



ARTIGO ORIGINAL

Suplementação de boro na semeadura e no perfilhamento em cevada: rendimento e qualidade de sementes

Boron supplementation in barley sowing and tillering: yield and seed quality

Lizandro Ciciliano Tavares¹
Elisa Souza Lemes¹
André Pich Brunes¹
Sandro de Oliveira¹
André Oliveira de Mendonça^{1*}
Francisco Amaral Villela¹

¹ Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Rua Gomes Carneiro, 1, Centro, 96010-610, Pelotas, RS, Brasil

*Autor correspondente:

E-mail: andre_mendonca@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Hordeum vulgare L.
Adubação boratada
Produtividade
Germinação
Vigor

KEYWORDS

Hordeum vulgare L.
Boron fertilization
Productivity
Germination
Vigor

RESUMO: O boro é exigido em pequenas quantidades pelas culturas, sendo a aplicação de doses adequadas no solo vital para aumentar a produtividade dos cultivos. Este trabalho visou avaliar a influência da suplementação com boro, na semeadura e no perfilhamento, sobre as características agrônômicas e a qualidade fisiológica de sementes de cevada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (fator A: aplicação na semeadura e no perfilhamento pleno; fator B: níveis de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg de boro por ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos, com quatro repetições. Após a colheita avaliouse: número de espigas por planta; número de sementes por espiga; rendimento de sementes por planta; peso hectolítrico; peso de mil sementes; teor foliar de boro; primeira contagem de germinação; germinação; envelhecimento acelerado; teste de frio; comprimento de parte aérea e de raiz. Os dados foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey e à regressão polinomial em nível de probabilidade de 5%. Conclui-se que ao elevar o teor de boro disponível no solo, aumenta o teor foliar da cevada. A suplementação de boro de até 5 kg ha⁻¹, tanto na semeadura como no perfilhamento, prejudica a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes.

ABSTRACT: Boron is required in small amounts by crops and the decision to apply adequate soil intakes is vital to increase crop productivity. This study aimed to evaluate the influence of supplementation with boron at sowing and tillering on the agronomic characteristics and physiological quality of barley seeds. The experimental design was completely randomized in a factorial design (Factor A: application at sowing and in full tillering; Factor B: 0, 1, 2, 3, 4 and 5 kg ha⁻¹ of boron), totaling 12 treatments, with four replications. After harvesting, the following ratings were assessed: number of spike per plant, number of seeds per spike, seed yield per plant, hectoliter weight, thousand seed weight, boron foliar contents, first germination counting, germination, accelerated aging, cold test, aerial length and root. The data were submitted to compare means by Tukey test and to polynomial regression in probability level of 5%. The conclusion is that the leaf content increases, by raising the boron content available in the soil. Supplementation of boron up to 5 kg ha⁻¹, at sowing or at tillering, impairs productivity and seed quality.

1 Introdução

Devido à grande demanda existente, principalmente da indústria malteira, a produção de grãos de cevada no Brasil é insuficiente para suprir a necessidade nacional desse grão, sendo esta suprida através de importação da Comunidade Europeia, da Argentina e do Canadá (Calerão, 2005). Mesmo assim, a área cultivada com cevada no país na safra de 2016 foi de 96 mil ha, com produção de aproximadamente 375 mil toneladas (Conab, 2017). Assim como as demais espécies cultivadas, a cevada necessita de apoio eficaz e contínuo da pesquisa, por exemplo, na aplicação de novas tecnologias que busquem melhorar a expressão do potencial produtivo com o aumento da rentabilidade e da qualidade das sementes.

O micronutriente boro é um elemento de baixa mobilidade dentro do floema e, conseqüentemente, os sintomas de sua deficiência manifestam-se nos tecidos jovens ou recém-formados (Malavolta et al., 1997). Apesar de o papel fisiológico desse nutriente ainda não estar perfeitamente entendido, sabe-se da sua importância na formação da parede celular, mais especificamente na síntese de componentes, como a pectina, a celulose e a lignina, e no transporte de glicídios (Moraes et al., 2002).

O papel do boro na germinação do pólen e no crescimento do tubo polínico é particularmente importante para a produção das culturas, sendo ambos os processos severamente inibidos pela deficiência desse micronutriente (Kappes et al., 2008). O boro desempenha, também, importante papel na migração e no metabolismo de carboidratos, facilitando o transporte dos açúcares através das membranas celulares na forma do complexo açúcar-borato (Malavolta et al., 1997).

