

Adubação silicatada via solo em cevada: rendimento e qualidade fisiológica de sementes

André Pich Brunes, Lizandro Ciciliano Tavares, Sandro de Oliveira, Francisco Amaral Villella

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Campus Universitário s/n, Caixa Postal 354, CEP 96001-970, Capão do Leão, RS, Brasil. E-mails: beldar_brunes@msn.com, lizandro_cicilianotavares@yahoo.com.br, sandrofaem@yahoo.com.br, francisco.villela@ufpel.edu.br

Resumo: A nutrição mineral de plantas com silício pode influenciar a qualidade fisiológica e o rendimento de sementes. Objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito da adubação silicatada no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes de cevada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em combinações de duas fontes de silício em seis diferentes doses, em esquema fatorial 2 x 6 (Fator A: caulim e cinza de casca de arroz, Fator B: níveis de zero, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg de silício por ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos, com quatro repetições. A qualidade fisiológica das sementes produzidas foi avaliada por testes de vigor e de germinação, sendo também avaliados número de espigas por planta, número de sementes por planta, peso hectolítrico, peso de mil sementes e rendimento. A adubação silicatada em cevada com as fontes caulim e cinza de casca de arroz, via solo, influenciam negativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas, entretanto aumentam o número de sementes por planta e o rendimento até a dose de 2500 kg ha⁻¹.

Palavras chave: *Hordeum vulgare* L., Caulim, Cinza de casca de arroz, Vigor, Produtividade.

Silicon fertilization via ground in barley: yield and physiological quality of seeds

Abstract: The silicon plant nutrition may influence the vigor and seed yield. The objective of the present study was to evaluate the effect of silicon fertilization on yield and physiological quality of barley seed. The experimental design was completely randomized with four replications. Treatments consisted of combinations of two sources of silicon based on factorial 2 x 6 (Factor A: kaolin and rice husk ash, Factor B: levels of 0, 500, 1000, 1500, 2000 and 2500 kg of silicon by ha⁻¹), totaling 12 treatments with four replications. The physiological seed quality was assessed by tests of vigor and germination, and also by evaluating the number of ears per plant, number of seeds per plant, hectoliter weight, thousand seeds weight and yield. The silicate fertilization in barley with kaolin and rice husk ash into the soil adversely influence the physiological seed quality, but increases the number of seeds per plant and yield up to a dose of 2500 kg ha⁻¹.

Key words: *Hordeum vulgare* L., silicon, vigor, productivity.

Introdução

A cevada é um cereal de inverno que ocupa a quinta posição em importância econômica no mundo (Minella, 2012), sendo a sua principal utilização na produção de malte para a indústria cervejeira. Na safra 2011/2012, a área cultivada com cevada no Brasil foi de aproximadamente 90.000 hectares segundo a Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], (2012), concentrados na região sul do país, onde o clima frio limita o cultivo de espécies de clima quente, justificando a busca por tecnologias que aumentem seu desempenho, produtividade e qualidade das sementes.

Estudos sobre tecnologia de sementes estão sendo realizados para aumentar a produção agrícola (Cardozo et al., 2002, Viganò et al., 2010 & Toledo et al., 2011) e a nutrição mineral das plantas é um dos fatores que podem influenciar o vigor das sementes (Copeland & McDonald, 2001). Plantas adequadamente fertilizadas podem produzir maior número de sementes com melhor qualidade fisiológica, pois podem tornar-se mais tolerantes às adversidades climáticas (Sá, 1994).

O silício não tem papel metabólico definido nas plantas e sua ação provoca efeitos indiretos, contribuindo para maior produtividade (Malavolta, 2006). É um elemento que apresenta aspectos positivos para a produção e desenvolvimento de diversas culturas (Korndörfer et al., 2002) e foi incluído em um Decreto do Ministério da Agricultura (nº. 4.954, 14/01/2004) como elemento benéfico no Brasil (Brasil, 2004).

