4,6	11,4	0,16

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e, posteriormente submetidos, à análise de variância. A comparação de médias do fator "concentração de sal" foi conduzida por meio de teste de Duncan e para o fator "doses de silício" foram ajustadas regressões polinomiais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores de tratamento salinidade e silício para as variáveis vagens com uma e duas sementes, massa de sementes por planta e número de sementes por planta (Tabela 2). Para a variável vagem com três sementes não houve interação entre os fatores, entretanto constatou-se efeito principal tanto de salinidade quanto de dose de silício, sendo então analisados estes efeitos.

TABELA 2. Análise de variância (ANOVA) dos tratamentos dose de sal e silício para as variáveis resposta vagens com uma, duas e três sementes (V1, V2 e V3, respectivamente), massa de sementes por planta (MSP) e número de sementes por planta (NSP).

Tratamentos	V1	V2	V3	MSP	NSP
Sal	0	0	0	0	0
Silício	0,0008	7,05x10 ⁻⁵	0,001	4,79x10 ⁻⁶	1,09x10 ⁻⁵
Sal*silício	4,46x10 ⁻⁸	4,15x10 ⁻⁶	0,073	8,65x10 ⁻⁵	0,007

Na ausência de sal houve maior produção de vagens com uma, duas e três sementes, independente da dose de silício aplicada (Tabela 3). A adubação com Si nas doses de 1000 e 1500 kg ha⁻¹ proporcionaram atenuação do estresse salino ocasionado por 6mM de NaCl presente na água de irrigação, resultando em um

número de vagens com uma semente semelhante aos tratamentos sem estresse salino.

TABELA 3. Número de vagens por planta com uma, duas e três sementes de soja, submetidas a adubação silicatada e estresse salino.

Dose de silício (kg ha ⁻¹) \ mM NaCl	Vagens com 1 semente			Vagens com duas sementes			Vagens com 3 sementes		
	0	6	12	0	6	12	0	6	12
0	13 a*	7 b	7 b	40 a	20 b	12 c	16	7	8
500	15 a	12 b	6 c	37 a	24 b	28 b	16	10	14
1000	11 a	10 a	6 b	39 a	23 b	24 b	21	12	13
1500	11 a	13 a	8 b	40 a	22 b	22 b	17	11	12
2000	14 a	6 c	10 b	41 a	22 b	17 c	16	13	9
Média	13	10	8	30	22	21	17 a	10 b	11 b
C.V. (%)	15,46			9,92			19,81		

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

O número de vagens com duas sementes foi maior nos tratamentos sem estresse salino (tabela 3). Quando expostas a concentração de 12 mM de NaCl, houve atenuação do efeito da salinidade nos tratamentos entre 500 e 1500 kg de SiO₂, onde, apesar de inferior aos tratamentos sem estresse salino, não diferiram dos tratamentos submetidos a 6 mM de NaCl.

As plantas cultivadas na ausência de estresse salino produziram maior número de vagens com três sementes em relação as cultivadas sob estresse de 6 mM e 12 mM de NaCl diluídos na água de irrigação (Tabela 3). Não houve diferença entre os tratamentos com 6 e 12 mM de NaCl.

Da mesma forma, a massa de sementes produzida por planta foi superior nos tratamentos sem estresse salino, havendo pouca diferença na produção nos tratamentos submetidos a 6 e 12 mM de NaCl aplicados via irrigação (Tabela 4). Contudo, houve uma atenuação do efeito do estresse salino nas concentrações entre 500 e 1500 kg por hectare, onde a massa de sementes produzidas sob condições de 12 mM de NaCl na solução de irrigação não diferiu daquelas produzidas sob 6 mM de NaCl quando aplicados 1000 e 1500 kg ha⁻¹ de Si, ou até mesmo foi superior na concentração de 12 mM de NaCl quando aplicados 500 kg ha⁻¹ de Si, em relação a concentração de 6 mM de NaCl com a mesma dose de Si.

O número de sementes por planta foi maior nos tratamentos sem estresse salino em comparação com os tratamentos submetidos às concentrações de 6 e 12 mM de NaCl, os quais praticamente não diferiram entre si. Apesar de o Si não ser considerado um elemento essencial, do ponto de vista fisiológico e metabólico, para o crescimento e desenvolvimento das plantas (PILON, 2011), este apresenta uma série de benefícios para a planta, como melhora na arquitetura foliar e diminuição da perda de água.

TABELA 4. Massa de sementes por planta e número de sementes por planta de soja, submetidas a adubação silicatada e estresse salino.