Para o aumento do potencial produtivo dos cultivos, a decisão de aplicação ou não de boro é vital, pois esse elemento é exigido em pequenas quantidades e o intervalo de deficiência e toxicidade é estreito, exigindo-se cautela para que haja o fornecimento de doses adequadas (Scivittaro & Machado, 2004), uma vez que a toxicidade pode ser constatada mesmo com baixos níveis no solo. Dessa forma, práticas de manejo e de adubação, detectando a dose e a época adequada de aplicação de boro, podem ser fundamentais para o aumento da sua eficiência e da produtividade de sementes da cultura.

Diante da importância desse elemento na formação da parede celular, no transporte através de membranas celulares e na produtividade, devido à ação na germinação do pólen, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da suplementação com boro sobre as características agrônômicas e a qualidade fisiológica de sementes de cevada.

2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS) e em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Foram utilizadas sementes de cevada, cultivar BRS Ellis, de ciclo precoce.

O experimento foi conduzido em vasos de 15 L, nos quais foram semeadas 10 sementes por vaso, permanecendo, após o desbaste, as cinco plantas emergidas mais precocemente em cada vaso. Os vasos foram preenchidos com solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um planossolo háplico eutrófico solódico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013), pertencente

à unidade de mapeamento Pelotas (Streck et al., 2008). A adubação foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo e com as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004). Após a semeadura, as unidades experimentais foram irrigadas diariamente.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, e os tratamentos consistiram nas combinações de duas épocas de aplicação de boro e de seis doses diferentes, em esquema fatorial 2 x 6 (fator A: aplicação na semeadura e no perfilhamento pleno; fator B: níveis de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 kg de boro por ha), totalizando 12 tratamentos, com quatro repetições. A fonte de boro utilizada foi o tetraborato de sódio (bórax), que apresenta 11,5% de boro. O teor de boro no solo foi aferido por metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), sendo encontrado teor total de 7,25 mg kg⁻¹.

A colheita manual das plantas foi realizada nos estádios R8 e R9, caracterizando a maturidade fisiológica das sementes. Em seguida foram avaliadas as seguintes variáveis: número de espigas por planta (NEP) e número de sementes por espiga (NSE), aferidos por contagem manual nas espigas e sementes em cada unidade experimental; rendimento de sementes por planta (RSP), obtido pela pesagem das sementes colhidas, sendo o peso corrigido para a umidade de 13%; peso hectolítrico (PH), mensurado com quatro amostras e balança específica com capacidade de um litro de sementes, sendo o resultado expresso em kg L⁻¹; e peso de mil sementes (PMS), segundo as *Regras para análise de sementes* (Brasil, 2009).

Após a colheita, realizou-se a coleta das folhas para verificação do teor foliar do micronutriente boro, que foi determinado através da formação de um complexo colorido pela reação de ácido bórico com azometina H, conforme descrito por Malavolta et al. (1997).

A qualidade das sementes produzidas foi avaliada pelo teste de germinação (G): foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes, sendo utilizadas como substrato duas folhas de papel do tipo “germitest”, previamente umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso de papel seco, montadas em rolos e mantidas em germinador à temperatura constante de 20 °C. A avaliação foi realizada após sete dias, de acordo com as *Regras para análise de sementes* (Brasil, 2009), e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, assim como os da primeira contagem de germinação (PCG), que foi avaliada aos quatro dias após a instalação do teste de germinação.

O teste de envelhecimento acelerado (EA) foi realizado utilizando-se o método de gerbox, no qual as sementes foram espalhadas em camada única sobre uma tela metálica suspensa, dentro de caixas de gerbox, contendo 40 mL de água destilada ao fundo. Posteriormente, as caixas foram tampadas e acomodadas em câmara do tipo *biochemical oxygen demand* (BOD), a 41 °C por 48 h (Marcos Filho, 1999). Após esse período as sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação e avaliadas no quarto dia, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

