

ACÚMULO DE SILÍCIO E COMPOSTOS FENÓLICOS NA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE TRIGO APÓS A ADUBAÇÃO SILICATADA

ACCUMULATION OF SILICON AND PHENOLIC COMPOUNDS IN PLANT SHOOTS OF WHEAT AFTER SILICON FERTILIZATION

André Oliveira de MENDONÇA¹; Lizandro Ciciliano TAVARES¹;
André Pich BRUNES¹; Daisy Letícia Ramirez MONZÓN²;
Francisco Amaral VILLELA³

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes – PPGCTS, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil. andre_mendonca@hotmail.com; 2. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (área de concentração em Fitomelhoramento) – PPGA, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil; 3. Professor, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes – PPGCTS, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil.

RESUMO: O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação silicatada no acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado onde os tratamentos consistiram na utilização de diferentes doses de duas fontes de silício, 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 ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos, com quatro repetições. As plantas foram coletadas aos 60 dias após a emergência, sendo as avaliações do teor de silício na parte aérea, realizada através da oxidação do material com digestão básica, e fenóis totais por meio de extração com metanol. Após a colheita, avaliaram-se o número e o rendimento de grãos por planta. Conclui-se que o aumento da dose da adubação silicatada com as fontes caulim e cinza de casca de arroz, via solo, provocam o acúmulo linear de silício nas folhas e colmos de plantas de trigo até a dose de 2500 kg ha⁻¹, com consequente aumento no teor de fenóis totais. A adubação silicatada, em ambas as fontes, promovem aumento na produtividade, até a dose de 1720 kg ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: *Triticum aestivum* L. Fenóis totais. Indução de resistência. Nutrição vegetal.

INTRODUÇÃO

No Brasil, há interesse socioeconômico de aumentar a produção de trigo, pois além do atendimento à demanda nacional de grãos e não importação do cereal, seu cultivo fornece palhada para as culturas de verão, como soja e milho. A adubação silicatada é uma importante tecnologia a ser incorporada nos sistemas de adubação, pois além de ser uma estratégia de manejo capaz de aumentar a produtividade das culturas, é capaz de induzir a resistência das plantas contra fatores bióticos e abióticos, sendo assim capaz de reduzir a utilização indiscriminada de agrotóxicos.

O controle de doenças atualmente pode ser feito pela ativação de mecanismos de defesa inerentes às plantas, por meio da aplicação de produtos bióticos ou abióticos não tóxicos, que atuam como indutores de mecanismos de resistência em plantas (MARTINATI et al., 2007). Entre os indutores de resistência abióticos, recentemente, foi sugerida a utilização de silício, que pode agir na redução da incidência e desenvolvimento de doenças em mono e dicotiledôneas (MORAES et al., 2006).

Para esclarecer este mecanismo de defesa das plantas, Koga et al. (1988) estabeleceram uma

hipótese, através do silício e dos compostos fenólicos, que após a morte das células estes compostos fenólicos são liberados pela descompartimentação, acumulando-se nas paredes das células mortas. Os compostos fenólicos formam complexos insolúveis com o silício, que se movem apoplasticamente na epiderme, devido ao transporte passivo no fluxo da transpiração. Estudos realizados com o silício evidenciam a sua importância na ativação de genes que promovem a produção de enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta. Além disso, vários trabalhos demonstram incrementos significativos da taxa fotossintética, melhoria da arquitetura foliar e de outros processos no metabolismo vegetal, tendo como resultado final aumento e maior qualidade na produção. O silício, portanto, tem alto potencial para ser utilizado extensivamente na agricultura (LIMA FILHO et al., 1999).