Dose de silício (kg ha ⁻¹) \ mM NaCl	Massa de sementes planta ⁻¹			Número de sementes planta ⁻¹		
	0	6	12	0	6	12
0	22,5 a*	10,8 b	8,2 c	141 a	68 b	55 b
500	22,1 a	14,7 c	18,5 b	139 a	93 b	99 b
1000	23,3 a	13,8 b	14,1 b	148 a	87 b	89 b
1500	22,8 a	14,5 b	13,1 b	145 a	91 b	83 b
2000	23,0 a	13,9 b	10,4 c	145 a	82 b	75 c
Média	22,7	13,5	12,9	144	84	80
C.V. (%)		11,24			9,59	

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Observou-se que a aplicação de Si, quando na presença de salinidade, proporcionou comportamento quadrático positivo na massa de sementes produzidas, tendo seu ponto de máxima eficiência nas doses de 1350 e 1066,6 kg ha⁻¹, para 6 e 12 mM de NaCl presente na solução de irrigação (Figura 1a). Esta dose de Si resultou em um incremento de aproximadamente 3 gramas de sementes por planta.

Avaliando a produtividade da soja submetida a aplicação de silicato via foliar, relataram aumento de produtividade da ordem de dezenove sacas por hectare, justificando o incremento pela maior produção de matéria seca das plantas (CRUCIOL et al., 2013).

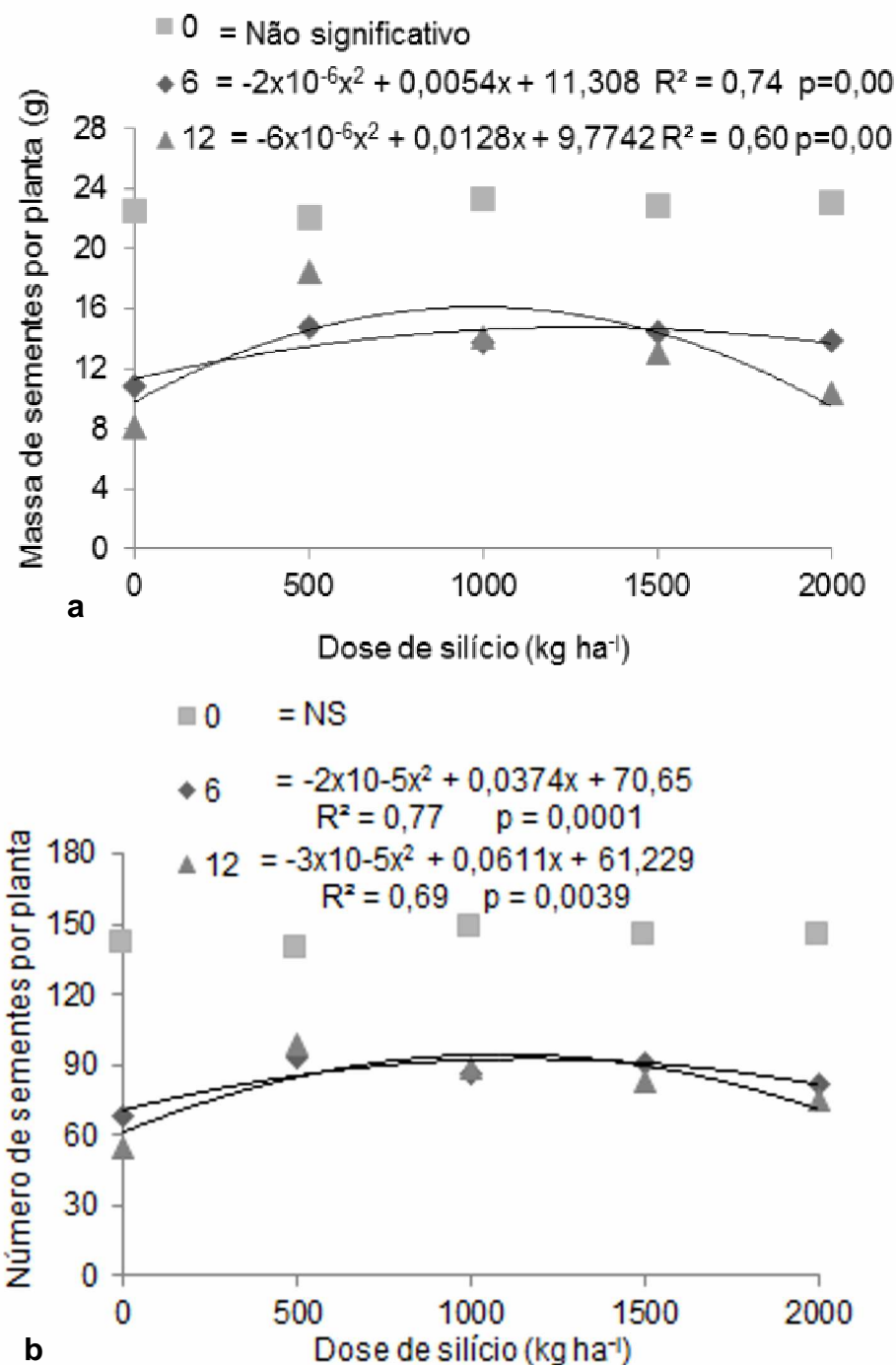


FIGURA 1. Massa de sementes por planta (a) e número de sementes por planta (b) de soja submetidas à adubação silicatada e estresse salino.