O teste de frio (TF) foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento, distribuídas uniformemente em rolo de papel tipo “germitest” umedecido, previamente, com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Em seguida os rolos de papel foram colocados

em sacos plásticos, os quais foram vedados e mantidos em câmara BOD regulada à temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante sete dias. Após esse período, os rolos foram transferidos para um germinador e mantidos nas mesmas condições do teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais após quatro dias (Cícero & Vieira, 1994). O comprimento da parte aérea e da raiz (CP e CR) foram determinados a partir de quatro subamostras de 20 sementes, que foram distribuídas de forma descontraída em duas linhas longitudinais e paralelas no terço superior do papel de germinação tipo “germitest”, umedecido na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. A medição foi realizada aos quatro dias após a semeadura, com auxílio de régua graduada em milímetros, sendo medido o comprimento total e o CP de 10 plântulas normais escolhidas aleatoriamente. O CR foi determinado subtraindo-se o CP do comprimento total. Os comprimentos médios da parte aérea e da raiz foram determinados somando-se as medidas de cada repetição e dividindo esse valor pelo número de plântulas avaliadas, conforme metodologia descrita por Nakagawa (1999).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e à homocedasticidade e, posteriormente, submetidos à análise de variância ($p < 0,05$). Sendo significativa a probabilidade “F”, as médias foram comparadas pelo teste Tukey e submetidas à regressão polinomial, ambos com 5% de probabilidade. Para análise estatística utilizou-se o software R, versão 3.1.2 (R Core Team, 2014).

3 Resultados e discussão

Foi observada na análise de variância a interação dos dois fatores estudados para as variáveis teor foliar de boro, PH e PMS. Todavia, para as variáveis NEP, NSE e RESP obteve-se efeito isolado de época de aplicação ou dose de boro.

Comparando as épocas de aplicação de boro, para o teor foliar, verificou-se que não houve diferença entre elas nas doses de 0 e 1 kg ha^{-1} , enquanto para as doses seguintes a aplicação no perfilhamento proporcionou aumentos significativos no teor de boro da folha, comparativamente à aplicação na semeadura, chegando a $418,3\text{ mg kg}^{-1}$ de boro na última dose (Tabela 1). Por outro lado, o PH foi significativamente maior na aplicação de boro na semeadura, a partir da dose de 3 kg ha^{-1} , se comparado à aplicação no perfilhamento. O PMS foi influenciado positivamente na aplicação de boro na semeadura, a partir de 1 kg ha^{-1} , em relação à aplicação no perfilhamento (Tabela 1). Aumentos significativos no teor de boro foliar em cevada foram verificados por Gupta (2000), com aplicação via solo de 2 kg ha^{-1} , chegando a valores de $11,9\text{ mg kg}^{-1}$ desse elemento – valor ainda inferior aos encontrados neste trabalho.

De acordo com Furlani et al. (2003), as concentrações de boro aumentaram na parte aérea de plantas de trigo conforme o aumento da dose aplicada desse nutriente, atingindo até 318 mg kg^{-1} de matéria seca nas folhas com a aplicação de $2,0\text{ mg L}^{-1}$ de boro em solução nutritiva. O nível crítico de deficiência de boro no trigo foi de 25 mg kg^{-1} na parte aérea, e o limite crítico de toxicidade variou de 44 a 318 mg kg^{-1} , dependendo da cultivar.

O NSE foi maior na aplicação de boro na época do perfilhamento (Tabela 2). No entanto, o RSP foi 8% superior quando se aplicou boro na semeadura, em comparação com a aplicação no perfilhamento, independentemente da dose (Tabela 2).

Tabela 1. Teor foliar de boro (B), peso hectolítrico (PH) e peso de mil sementes (PMS) de cevada produzida com a aplicação de diferentes doses de boro na semeadura (Sem.) e no perfilhamento (Perf.).

Table 1. Leaf boron (B) concentration, hectoliter mass (PH), and 1000-seed weight (PMS) of barley crop produced under different boron levels applied at sowing (Sem.) and tillering (Perf.).

Dose (kg ha^{-1})	Teor foliar de B (mg kg^{-1})		PH (kg hL^{-1})		PMS (g)	
	Sem.	Perf.	Sem.	Perf.	Sem.	Perf.
0	43,7 a	43,6 a	64,7 a	64,7 a	47,9 a	48,0 a
1	85,9 a	96,5 a	62,1 a	61,3 a	45,5 a	39,9 b
2	136,1 b	161,3 a	60,0 a	60,8 a	39,7 a	38,1 a
3	193,0 b	236,6 a	59,9 a	57,6 b	39,4 a	34,3 b
4	252,0 b	351,3 a	58,9 a	55,6 b	36,2 a	31,3 b
5	311,7 b	418,3 a	58,6 a	54,6 b	34,4 a	30,3 b

Médias seguidas por mesma letra na linha, para cada avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Número de sementes por espiga (NSE) e rendimento de sementes por planta (RSP) de cevada produzidas com a aplicação de diferentes doses de boro na semeadura e no perfilhamento.