Em gramíneas acumuladoras, o silício pode promover aumentos nos atributos de crescimento, na atividade fotossintética das folhas inferiores e na dureza de folhas e colmos (SINGH et al., 2005), como é o caso, por exemplo, do arroz, trigo e cevada. Experimentos de campo comprovam o efeito da aplicação de silicatos em parâmetros de crescimento e produção, sendo que em cereais os

trabalhos são mais numerosos em arroz. Estudando doses e épocas de aplicação de silício em duas colheitas consecutivas, SINGH et al. (2005) verificaram 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, aumentou a altura, área foliar e matéria seca (GONG et al., 2003). Adição de silício em solução nutritiva aumentou a matéria seca da parte aérea de plântulas de arroz, mas não das raízes (GUO et al., 2005). Em condições de estresse salino, a aplicação de silício incrementou a porcentagem de germinação de sementes e a biomassa de trigo (MATICHENKOV et al., 2005).

A exigência nutricional e o crescimento das plantas variam de acordo com a espécie e o cultivar, dependendo da sua eficiência de absorção, de translocação e de uso dos nutrientes (FAGERIA, 1998). A concentração de silício da parte aérea entre as plantas varia entre 1 e 100 g kg⁻¹ de matéria seca, por causa das diferentes capacidades que as raízes têm em absorver o elemento (EPSTEIN, 1994).

Não existe consenso sobre a essencialidade do silício, no entanto, o nutriente já é utilizado na adubação de algumas espécies vegetais, e o mais extraído pela cultura do arroz (GUTIERREZ et al., 2011). O rendimento de benefício e a proporção de grãos quebrados estão relacionados às características genéticas da cultivar, métodos de colheita e secagem dos grãos, condições climáticas após a floração e adubação. Entretanto, ainda são poucos os trabalhos relacionando à adubação silicatada no rendimento de grãos, acúmulo de silício e teor de fenóis totais, sendo que os dois últimos são importantes para redução do ataque de patógenos e indução de resistência de plantas de trigo, respectivamente.

Deste modo, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação silicatada no acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios Didático de Análise de Sementes e de Bio-Sementes do Departamento de Fitotecnia, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel/FAEM). A cultivar de trigo utilizada foi FUNDACEP Horizonte.

As plantas de trigo foram cultivadas em vasos de 15 litros, onde foram semeadas 10

sementes por vaso, permanecendo, após o desbaste, as quatro plantas emergidas mais precocemente por vaso, preenchidos com solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um Plano Solo Háplico Eutrófico Solódico (STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas. A adubação foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo e recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004). Utilizaram-se nitrogênio, fósforo e potássio, com aplicação 14 dias antes da semeadura e a calagem realizada trinta dias antes da semeadura. Após a semeadura, as plantas foram irrigadas diariamente mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo.

Os tratamentos consistiram em combinações de duas fontes a base de silício, 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 ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos, com quatro repetições. As fontes, caulim e cinza de casca de arroz, apresentavam 77,9% e 90% de silício, respectivamente. A aplicação de silício foi realizada juntamente com a semeadura.

Para as avaliações de teor de silício e fenóis totais da parte aérea foram coletadas plantas aos 60 dias após emergência. A extração e a determinação de silício foi realizada conforme Elliott et al. (1991). Para isso, utilizou-se 0,1 g de material triturado, adicionando-se 2 mL de peróxido de hidrogênio e 3 mL de hidróxido de sódio em tubos do tipo *falcon* de 50 mL, mantendo-se em banho-maria por uma hora, controlando a espuma com álcool isoamílico e agitando-se em agitador tipo Vórtex. Após, levou-se para autoclave por uma hora a temperatura de 123 °C e pressão de 1,5 atm, mantendo-se resfriado, adicionando-se água destilada até completar 50 mL. Transcorrido 12 horas de repouso, retirou-se um mL do sobrenadante, transferindo para copos de 50 mL, seguido da adição de 19 mL de água destilada, um mL de ácido clorídrico e 2 mL de molibdato de amônio, com posterior agitação até a formação da cor amarela. Por fim, adicionou-se 2 mL de ácido acético, sendo que após 2 minutos realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Ultrspec 2000 UV/Visível - Pharmacia Biotech) a 410 nm.