Alguns dos benefícios estão relacionados com a deposição e acúmulo na parede celular dos órgãos de muitas plantas (Ma & Yamaji, 2006), especialmente folhas, diminuindo a transpiração e absorção de água, sendo importante mecanismo para as plantas cultivadas sob condições de seca (Melo et al., 2003) e eficaz, como atenuante da salinidade em diferentes espécies de plantas tais como o trigo (Tuna et al., 2008), podendo aumentar a quantidade de superóxido dismutase, peroxidase e catalase em cevada e milho (Muossa, 2006). Outros benefícios incluem o aumento de silício na matéria seca e o incremento da produtividade (Korndörfer & Lepsch, 2001), resistência a doenças (Rodrigues et al., 2004), elevação da tolerância à toxicidade ao alumínio e micronutrientes (Cocker et al., 1998).

Plantas de sorgo respondem à adubação com silício, dependendo da disponibilidade deste elemento no solo (Barbosa et al., 2008). O uso do silício promoveu melhoria na arquitetura da planta de arroz, e, conseqüentemente aumento na fotossíntese (Deren et al., 1994) além de afetar a massa de sementes (Balastra et al., 1989, Matoh et al., 1991 & Mauad et al., 2003) e sementes mais pesadas geralmente possuem embriões mais desenvolvidos e maior quantidade de reservas (Carvalho & Nakagawa, 2000). Plantas de soja tratadas via foliar com cálcio e silício produziram sementes com maior qualidade fisiológica (Harter & Barros, 2011), enquanto a condutividade elétrica foi reduzida em sementes de aveia branca com doses crescentes de silício e maior fornecimento de fósforo (Toledo et al., 2011).

Embora a importância do silício na agricultura torna-se particularmente interessante ao considerá-lo um anti-estressante (Lima, 2009), a quantidade a ser aplicada no solo, não está definitivamente mensurada (Korndörfer et al., 2003).

Diante disto o objetivo do trabalho é avaliar o efeito da adubação silicatada via solo utilizando duas diferentes fontes (caulim e cinza de casca de arroz) no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes de cevada.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido com sementes de cevada da cultivar BRS Ellis em laboratório e em casa-de-vegetação da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de duas fontes a base de silício (Fator A: Caulim e cinza de casca de arroz) e seis doses (Fator B: níveis de silício zero, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg ha⁻¹).

O experimento foi conduzido em vasos plásticos de 15 litros, preenchidos com solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háplico eutrófico solódico (Streck et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas, adubado de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 1), e recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo [SBCS]

(2004), sendo utilizado o equivalente a 2,7 toneladas de calcário por hectare (PRNT 80%), 90 kg de uréia, 50 kg de P₂O₅ por hectare e 40 kg

de K₂O, os quais foram incorporados manualmente ao solo, sete dias antes da semeadura.

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 cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³	Saturação		Índice SMP	%MO m/v	%Argil a	Classe da argila	P - Mehlich mg/dm ³	CTC pH7 cmolc/dm ³	K
			Al	Bases							
5,7	2,1	1,4	11,3	33	6,2	1,52	24	3	4,6	11,4	22

Fonte: Dados da pesquisa

Foram semeadas 10 sementes por vaso. Após sete dias foi realizado o desbaste, permanecendo cinco plantas por vaso. Após a semeadura, as unidades experimentais foram irrigadas diariamente mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo.

A colheita manual foi realizada quando as plantas estavam nos estádios R8 e R9, caracterizando a maturidade fisiológica das sementes. Após avaliaram-se as seguintes variáveis: número de espigas por planta (NEP); Número de Sementes por Planta (NSP), realizado por contagem manual das espigas e das sementes, sendo que para o NSP realizou-se a contagem em 5 espigas por unidade experimental; Rendimento de Sementes por Planta (REND), obtido pela pesagem das sementes colhidas, sendo o peso corrigido para a umidade de 13%; Peso de Mil Sementes (PMS), sendo empregadas oito repetições de 100 sementes. Após as pesagens calcularam-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Todas as parcelas apresentaram coeficiente de variação inferior a quatro, portanto, multiplicou-se a média por 10, e assim obteve-se o peso de mil sementes em grama (Brasil, 2009).