Table 2. Number of seeds per spike (NSE) and seed yield per plant (RSP) of barley crop produced under different boron levels applied at sowing and tillering.

Época de aplicação	NSE	RSP (g)
Semeadura	22 b	9,5 a
Perfilhamento	24 a	8,8 b

Médias seguidas por mesma letra na coluna, para cada avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando a resposta do teor foliar de boro à dose de boro, obteve-se um aumento linear na ordem de $54,16$ e $77,54\text{ mg kg}^{-1}$ de boro na folha, por unidade de dose, para a aplicação na semeadura e no perfilhamento, respectivamente (Figura 1A). Para o PH, verificou-se que o boro aplicado tanto na semeadura como no perfilhamento causou redução de forma linear a uma razão de $1,14$ e $2,04\text{ kg hL}^{-1}$ para cada kg de boro (Figura 1B).

O PMS apresentou resposta linear, tendo o aumento das doses de boro até 5 kg ha^{-1} , tanto na semeadura como perfilhamento, provocando redução linear na ordem de $2,7$ e $3,4\text{ g}$ por kg de boro aplicado, respectivamente (Figura 1C). Vale destacar que o uso de 5 kg de boro causou um decréscimo de 37% para a aplicação no perfilhamento. Ao contrário disso, Fageria (2000) obteve aumento de produtividade do milho utilizando solo de cerrado em experimento conduzido em casa de vegetação, considerando adequada a dose de $9,4\text{ kg}$ de boro por ha. A lixiviação relativamente rápida do boro para as camadas mais profundas do solo pode ter contribuído para a variabilidade de desempenho da adubação, uma vez que esse elemento tem baixa capacidade de adsorção no solo (Oliveira et al., 2009). Ainda, sendo o *range* entre deficiência e toxidez na planta pequeno, além da imediata disponibilidade de boro quando aplicado via adubação, isso pode promover com facilidade ação tóxica, influenciando de maneira negativa a produtividade dos cultivos (Communar & Keren, 2007).

Independentemente da época de aplicação de boro, o NEP e o NSE apresentaram redução linear na ordem de 0,53 e 2,03, respectivamente, enquanto o RSP foi de 1,42 g por unidade de dose (Figuras 2A, 2B e 2C). A redução do rendimento de sementes, conjuntamente com o aumento do teor de boro foliar, comprova a hipótese de que as doses de boro de até 5 kg ha⁻¹ provocaram toxicidade às plantas de cevada.