A extração dos compostos fenólicos totais foi gerada através de um grama de folhas frescas. As amostras foram colocadas em tubos *falcon* de 50 mL, cobertos com papel alumínio, e diluídas em 20 mL de metanol concentrado, sendo incubados em banho-maria a 25 °C, durante 3 horas. Transcorrido esse período, a solução foi filtrada com algodão e transferida para um balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com metanol. Após realizou-

se a reação colorimétrica de fenóis totais, adicionando-se um mL do extrato em tubos *falcon* de 15 mL, cobertos com papel alumínio, seguido de 10 mL de água destilada e 0,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu 2 N, deixando-se reagir por 3 minutos. Decorrido este tempo, adicionou-se 1,5 mL de carbonato de sódio 20 %, e, novamente, deixou-se reagir por 2 horas. Ao término, realizou-se a leitura da absorbância das amostras em espectrofotômetro (Ultrospec 2000 UV/Visível - Pharmacia Biotech) utilizando comprimento de onda 765 nm. O controle foi elaborado com um mL de metanol, 10 mL de água e 0,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu 2 N, deixando reagir por 3 minutos. Em seguida foram adicionados 1,5 mL de carbonato de sódio 20%, deixando reagir por 2 horas. Para zerar o equipamento utilizou-se metanol (SINGLETON; ROSSI, 1965).

A colheita manual das plantas foi realizada no estádio em que 2/3 das espiguetas apresentavam coloração amarelo-clara ou creme, caracterizando a maturidade fisiológica. Após realizaram-se as avaliações de rendimento de grãos por planta e número de grãos por planta. O rendimento foi

obtido pela pesagem de grãos colhidos, sendo o peso corrigido para a umidade de 13%. O número de grãos foi determinado por contagem manual dos grãos, em cada unidade experimental.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparações de média pelo teste de Tukey e regressão polinomial em nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de *Lilliefors* e como apresentaram distribuição normal não realizou-se a transformação dos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, verifica-se que ocorreu interação significativa entre os fatores fonte (caulim e cinza de casca de arroz) e dose de silício (zero, 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kg ha⁻¹), aplicadas via solo, para a variável teor de silício. A variável fenóis totais demonstrou interação significativa, o que não ocorreu nas variáveis rendimento de grãos e número de grãos por planta, então se realizou a comparação apenas nas médias das fontes (Tabela 2).

Tabela 1. Teor de silício (Si) na parte aérea de trigo proveniente da adubação com caulim e cinza de casca de arroz (CCA) via solo. Capão do Leão/RS, 2011.

Dose (kg ha ⁻¹)	Fonte de silício			
	Caulim	CCA	Caulim	CCA
	Teor Si (g kg ⁻¹)			
	Colmo		Folha	
0	1,24 a*	1,24 a	1,67 a	1,67 a
500	1,45 a	1,40 a	1,85 b	3,34 a
1000	2,48 a	2,23 a	2,99 b	4,21 a
1500	2,63 b	3,45 a	3,13 b	5,11 a
2000	3,45 a	3,76 a	3,76 b	5,35 a
2500	3,86 b	4,90 a	4,93 b	5,60 a
Média	2,52	2,83	3,06	4,21
CV (%)	6,3		6,4	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem pelo teste t (p≤0,05).