A qualidade fisiológica das sementes produzidas foi avaliada pelos testes: Primeira Contagem da Germinação (PCG), avaliada pela contagem de plântulas normais aos quatro dias após a semeadura por ocasião da realização do teste de germinação; Teste de Germinação (G), realizado com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, em substrato de papel de germinação "germitest", previamente umedecido com água destilada, utilizando-se a proporção 2,5 vezes a massa do papel seco e mantido à temperatura de 20 °C. As avaliações foram

efetuadas conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009) aos sete dias após a semeadura. Teste de frio: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em substrato de papel de germinação "germitest", previamente umedecidos com água destilada utilizando-se 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram colocados no interior de sacos plásticos e mantidos em refrigerador a 10 °C, durante sete dias. Após este período, conduziu-se o teste de germinação conforme descrito anteriormente. A avaliação ocorreu após quatro dias, sendo os resultados expressos em percentagem de plântulas normais (Cicero & Vieira, 1994). Comprimento da parte aérea e da raiz: a avaliação do comprimento da parte aérea e da raiz foi realizada com quatro subamostras de 20 sementes para cada tratamento. Utilizou-se substrato rolo de papel para germinação, tipo "germitest", sendo as sementes distribuídas em duas linhas retas longitudinais e desencontradas no terço superior do papel. Após a confecção, os rolos foram colocados em germinador regulado à temperatura constante de 20 °C (Nakagawa, 1999). No quarto dia após a semeadura, foi avaliado o comprimento da parte aérea e da raiz, das plântulas normais, sendo cada plântula medida separadamente e em seguida calculado o comprimento médio da parte aérea e da raiz.

Os dados obtidos foram então analisados quanto à normalidade e homocedasticidade e, posteriormente submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Os dados do fator qualitativo foram analisados por comparações de média pelo teste de Tukey e os quantitativos por regressão polinomial em nível de 5% de probabilidade. Para a análise estatística foi utilizado o sistema de

análise estatística winstat versão 1.0 (Machado & Conceição, 2003).

Resultados e discussão

Houve interação entre os fatores fontes e doses de silício para as variáveis germinação,

teste de frio, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, número de espigas por planta e peso hectolítrico (Tabela 2). Para as variáveis primeira contagem da germinação e número de espigas por planta houve apenas efeito principal de doses de silício. O peso de sementes por planta não foi influenciado pelos tratamentos.

Tabela 2 - Resultado da análise de variância (ANOVA) entre os tratamentos fonte e doses de silício para as variáveis primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), teste de frio (TF), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), número de espigas por planta (NEP), número de sementes por planta (NSP), peso de sementes por planta (PSP) e peso hectolítrico (PH).

Tratamento / Variável	Valor de p								
	G	PCG	TF	CPA	CR	NEP	NSP	PSP	PMS
Fonte	0,78	0,86	0,48	0,00	0,00	0,20	$9,95 \times 10^{-5}$	0,21	0,00
Dose	0,00	0,01	0,00	$1,12 \times 10^{-5}$	0,00	0,00	$1,64 \times 10^{-4}$	0,58	0,00
Fonte.Dose	0,03	0,06	0,00	$8,19 \times 10^{-5}$	0,02	0,06	$6,35 \times 10^{-7}$	0,43	0,00

Fonte: Dados da pesquisa

O aumento da dose de caulim aplicada na adubação resultou na produção de sementes com menor germinação, ajustando-se ao modelo quadrático negativo, tendo seu ponto de mínima à dose de 1350 kg de silício, resultando em 75% de sementes germinadas, aproximadamente 7% inferior ao tratamento testemunha (Figura 1A). Para a fonte cinza de casca de arroz houve redução linear na ordem de 3 pontos percentuais de germinação, por 1000 Kg de aumento da dose de silício. Contrariando os resultados obtidos, a germinação de sementes de trigo elevou com o aumento das doses de silício estudadas (Matichenkov et al., 2005), o que pode ser um efeito indireto do aumento do peso das sementes (Toledo et al., 2011). Por outro lado, sementes de arroz, produzidas a partir de plantas submetidas à adubação com silicato de alumínio não apresentaram alteração na qualidade fisiológica (Lima et al., 2009).