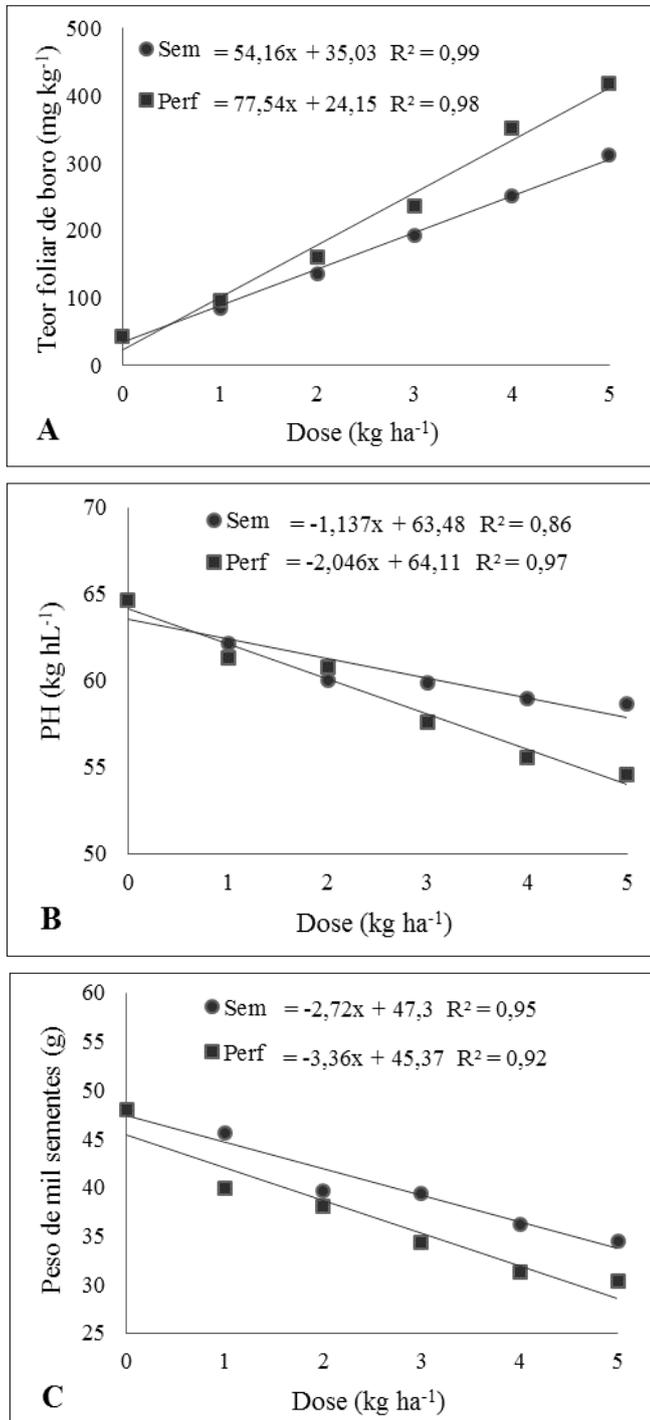


Figura 1. Teor foliar de boro (A), peso hectolítrico (B) e peso de mil sementes (C) de sementes de cevada produzidas com a aplicação suplementar de diferentes doses de boro e em diferentes épocas de aplicação.

Figure 1. Leaf boron concentration (A), hectolitre mass (B), and 1000-seed weight (C) of barley crop produced under different boron levels applied at sowing and tillering.

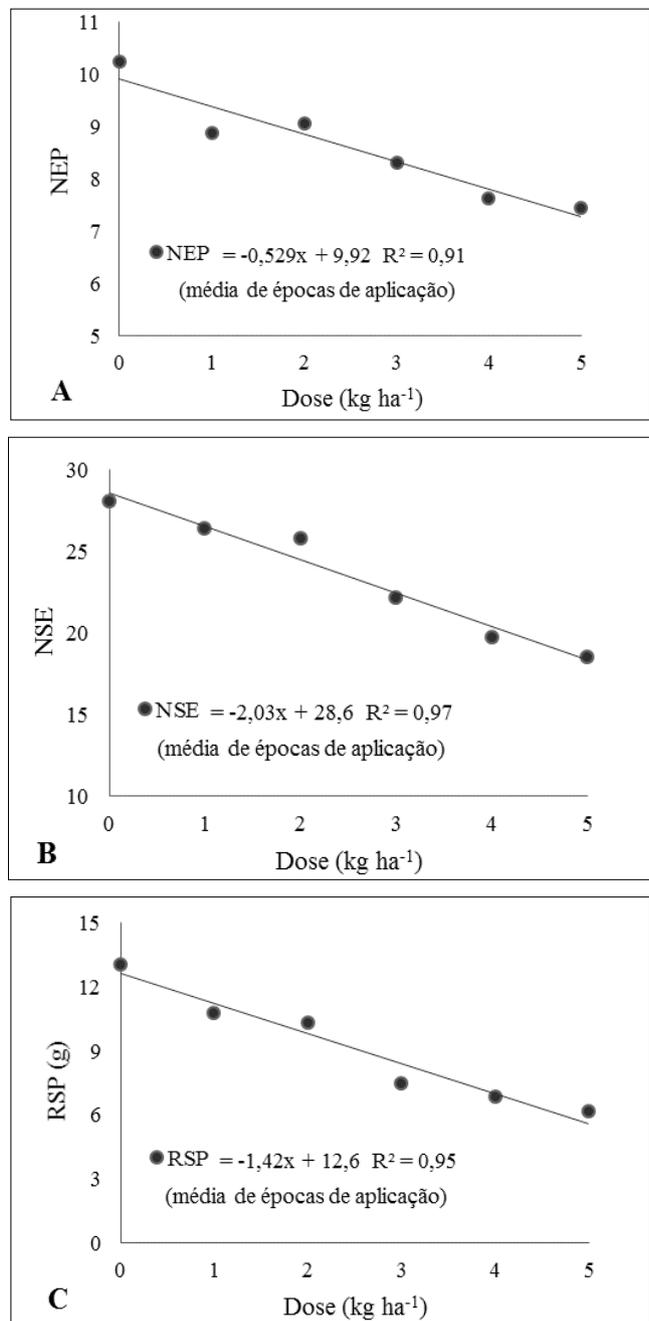


Figura 2. Número de espigas por planta (A), número de sementes por espiga (B) e rendimento de sementes por planta (C) de cevada produzida com a aplicação suplementar de diferentes doses de boro e em diferentes épocas de aplicação.