Para a variável teor de silício (Tabela 1) os resultados mostram que, até a dose 500 kg ha⁻¹ não houve diferença significativa entre as fontes utilizadas, assim como na avaliação do acúmulo do elemento no colmo e nas folhas na dose zero (sem aplicação). Porém, o aumento das doses provocou maior acúmulo de silício na fonte cinza de casca de arroz. Em braquiária, Sousa e Santos (2010), observaram aumento linear dos teores de silício na parte aérea das plantas até doses de 1600 kg ha⁻¹ de

silício disponível no solo. Trabalhando com aplicação foliar de silício em milho, Freitas et al. (2011) obtiveram aumento dos teores foliares até a dose de 217,9 g ha⁻¹. Além disto, verifica-se que ocorreu maior acúmulo de silício nas folhas do que no colmo para ambas as fontes. O silício é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄) juntamente com a água (fluxo de massa), e acumula-se principalmente nas áreas de máxima transpiração (tricomos, espinhos, etc.) como ácido

silícico polimerizado (sílica amorfa), conforme Ma et al. (2001). O silício, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado pelo xilema, tendendo a acumular-se naturalmente e polimerizar-se nas folhas. Estudos conduzidos pelo grupo de pesquisa silício na agricultura (GPSi) da Universidade Federal de Uberlândia, confirmam os resultados obtidos, ao relatarem que mais de 94% do silício absorvido pelo trigo é transportado para a

parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais contém próximo de 12%. Trabalhando com plantas de pepino, Barber e Shone (1966) verificaram que ao ser interrompido o suprimento de silício na solução, as folhas superiores apresentaram concentração de silício marcadamente menor que as inferiores, indicando baixa translocação desse elemento na planta.

Tabela 2. Fenóis totais da parte aérea, rendimento de grãos por planta (RGP) e número de grãos por planta (NGP) de trigo proveniente da adubação com caulim e cinza de casca de arroz (CCA) via solo. Capão do Leão/RS, 2011.

Dose (kg ha ⁻¹)	Fonte de silício							
	Caulim		CCA		Caulim		CCA	
	Fenóis Totais (g 100g ⁻¹)		RGP (g)		NGP ^{ns}			
0	0,857 a *	0,857 a	10,6	10,6	204	204		
500	1,027 b	1,443 a	10,7	10,6	219	215		
1000	1,310 b	1,640 a	11,4	12,1	228	226		
1500	1,523 b	1,825 a	11,7	12,6	239	236		
2000	1,568 b	1,946 a	11,9	12,2	236	245		
2500	2,148 a	2,612 a	11,3	12	220	238		
Média	1,41	1,72	11,2 b	11,8 a	223	227		
CV (%)	7,1		7,1		9,8			

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem pelo teste t ($p \leq 0,05$); ^{ns} = não significativo.

Em relação ao teor de compostos fenólicos totais (Tabela 2), não houve diferença significativa entre as fontes caulim e cinza de casca de arroz, até a dose de 1000 kg ha⁻¹, e com aumento das doses de cinza de casca de arroz, elevou significativamente o teor de fenóis totais, em relação à fonte caulim. Trabalhando com feijão, Peixoto et al. (2011) ao aplicarem 1% de ácido silícico, não constataram efeitos significativos para o teor de fenóis totais. Por outro lado, Pinto et al. (2012) ao aplicarem silicato de potássio via foliar nas doses de zero; 3 e 6 mL L⁻¹ em três genótipos de cacau (TSH 1188, CCN 51 e Catongo), observaram que na dose de 3 mL L⁻¹ houve incremento no teor de fenóis totais de 100% para o genótipo CCN 51 e de 117% no genótipo Catongo.

A fonte de silício cinza de casca de arroz apresentou aumento significativo no rendimento de grãos em relação à fonte caulim (Tabela 2). Porém, para o número de grãos por planta não houve diferença entre as duas fontes avaliadas. Estes resultados corroboram os encontrados por Lima-Filho e Tsai (2007) que, testando diferentes doses de silício em três cultivares de trigo e duas de aveia,

observaram aumento significativo na produtividade em ambas às espécies, mas de modo mais marcante no trigo, cujo acréscimo na produção de sementes chegou a 100%. Dados semelhantes foram encontrados por Singh et al. (2005) que estudando doses e épocas de aplicação de silício em duas colheitas consecutivas de arroz, verificaram que a adubação silicatada promoveu aumento na altura, produção de matéria seca, número de panículas por metro quadrado e produtividade.