Independente da fonte de silício utilizada, o vigor das sementes produzidas foi reduzido de modo linear na ordem de 2,2 pontos percentuais por 1000 Kg de aumento na dose de silício, determinado pelo teste de primeira contagem da germinação (Figura 1B). Esses resultados contradizem os resultados obtidos por Toledo et al. (2011) que relataram aumento linear da

primeira contagem da germinação em sementes de aveia branca em doses de até 900 kg ha⁻¹ de K₂SiO₃, enquanto que a porcentagem de germinação apresentou acréscimos até a dose de 600 kg ha⁻¹ de K₂SiO₃. Também para soja, a aplicação de cálcio e silício via foliar em plantas resultou em sementes com maior qualidade fisiológica (Harter & Barros, 2011).

Para o teste de frio houve interação entre as doses e fontes testadas, se adequando ao modelo quadrático para a fonte caulim com ponto de máxima porcentagem de plântulas normais obtida na dose de 555 kg de Si ha⁻¹ (Figura 1C). Doses mais altas resultaram em redução acentuada do vigor das sementes produzidas. Já para as doses de cinza de casca de arroz carbonizada os resultados obtidos não se ajustaram a nenhum dos modelos estudados.

O comprimento da parte aérea das plântulas produzidas sob adubação com caulim, foi estimulado, apresentando comportamento quadrático positivo, com ponto de máxima eficiência na dose de 1462 kg de Si ha⁻¹ (Figura 1D). O contrário foi observado para a fonte cinza de casca de arroz, onde o comportamento foi quadrático negativo, com ponto de mínima eficiência na dose de 680 kg ha⁻¹. O comprimento das raízes foi afetado negativamente por ambas

as fontes, sendo reduzido em 0,49 e 0,22 cm por 1000 Kg de aumento na dose de Si, para caulim e cinza de casca de arroz, respectivamente (Figura 1E). Doses de silício de até 300 kg ha⁻¹

diminuíram o comprimento de raiz e total de plântula de aveia branca, quando utilizada a fonte K₂SiO₃ (Toledo et al., 2011).

Figura 1 - (A) primeira contagem da germinação (PCG), (B) germinação (G), (C) teste de frio (TF), (D) comprimento da parte aérea (CPA) e (E) raiz (CR), de sementes e plântulas de cevada oriunda de plantas submetidas a doses de adubação silicatada.