Figure 2. Number of spikes per plant (A), number of seeds per spike (B), and seed yield per plant (C) of barley crop produced under different boron levels applied at sowing and tillering.

A absorção de boro pelas espécies está relacionada a diversos fatores, como pH, textura, umidade e temperatura do solo. Ademais, em trabalho realizado por Dordas & Brown (2001), verificou-se que o alto acúmulo de boro nas folhas das plantas de cevada esteve relacionado ao aumento do teor de boro no solo, o que favoreceu o diferencial do potencial químico entre o boro do solo e o da planta, permitindo, dessa forma, a passagem do elemento pela parede bilipídica, ocasionada pela ausência de cargas. Ainda, os mesmos autores denotaram

que essa passagem preferencial do nutriente, considerando as doses utilizadas no trabalho, resultou em excessiva absorção de boro nas plantas de cevada, prejudicando seu rendimento. A aplicação de borato de sódio na dose de 10 kg ha⁻¹ em diferentes épocas do desenvolvimento da cultura do arroz não foi eficaz no incremento do rendimento (Leite et al., 2011). Contrariando esses trabalhos, respostas positivas com a aplicação de boro foram observadas no rendimento do arroz no estudo de Dunn et al. (2005).

Quanto à qualidade fisiológica das sementes produzidas, observou-se interação entre os fatores época e dose apenas para a PCG. O efeito apenas das doses de boro foi verificado na germinação, no teste de frio e no CP, enquanto para as demais variáveis não foi constatado efeito de nenhum fator pela análise de variância.

Comparando o efeito de época na PCG, verificou-se diferença apenas nas doses de 4 e 5 kg ha⁻¹, cuja aplicação no perfilhamento produziu sementes com capacidade de gerar maior porcentagem de plântulas normais do que as sementes produzidas com a aplicação na semeadura (Tabela 3). Esse teste se baseia no princípio de que sementes que originarem maior porcentagem de plântulas normais na PCG serão mais vigorosas, indiretamente avaliando a velocidade de germinação (Brasil, 2009). Oliveira et al. (2015) denotaram que à medida que diminui a porcentagem de sementes germinadas também é reduzida a expressão do seu potencial fisiológico, impedindo que estas sejam capazes de originar plântulas normais, fortes e que consigam sobreviver às condições desfavoráveis de campo.

Tabela 3. Primeira contagem de germinação de sementes de cevada produzidas com a aplicação de diferentes doses de boro na semeadura e no perfilhamento.

Table 3. First count of germination of barley seeds produced under different boron levels applied at sowing and tillering.

Época de aplicação	Dose (kg ha ⁻¹)					
	0	1	2	3	4	5
Semeadura	95 a	94 a	93 a	92 a	90 b	87 b
Perfilhamento	95 a	95 a	94 a	94 a	93 a	93 a

Médias seguidas por mesma letra na coluna, em cada dose, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A porcentagem de plântulas normais, verificada pelo teste de PCG, foi reduzida linearmente a uma razão de 1,49 e 0,51% para cada kg ha⁻¹ de boro para aplicação na semeadura e no perfilhamento, respectivamente (Figura 3A). Da mesma forma, a germinação foi reduzida com tendência linear, independentemente da época de aplicação, na ordem de 1,23% para cada unidade de dose (Figura 3B). A porcentagem de plântulas normais no teste de frio e o CP apresentaram incremento até aproximadamente as doses de 2,0 e 3,0 kg ha⁻¹, com posterior redução (Figura 3C e 3D). Os dados obtidos discordam de Leite et al. (2011), os quais detectaram que a aplicação de borato de sódio na dose de 10 kg ha⁻¹, em diferentes estádios de crescimento, não influenciou a qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado da cultivar IRGA 422CL, mensurada pelos testes de germinação, frio, envelhecimento acelerado e pelo triplice teste.