Na Figura 1 observa-se acúmulo linear de silício para ambas as fontes, caulim e cinza de casca de arroz, tanto nas folhas quanto no colmo de plantas de trigo. Este aumento no teor pode ser explicado devido ao fato de as gramíneas serem classificadas como plantas acumuladoras de silício, uma vez que este elemento deposita-se na parede celular, no lúmen da célula e na superfície extracelular (MELO et al., 2003). Os resultados concordam com os encontrados por Ramos et al. (2008) ao verificarem que o aumento da disponibilidade de silício proveniente de diferentes fontes promoveu incremento linear do acúmulo de silício na parte aérea de plantas de arroz. Ainda,

Faria-Júnior et al. (2009) encontraram aumento significativo dos teores de silício na parte aérea de duas cultivares de arroz com a elevação no fornecimento deste elemento no solo. Vale ressaltar que o teor de silício nas plantas pode variar entre

genótipos. Essas diferenças podem ocorrer inclusive entre genótipos da mesma espécie de plantas, conforme demonstrado para arroz por Winslow et al. (1997).

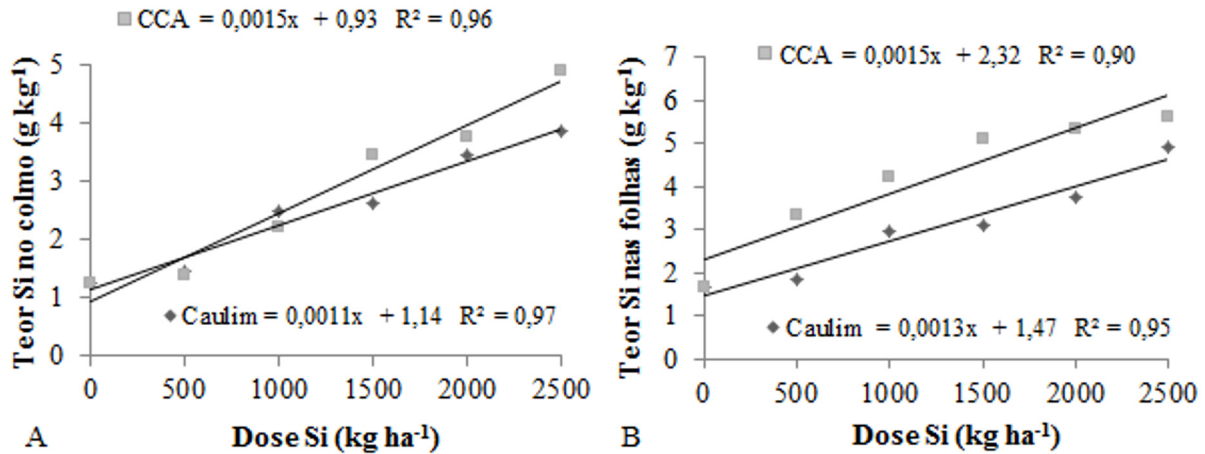


Figura 1. Teor de silício no colmo (A) e folha (B) em plantas de trigo adubadas com doses de caulim e cinza de casca de arroz (CCA). Capão do Leão-RS, 2011.

Para o teor de compostos fenólicos (Figura 2), a fonte caulim proporcionou aumento dos compostos até atingir seu ponto de máxima, na dose de 1381,9 kg ha⁻¹. Em contrapartida a fonte cinza de casca de arroz mostrou-se mais eficiente até a última dose, com incremento linear no teor de compostos na ordem de 0,598 g 100g⁻¹ por 1000 kg ha⁻¹. Os dados obtidos corroboram a hipótese de que o silício induz a formação de compostos fenólicos, considerados compostos de defesa da planta, caso ocorra ataque de doenças na planta (CAMARGO, 2011). O silício pode agir como elicitador do processo de indução de resistência conforme Gomes et al. (2005), aumentando a atividade de enzimas

relacionadas com a defesa de plantas de trigo contra *Schizaphis graminum*, como por exemplo, as peroxidases e polifenoloxidas e a enzima fenilalanina amônia-liase relacionadas com a síntese de compostos fenólicos, que apresentam propriedades repelentes, tóxicas e antinutricionais aos insetos. Do mesmo modo, Bélanger et al. (2003), usando microscópio ótico e eletrônico, verificaram que a aplicação de silício tem papel ativo na resistência de plantas de trigo infectadas por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, principalmente em função do acúmulo de compostos fenólicos em paredes de células epidérmicas.