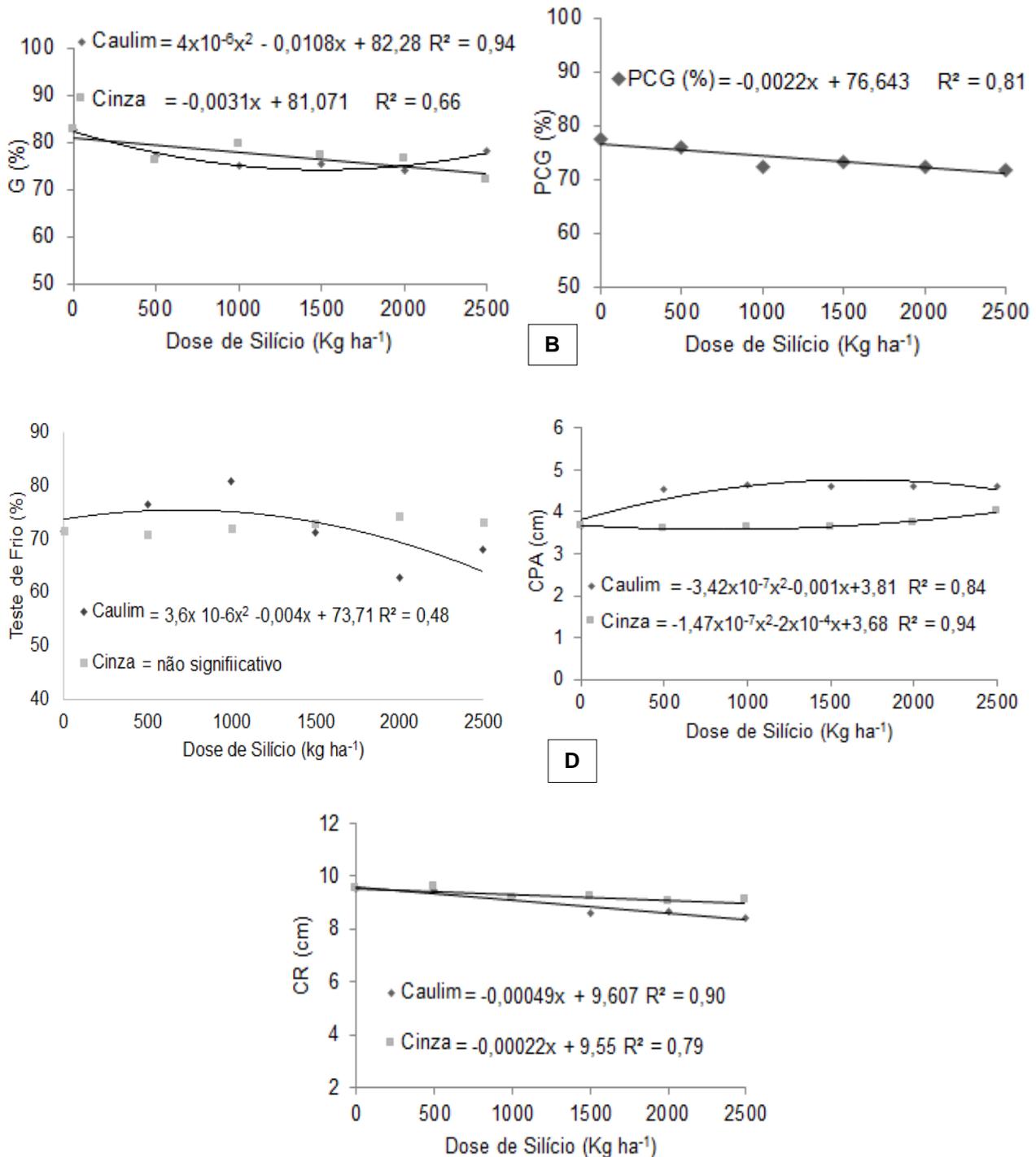
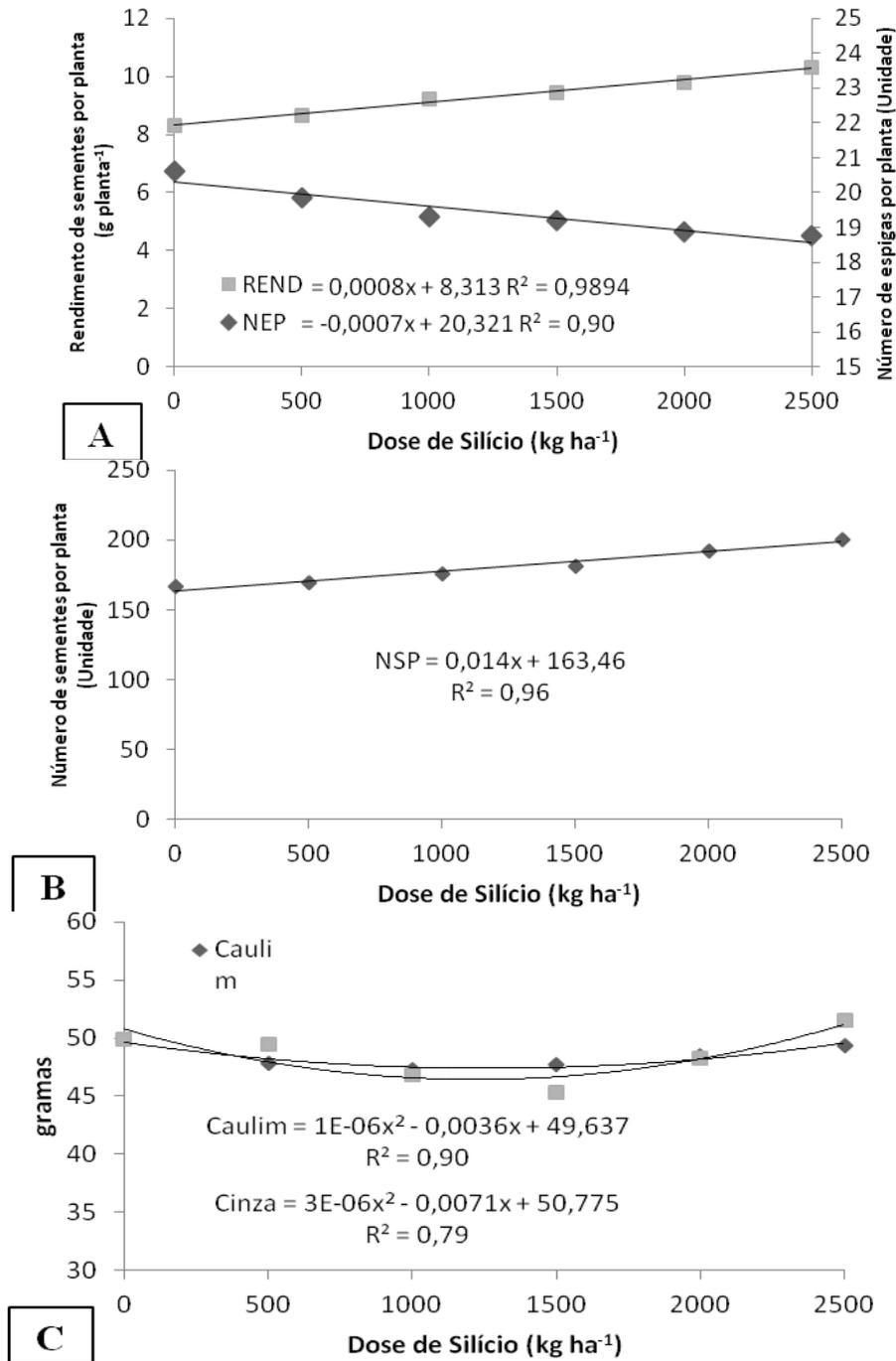