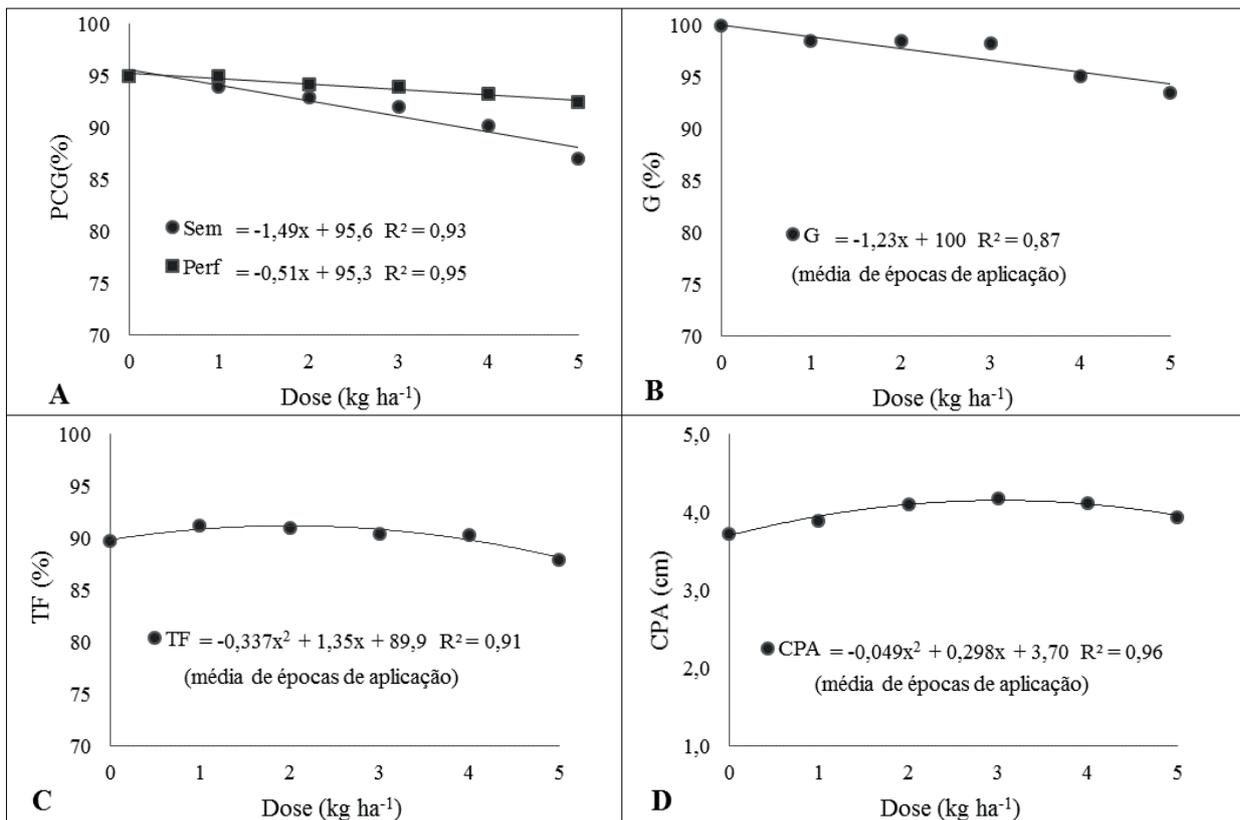


Figura 3. Primeira contagem de germinação (A), germinação (B), teste de frio (C) e comprimento de parte aérea (D) de plântulas de sementes de cevada produzidas com a aplicação suplementar de diferentes doses de boro em diferentes épocas de aplicação.

Figure 3. First germination count (A), germination (B), cold test (C), and shoot length (D) of barley seedlings produced under different boron levels applied at sowing and tillering.

Em gramíneas, a faixa crítica de deficiência de boro varia de 5 a 10 mg de boro por kg de massa de matéria seca de planta, no entanto essa faixa de requerimento é variável de acordo com a espécie (Pavinato et al., 2009). Pelos resultados deste trabalho, verificou-se que a aplicação de boro na sementeira e no perfilhamento reduziu tanto a produtividade quanto a qualidade fisiológica de sementes de cevada. Isso provavelmente foi causado pelo efeito tóxico constatado a partir do alto teor de boro nas folhas, uma vez que, em geral, plantas da família das Poaceae são diferentemente responsivas à adubação com boro. De acordo com Pavinato et al. (2009), as faixas observadas quanto aos teores de boro absorvidos pelas plantas são: teores de boro menores de 15 mg kg⁻¹, considerados deficientes; teores entre 15 e 20 mg kg⁻¹, críticos; entre 20 e 100 mg kg⁻¹, adequados; e acima de 100 mg kg⁻¹, tóxicos.