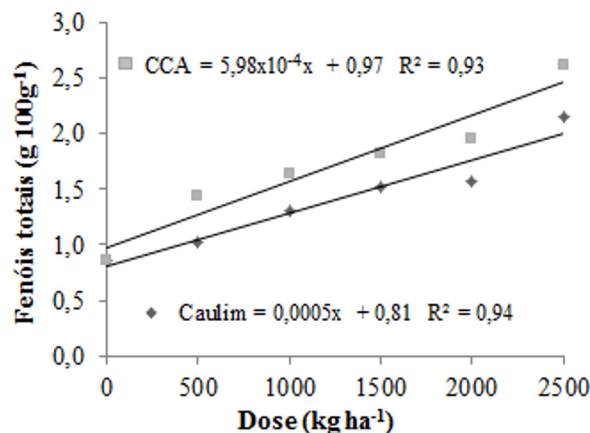


Figura 2. Teor de fenóis totais da parte aérea de plantas de trigo adubadas com caulim e cinza de casca de arroz (CCA). Capão do Leão-RS, 2011.

A variável número de grãos por planta (Figura 3A) ajustou-se ao modelo quadrático, sendo o ponto de máxima eficiência atingido para a dose de 1808,4 kg ha⁻¹, em ambas as fontes. O aumento da produção de sementes pode estar relacionado à maior taxa fotossintetizante, pois o silício pode modificar a arquitetura da planta (DEREN et al., 1994), resultando em uma menor abertura de ângulo foliar, permitindo maior captação de energia luminosa, aumentando a produtividade. Os dados obtidos corroboram com os resultados encontrados por Liang et al. (1994), ao constatarem que a aplicação de silício no solo aumentou a produtividade de sementes em 4,6-20,7% e 4,1-9,3% respectivamente. Utilizando aplicação foliar em soja, nas doses 0, 2, 4, 6 e 8 L ha⁻¹, Zago et al.

(2010) não obtiveram diferença significativa para número de sementes por planta.

Para a avaliação de rendimento de grãos (Figura 3B), as doses utilizadas promoveram incremento até a dose de silício 1720 kg ha⁻¹ de silício. Trabalhando com três cultivares de arroz, Barbosa-Filho et al. (2001) verificaram que o rendimento de sementes aumentou significativamente e de forma linear com aplicação de doses crescentes de silício, na ordem de 0,002% para cada mg de SiO₂.kg⁻¹ solo. Porém, estes dados discordam dos encontrados por Carvalho-Pupatto et al. (2004), que trabalhando com a cultivar de arroz IAC-202 em condições de campo, não obtiveram resultados significativos.