Figura 2 - Rendimento de sementes por planta (REND) e número de espigas por planta “A”, número de sementes por planta (NSP) “B” e peso de mil sementes (PMS) “C” proveniente de plantas de cevada submetidas a adubação com diferentes fontes e doses de silício.



Não foi constatada diferença entre as fontes de silício utilizadas na adubação, para as variáveis rendimento de sementes por planta, número de espigas por planta, número de sementes por planta, tendo sido realizada regressão polinomial com os valores médios de ambas as fontes (Figura 2A e 2B). O incremento das doses de silício, até 2500 kg ha⁻¹ aumentou significativamente o rendimento de sementes, enquanto que reduziram linearmente o número de espigas por planta.

O aumento das doses de silício incrementou linearmente o número de sementes por planta. Em gramíneas acumuladoras de silício, este pode promover aumentos nos atributos de crescimento, na atividade fotossintética das folhas inferiores e na resistência de folhas e colmos (Singh et al., 2005b), como é o caso, por exemplo, de arroz, trigo e cevada. Experimentos de campo comprovam o efeito da aplicação de silicatos em parâmetros de crescimento e produção. Em cereais, os trabalhos são mais numerosos em arroz. Estudando doses e épocas de aplicação de silício em duas colheitas consecutivas, Singh et al. (2005a) constataram que a adubação silicatada promoveu aumento na altura, produção de matéria seca, número de panículas por metro quadrado e produtividade. Aplicação de silício em trigo cultivado em vasos com solo elevou a altura, área foliar e matéria seca (Gong et al., 2003). A adição de silício em solução nutritiva incrementou a matéria seca da parte aérea de plântulas de arroz, mas não das raízes (Guo et al., 2005).