4 Conclusões

Com o aumento do teor de boro disponível no solo há elevação do teor foliar desse micronutriente. A suplementação de boro de até 5 kg ha⁻¹, tanto na sementeira como no perfilhamento, prejudica a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes.

Referências

- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento de safra brasileira: grãos: sexto levantamento*. Brasília, DF: Conab, 2017. v. 4, n. 6.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: Mapa, ACS, 2009. 395 p.
- CALERÃO, E. Resultados agrônômicos e qualitativos da nova cultivar de cevada MN 743. *Ciência Rural*, v. 35, n. 6, p. 1441-1443, 2005. doi: 10.1590/S0103-84782006000100059.
- CÍCERO, S. M.; VIEIRA, R. D. Teste de frio. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: Funep, 1994. p. 151-164.
- COMMUNAR, G.; KEREN, R. Effect of transient irrigation on boron transport in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 2, p. 306-313, 2007.
- DORDAS, C.; BROWN, P. H. Evidence mediated channel intransport of boric acid in Squash. *Plant and Soil*, v. 235, n. 1, p. 95-103, 2001.
- DUNN, D.; STEVENS, G.; KENDIG, A. Boron fertilization of rice with soil and foliar applications. *Crop Management*, 2005. Disponível em: <<http://plantsci.missouri.edu/deltacrops/pdfs/RiceBoron.pdf>>. Acesso: 6 abr. 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 4, n. 1, p. 57-62, 2000.
- FURLANI, A. M. C.; CARVALHO, C. P.; FREITAS, J. G.; VERDIAL, M. F. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 2, p. 359-370, 2003. doi: 10.1590/S0103-90162003000200022.
- GUPTA, U. C. Deficiency, sufficiency and toxicity level of boron in crop. In: GUPTA, U. C. (Ed.). *Boron an its role in crop production*. Boca Raton: CRC Ross, 2000. p. 137-145.
- KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agrônômicas e na qualidade de sementes de soja. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008. doi: 10.5380/rsa.v9i3.11563.
- LEITE, R. F. C.; SCHUCH, L. O. B.; AMARAL, A. S.; TAVARES, L. C. Rendimento e qualidade de sementes de arroz irrigado em função da adubação com boro. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 4, p. 785-791, 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇANETO, J. B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates, 1999. p. 14-24.
- MORAES, L. A. C.; MORAES, V. H. F.; MOREIRA, A. Relação entre flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 10, p. 1431-1436, 2002. doi: 10.1590/S0100-204X2002001000011.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates, 1999. p. 9-13.
- OLIVEIRA, L. M.; SCHUCH, L. O. B.; BRUNO, R. L. C.; PESKE, S. T. Qualidade de sementes de feijão-caupi tratadas com produtos químicos e armazenadas em condições controladas e não controladas de temperatura e umidade. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1263-1276, 2015.
- OLIVEIRA, N. W.; MUNIZ, S. A.; SILVA, G. A. M.; CASTRO, C.; BORKERT, M. C. Boron extraction and vertical mobility in Paraná State Oxisol, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1259-1267, 2009.
- PAVINATO, P. S.; AGUIAR, A.; CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Boro em arroz de terras altas cultivado em solução nutritiva. *Bragantia*, v. 68, n. 3, p. 743-751, 2009.
- R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Version 3.1.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, O. M. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. (Ed.). *Arroz irrigado no sul do Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. p. 259-297.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: SCBS, 2004. 400 p.
- 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, 2008. 222 p.
- TEDESCO M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, planta e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

Contribuição dos autores: Lizandro Ciciliano Tavares conduziu os experimentos e a escrita científica; Elisa Souza Lemes ajudou na condução dos experimentos, na revisão bibliográfica e na escrita científica; André Pich Brunes contribuiu com a condução dos experimentos, o planejamento e a escrita do artigo; Sandro de Oliveira ajudou na condução dos experimentos e na análise dos dados; André Oliveira de Mendonça ajudou na condução dos experimentos, na análise estatística, na escrita científica e na revisão ortográfica e gramatical do trabalho; Francisco Amaral Villela orientou o trabalho e fez as correções ortográficas, gramaticais e estatísticas.

Agradecimentos: À Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, que oportunizou a condução dos experimentos.

Fontes de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.