Esse resultado refletiu diretamente na produtividade de grãos que foi maior com a aplicação foliar de Si. O incremento foi, aproximadamente, de 353 kg ha^{-1} , ou seja, 14%. (MOREIRA et al., 2010). O resultado exposto poder sido em decorrência do maior crescimento radicular das plantas de amendoim, uma vez que a aplicação de Si pode resultar em maior desenvolvimento dessa estrutura vegetal (ABDALLA, 2011).

A aplicação de Si não alterou o número de sementes por planta nos tratamentos sem estresse salino, entretanto, quando submetidas às concentrações de 6 e 12 mM de NaCl a adubação silicatada proporcionou comportamento quadrático positivo com pontos de máxima nas concentrações de 935 e 1018 kg de silício por hectare, respectivamente (Figura 1b). Nestas concentrações houve incremento de 17 e 31 sementes por planta, respectivamente.

Em pesquisa semelhante, a aplicação de cinza de casca de arroz como fonte de Si na cultura do trigo aumentou o número de sementes por planta até a dose de 1800 kg ha⁻¹ (TAVAREZ et al., 2014). Justifica-se uma maior resposta em poaceas devido à alta influência do Si na arquitetura foliar, proporcionando maior interceptação solar, com aumento da fotossíntese e conseqüentemente maior produtividade. Estudos mostram que o silício é eficaz como atenuante da salinidade em diferentes espécies de plantas, tais como o trigo (TUNA et al., 2008).

Na cultura da soja, quando em condições normais de cultivo, a interceptação solar ocorre de forma adequada, nas condições de estresse salino proporcionadas por este experimento, inferiu-se que o Si proporcionou maior resistência a murcha foliar devido a maior rigidez proporcionada pela camada de Si depositada abaixo da cutícula. Como já constatado na literatura seu acúmulo diminui a transpiração e absorção de água, sendo um importante mecanismo para as plantas cultivadas sob condições de seca (MELO et al., 2003).

CONCLUSÕES

A adubação silicatada com cinza de casca de arroz carbonizada em doses próximas de 1000 kg por hectare proporciona atenuação do efeito negativo do estresse salino na massa e número de sementes produzidas.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 2, n. 2, p. 207-220, 2011.

AHMAD, R.; ZAREER, S.; ISMAIL, S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Science**, v. 85, p.43-50, 1992.

BERNSTEIN, L. Tolerance of plants to salinity. **Proceedings of American Society of Civil Engineering**, Baltimore, v. 87, p. 1-12, 1961.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. – v.1, n.1, p.96, 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; NETO, J.F. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 404-410, 2013

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro

Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed, Brasília, 2013. 353p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.50, p.641-664, 1994.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M P.; GHEYI, H. R. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 5, p. 677-681, 1981.

FAGERIA, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, The Hague, v. 88, p. 237-243, 1985.

GRATTAN, S. R.; ZENG, L.; SHANNON, M. C.; ROBERTS, S. R. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. **California Agriculture**, Berkeley, v. 56, p. 189-195, 2002.

MASS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 103, p. 115-134, 1977.

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

MELO, S.P.G.H.; KORNDÖRFER, G. M. KORNDÖRFER, C.M.Q. LANA, R.M.Q.; SANTANA D. G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses. **Scientia Agricola**, v.60, p.755-759, 2003.

MOREIRA, A. R.; FARGAN, E.B.; MARTINS, K.V.; SOUZA, C.H.E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A.; SCHUCH, L.O.B. Produção de sementes. in: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e tecnológicos**. 3.ed. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, p.13-104, 2012.

STRECK, E.V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R.S.D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P.C., SCHNEIDER, P., GIASSON, E. PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TAVARES, L.C.; FONSECA, D.A.R.; RUFINO, C.A.; OLIVEIRA, S.; BRUNES, A.P.; VILLELA, F.A. Adubação silicatada em trigo: rendimento e qualidade de sementes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v.113, n.1, p.94-99, 2014.

TUNA, A. L.; KAYA, C.; HIGGS, D.; MURILO-AMADOR, B.;S.A.; AYDEMIR, S.; GIRGIN, A. R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**. v.62, p.10-16, 2008.