Uma vez que houve diferença significativa no peso de mil sementes entre as fontes, realizou-se regressões polinomiais distintas para as duas (Figura 2C). Observou-se que o peso de mil sementes de cevada para as fontes caulim e cinza de casca de arroz, ajustaram-se ao modelo quadrático. A fonte caulim obteve seu ponto de mínimo na dose de 1800 kg ha⁻¹, enquanto a fonte cinza de casca de arroz na dose de 1183 kg ha⁻¹. A dose de 2500 kg ha⁻¹ de ambas as fontes de silício foi a que obteve desempenho superior para o peso de mil sementes. Concordando com os dados encontrados por Balastra et al. (1989), Deren et al. (1994) e Mauad et al. (2003) que observaram que o silício elevou o peso de sementes de arroz. A explicação mais provável para o aumento do peso da semente seria a maior deposição deste elemento na pálea e na

lema (Balastra et al., 1989). Esta maior deposição é atribuída à transpiração intensa da panícula durante a fase de enchimento da semente, uma vez que o processo de transporte e de deposição de silício nos tecidos vegetais depende da taxa de transpiração que ocorre em diferentes órgãos da planta (Yoshida et al., 1962).

Conclusões

A adubação silicatada em cevada com as fontes caulim e cinza de casca de arroz, via solo, influenciam negativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas, entretanto aumentam o número de sementes por planta e o rendimento até a dose de 2500 kg ha⁻¹.

Referências

- Balastra, M. L. F., Perez, C. M., Juliano, B. O., & Villreal, C. P. (1989). Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 67, 2356-2363.
- Barbosa, N. C., Venâncio, R., Assis, M. H. S., Paiva, J. B., Carneiro, M. A. C., & Pereira, H. S. (2008). Formas de aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em neossolo quartzarênico de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 38 (4), 290-296.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Regras para análise de sementes* (395p). Brasília, DF: Mapa/ACS.
- Brasil. (2004). *Decreto N° 4954. Aprova o regulamento da lei nº 6.894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências* (27p). Brasília, DF: Diário Oficial da União.
- Cardozo, M. T., Schuch, L. O. B., & Rosenthal, M. D. (2002). Efeito do retardamento da colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de aveia branca (*Avena sativa* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, 24 (1), 331-338.

- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2000). *Sementes: ciência, tecnologia e produção* (4 ed., 588p). Jaboticabal: FUNEP.
- Cicero, S. M., & Vieira, R. D. Teste de frio. In: Vieira, R.D. & Carvalho, N. M. (Ed.) (1994). *Testes de vigor em sementes* (pp151-164). Jaboticabal: FUNEP.
- Cocker, K. M., Evans, D. E., & Hodson, M. J. (1998). The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solutions chemistry or in plant mechanism? *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 104, 608-614.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2012). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2012/2013: décimo levantamento novembro/2013*. Recuperado em 17 julho 2012 de http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_05_08_41_20_boletim_graos_10julho_2012.pdf .
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of seed science and technology* (4th ed., 467p). New York: Chapman & Hall.
- Deren, C.W., Datnoff, L.E., Snyder, G.H. & Martin, F.G. (1994). Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Science*, Madison 34 (2), 733-737.
- Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M., & Zhang, C. L. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 26 (5), 1055-1063.
- Guo, W., Hou, Y.L., Wang, S.G., & Zhu, Y.G. (2005). Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings in solution culture. *Plant and Soil*, 272 (1/2), 173-181.
- Harter, F.S., & Barros, A.C.S.A. (2011). Cálcio e silício na produção e qualidade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, 33 (1), 54-60.
- Korndörfer, G.H., & Lepsh, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: Datnof et al (Eds) (2001). *Silicon on Agriculture* (pp33-147).
- Korndörfer, G.H., Pereira, H. S., & Camargo, M. S. (2002). *Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura*. (Boletim Técnico, n.1, 2. ed. , 23p). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- Korndörfer, G.H., Pereira, H. S., & Camargo, M. S. (2003). *Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura* (Boletim Técnico, n.1, 22p). Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia.
- Lima, B. D., Barros, A. C. S. A., Silva, J. L., Stohlrirk, J., Bin, F., & Cichelero, T. (2009, setembro). Silicato de alumínio (Caulim) na qualidade fisiológica e produtividade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.). *Anais do Congresso de Iniciação Científica*, Pelotas, RS, Brasil, 18.
- Lima Filho, O. F. (2009). *História e uso do silicato de sódio na agricultura* (112p). Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste.
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Review *Trends in Plant Science* (Abiotic stress series), London, 11, 342-397.
- Machado, A. A., & Conceição, A.R. (2003). *Sistema de análise estatística para Windows: Winstat*. (Versão 2.0.) [Software]. Pelotas: UFPel, 2003.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (638p). São Paulo: Editora Agronômica Ceres.
- Matichenkov, V. V., Kosobrukhov, A. A., Shabnova, N. I., & Ocharnikova, E. A. (2005). Plant response to silicon fertilizers under salt stress. *Agrokhimiya*, Moscow, 10, 59-63.
- Matoh, T., Murata, S. & Takahashi, E. (1991). Effect of silicat application on photosynthesis of rice plants. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 63 (3), 248-251.
- Mauad, M., Crusciol, C.A.C., Grassi Filho, H., & Correa, J.C. (2003). Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 60 (4), 761-765.
- Melo, S.P., Korndörfer, G.H., Korndörfer, C.M., Lana, R.M.Q., & Santana, D.G. (2003). Silicon accumulation and water deficit tolerance in