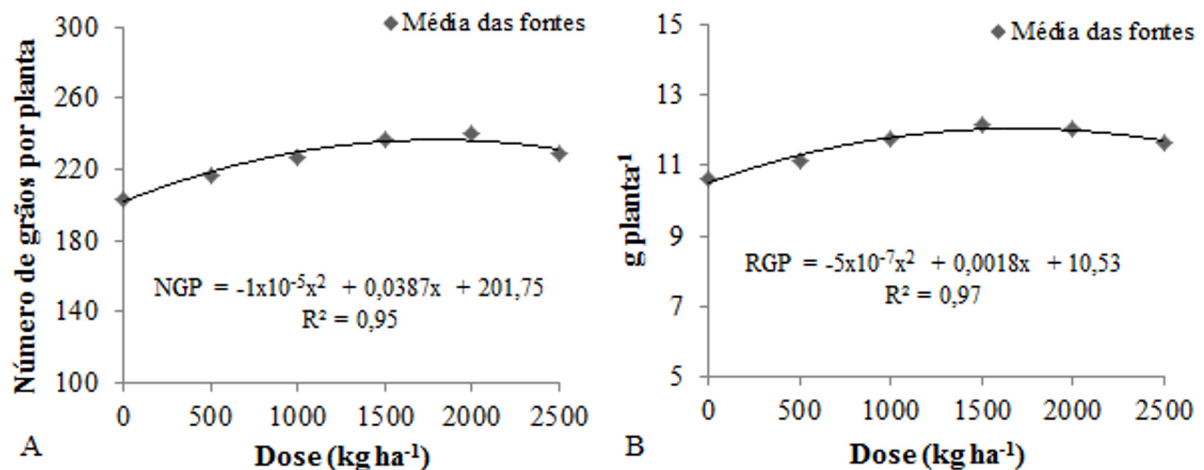


Figura 3. Número de grãos por planta - NGP (A) e rendimento de grãos por planta - RGP (B) conforme a dose da média das fontes de silício aplicadas no solo. Capão do Leão-RS, 2011.

A utilização de silício como agente indutor de resistência é promissora, pois a literatura, assim como os resultados do presente trabalho, demonstram a influência positiva na acumulação de silício e de compostos capazes de atenuar doenças, principalmente nas folhas. A fonte cinza de casca de arroz mostrou-se superior à fonte caulim na análise do rendimento de grãos, além de ser uma fonte alternativa e mais acessível economicamente, por tratar-se de um resíduo da agroindústria.

CONCLUSÕES

O aumento da dose de adubação silicatada com as fontes caulim e cinza de casca de arroz, via solo, provocam o acúmulo linear de silício nas folhas e colmos de plantas de trigo até a dose de 2500 kg ha⁻¹, com conseqüente aumento no teor de fenóis totais.

A adubação silicatada, em ambas as fontes, promovem aumento na produtividade, até a dose de 1720 kg ha⁻¹.

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the effect of silicon fertilization on accumulation of silicon and phenolic compounds in shoots of wheat plants. The experimental design was completely randomized where the treatments consisted of using different doses of two sources of silicon in a factorial 2 X 6 (Factor A: kaolin and rice husk ash, Factor B: levels of zero, 500, 1000, 1500, 2000 and 2500 kg ha⁻¹), totalizing 12 treatments with four replications. Plants were collected at 60 days after emergence, and evaluations of the silicon content in the shoot, were performed through the oxidation of material with basic digestion, and total phenol by extraction with methanol. After harvest, we evaluated the number and grain yield per plant. We conclude that increasing the dose of Silicon fertilization with sources kaolin and rice

husk ash into the soil, causing the linear accumulation of silicon in the leaves and stems of wheat plants up to a dose of 2500 kg ha⁻¹, with consequent increase in total phenols. Silicon fertilization in both sources, promote increased productivity up to a dose of 1720 kg ha⁻¹.

KEYWORDS: *Triticum aestivum* L. Total phenols. Resistance induction. Plant nutrition.