- Brachiaria grasses. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 60, 755-759.
- Minella, Euclides. (2012). A árvore do conhecimento: cevada. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, Recuperado em 22 fevereiro, 2016 de <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cevada/arvore/CONT000fyt381uk02wx5ok0vcihk68tas55r.htm>
- Muossa, HR. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal Agriculture e Boilogy, Pakistan*, 8, 293–297.
- Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C., Vieira, R. D., & França-Neto, J.B. (1999). *Vigor de sementes: conceitos e testes* (Cap.2, pp.9-13). Londrina: ABRATES.
- Rodrigues, F. A., McNally, D. J., Datnoff, L. E., Jones, J.B., Labbé, C., Benhamou, N., Menzies, J. G., & Bélange, R. R. (2004). Silicon enhances the accumulation of dipentenoic phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, Saint Paul, 94 (2), 177-183.
- Sá, M. E. (1994). Importância da adubação na qualidade de semente. In: Sá, M. E., & Buzzeti, S. (Ed.) *Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas* (pp.65-98). São Paulo: Ícone.
- Singh, A. K., Singh, R. Singh, K. (2005a). Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, 50 (3), 190-193.
- Singh, K. K, Singh, K., Singh, R. S., Singh, R., & Chandel, R. S. (2005b). Silicon nutrition in rice: a review. *Agricultural Reviews*, New Delhi, 26 (3), 223- 228.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (2004). *Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (10 ed., 400p). Porto Alegre: Comissão de química e fertilidade do solo.
- Streck, E.V., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, P.C., Schneider, P., Giasson, E., & Pinto, L.F.S. (2008). *Solos do Rio Grande do Sul*. (2 ed., 222p) Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR.
- Toledo, M. Z., Garcia, R. A., Merlina, A., & Fernandes, D. M. (2011). Seed germination and seedling development of white oat affected by silicon and phosphorus fertilization. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 68 (1), 18-23.
- Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, D., Amador, B. M., Aydemir, S., & Girgin, A. R. (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, Amsterdam, 62, 10-16.
- Vigano, J., Braccini, A. L., Scapim, C. A., Franco, F. A., Schuster, I., Moterle, L. M., & Teixeira, L. R.(2010). Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta aos efeitos de anos e épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, 32 (3), 86-96.
- Yoshida, S., Ohnishi, Y., & Kitagishi, K. (1962). Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 8 (3), 15-21.

Recebido em: 19/12/2013

Aceito em: 09/12/2015