REFERÊNCIAS

- BARBER, D. A.; SHONE M. G. T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p. 569-578, 1966.
- BARBOSA-FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 325-30, 2001.
- BÉLANGER R. R.; BENHAMOU N.; MENZIES J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*). **Phytopathology**, Minnesota, v. 93, p. 402-412, 2003.
- CAMARGO, M. S. Silício em cana-de-açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v.8, n.88, 2011.
- CARVALHO-PUPATTO, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade de arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.
- DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, 1994.
- ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Davis, v.39, p. 1118-1119, 1991.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, p. 11-17, 1994.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 2, p. 6-16, 1998.
- FARIA-JÚNIOR, L. A.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J.; BASTOS, A. R. R.; FERREIRA, E. V. O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, 2009.
- FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.
- GOMES F. B.; MORAES J. C.; SANTOS C. D.; GOUSSAIN M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 547-551, 2005.
- GONG, H. J.; CHEN, K. M.; CHEN, G. C.; WANG, S. M.; ZHANG, C. L. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 5, p. 1055-1063, 2003.
- GPSi – GRUPO DE PESQUISA SILÍCIO NA AGRICULTURA. **Efeito do silício nas plantas**. KORNDÖRFER, G. H. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Ciências Agrárias. Acesso em: 5 de out. de 2012. Disponível em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/silicio.htm>.

GUO, W.; HOU, Y. L.; WANG, S. G.; ZHU, Y. G. Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings in solution culture. **Plant and Soil**, New York, v. 272, n. 1/2, p. 173-181, 2005.

GUTIERREZ, R. S.; INOCÊNCIO, M. F.; NOVELINO, J. O. Extração de silício em solos fertilizados com fosfato e silicato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 1-7, 2011.

KOGA, H.; ZEYEN, R. J.; BUSHNELL, W. R.; AHLSTRAND, G. G. Hipersensitive cell death, autofluorescence and insoluble silicon accumulation in barley leaf epidermal cells under attack by *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 32, n. 3, p. 395-409, 1988.

LIANG, Y. C.; MA, T. S.; LI, F. J.; FENG, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p. 2285-2297, 1994.

LIMA-FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. Supressão de patógenos em solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. **Encarte Técnico, Informações Agronômicas**, n. 87, 1999.

LIMA-FILHO, O. F.; TSAI, S. M. **Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007, 38 p. - Circular Técnico / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456; n. 41.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: Silicon in Agriculture. Edited by DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. **New York: Elsevier science**, p. 17-39, 2001.

MARTINATI, J. C.; LACAVA, P. T.; MIYASAWA, S. K. S.; GUZZO, S. D.; AZEVEDO, J. L.; TSAI, S. M. Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* por meio de aplicação de benzoatiadiazole e silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1083-1089, 2007.

MATICHENKOV, V. V.; KOSOBROUKHOV, A. A.; SHABNOVA, N. I.; BOCHARNIKOVA, E. A. Plant response to silicon fertilizers under salt stress. **Agrokhimiya**, Agrokhimiya, v. 10, p. 59-63, 2005.

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA de, D. G. Acúmulo de silício e tolerância ao déficit hídrico em capins do gênero *Brachiaria*. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.

MORAES, S. R. G.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; LIMA, P. H.; BOTELHO, A. O. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 69-75, 2006.

PEIXOTO, M. L.; MORAES, J. C.; SILVA, A. A.; ASSIS, F. A. Efeito do silício na preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 478-481, 2011.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANEM, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 360-367, 2012.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.

SINGH, S. P.; COOPER, J. E.; FISHER, H. L.; TARRANT, C. J.; LLOYD, T.; BANJO, J.; CORFE, S.; JONES, C. Determining the chronology and components of psychosis onset: The Nottingham Onset Schedule (NOS). **Schizophrenia Research**, Philidelphia, n. 80, p. 117-130, 2005.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. J. R. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, p. 144-158, 1965.

SOUSA, R. T. X.; SANTOS, A. P. Influência da adubação silicatada no aproveitamento de silício e teor foliar de nutrientes na *Braquiária brizantha*. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 6, n. 11, 2010.

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; UFRGS, 222p, 2008.

WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; CORREA-VICTORIA, F. Silicon deficiency and the adaptation of tropical rice ecotypes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 188, n. 2, p. 239-248, Jan. 1997.

ZAGO, A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, T. R. B.; VIECELLI, C. A.; VERONA, E.; NOLLA, A. Efeito de doses de silício no desenvolvimento da soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 16-22, 2010.