

IX congresso ibérico de
AGROENGENHARIA
IX congresso ibérico de
AGROINGENIERÍA

livro de atas · libro de actas

organização · organización



Sociedad Española de Agroingeniería

IX Congresso Ibérico de Agroengenharia

IX Congreso Ibérico de Agroingeniería

Livro de Atas

Libro de Actas

Título: IX Congresso Ibérico de Agroengenharia: Livro de Atas = IX Congreso Ibérico de Agroingeniería: Libro de Actas

Editores: José Carlos Barbosa Instituto Politécnico de Bragança, Portugal
António Castro Ribeiro Instituto Politécnico de Bragança, Portugal

Execução gráfica: Serviços de Imagem do Instituto Politécnico de Bragança

Edição: 1ª edição, 2018

Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal

ISBN 978-972-745-247-7

URI: <http://hdl.handle.net/10198/17982>

Por favor, use o seguinte formato para citação dos trabalhos apresentados nestas Atas:

Autor(s) (2018). Título. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

Please, use the following format for citation:

Author(s) (2018). Title. In: J. C. Barbosa, A. C. Ribeiro (Eds.) Atas do IX Congresso Ibérico de Agroengenharia. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, pp. xxx-xxx.

Comissão Organizadora / Comité Organizador

Presidente:

José Carlos Barbosa

Vice-presidente / Vicepresidente:

António Castro Ribeiro

Vogais / Vocales:

Arlindo Almeida

Maria José Miranda Arabolaza

Fátima Batista

José Luis García Fernández

João Verdial Andrade

Luis Leopoldo Silva

Carmen Rocamora Osorio

Álvaro César

Francisco Javier García Ramos

Organização / Organización

Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Bragança

Secção Especializada de Engenharia Rural - Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal

Sociedad Española de Agroingeniería

Patrocinadores e Apoios / Patrocinadores e Apoyos

EurAgEng - European Society for Agricultural Engineers

CIMO - Centro de Investigação de Montanha

Termolan - Isolamentos Termo-Acústicos, S.A. / Rocterm

Vórtice - Equipamentos Científicos, Lda.

Fundação Caixa CA - Crédito Agrícola

Câmara Municipal de Bragança

Comissão Científica / Comité Científico

Presidente: Vasco Fitas da Cruz – Universidade de Évora/ICAAM
Adélia de Sousa – Universidade de Évora/ICAAM
Alfredo Augusto de Carvalho Aires - UTAD / CITAB
Álvaro Ramírez Gómez – Universidad Politécnica de Madrid
Ana Cristina Santos – Universidade de Évora/ICAAM
Ana Isabel García García – Universidad Politécnica de Madrid
Ana Martí de Olives – Universidad Miguel Hernández
Andrés Martínez Rodríguez – Universidad de Valladolid
António Bento Dias – Universidade de Évora/ICAAM
Antonio Brasa Ramos – Universidad de Castilla – La Mancha
Antonio Castro Ribeiro – Instituto Politécnico de Bragança
Antonio Ruiz Canales – Universidad Miguel Hernández de Elche
Antonio Torregrosa Mira – Universidad Politécnica de Valencia
Arlindo Ferreira de Almeida – Instituto Politécnico de Bragança
Bernardo Martín Gorriz – Universidad Politécnica de Cartagena
Carmen Rocamora - Universidad Miguel Hernández
Coral Ortíz Sánchez – Universidad Politécnica de Valencia
Divanildo Outor Monteiro – UTAD
Elsa Cristina Dantas Ramalhosa ESA / IPB
Emilio Camacho Poyato – Universidad de Córdoba
Emilio Gil Moya – Universidad Politécnica de Cataluña
Enrique Ortí García – Universidad Politécnica de Valencia
Enrique Relea Gangas – Universidad de Valladolid
Esperanza Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid
Eugenio García Marí – Universidad Politécnica de Valencia
Fátima Baptista – Universidade de Évora/ICAAM
Fernando Augusto dos Santos – UTAD
Francisco Ayuga Téllez – Universidad Politécnica de Madrid
Francisco Javier García Ramos – Universidad de Zaragoza
Francisco Lúcio dos Santos – Universidade de Évora/ICAAM
Francisco Rodríguez Díaz – Universidad de Almería
Francisco Rovira Más- Universidad Politécnica de Valencia
Henrique Manuel da Fonseca Trindade – UTAD/CITAB
Ignacio Díaz-Maroto – Universidad de Santiago de Compostela.
Jaime Pires – CIMO- Centro de Investigação da Montanha, IPB
João Manuel Serrano – Universidade de Évora/ICAAM
José Alberto Pereira – Instituto Politécnico de Bragança
José Antonio Flores Yepes – Universidad Miguel Hernández de Elche
José Blasco Ivars – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
José Carlos Barbosa – Instituto Politécnico de Bragança
José Luís Garcia - Universidad Politécnica de Madrid

José Luis Torres Escribano – Universidad Pública de Navarra
José Manuel Gonçalves – Instituto Politécnico de Coimbra
José Maria Tarjuelo Martín-Benito – Universidad de Castilla-La Mancha
José Rafael Marques da Silva – Universidade de Évora/ICAAM
Luis Leopoldo Silva – Universidade de Évora/ICAAM
Luis Manuel Navas Gracia – Universidad de Valladolid
Luis Val Manterola – Universidad Politécnica de Valencia
Manuel Joaquim da Costa Minhoto – Instituto Politécnico de Bragança
Manuel Moya Ignacio – Universidad de Extremadura
Manuel Pérez Ruiz – Universidade de Sevilla
Margarida Maria Arrobas Rodrigues – ESA-IPB/CIMO
Margarita Ruiz Altisent – Universidad Politécnica de Madrid
María Ángeles Grande Ortíz – Universidad Politécnica de Madrid
Mariano Suarez de Cepeda Martínez – Universidad de Castilla-La Mancha
Martín Barrasa Rioja – Universidad de Santiago de Compostela
Miguel Ángel Moreno Hidalgo – Universidad de Castilla-La Mancha
Miguel Angel Muñoz García – Universidad Politécnica de Madrid
Montano Pérez Teruel – Universidad Politécnica de Valencia
Morris Villarroel Robinson – Universidad Politécnica de Madrid
Pablo Melgarejo Moreno – Universidad Miguel Hernández
Pablo Zarco Tejada – IAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ricardo Suay Cortés – INRA, Sophia-Antipolis, Francia
Rosa Penélope Gutiérrez Colomer – Universidad Politécnica de Valencia
Rosario Castro Abengoza – Universidad de León
Salvador Calvet Sanz – Universidad Politécnica de Valencia
Victoriano Martínez Álvarez – Universidad Politécnica de Cartagena

Aplicación de la fotogrametría métrica para el cálculo del porcentaje de cubierta vegetal del cultivo de lechuga	1225
José Cordero Gracia, Cesáreo Bas Vivancos, Francisco Javier Mesas Carrascosa, Antonio Ruiz Canales	
Área Temática: Agricultura de Montanha / Agricultura de Montaña	1234
Aparición de la agricultura en las montañas orientales gallegas versus declive del área cubierta por bosques de frondosas caducifolias autóctonas	1235
Ignacio J. Díaz-Maroto, María Consuelo Díaz-Maroto	
Planificación y gestión de los bosques de frondosas caducifolias en la montaña oriental gallega (Ancares-O Courel)	1241
Ignacio J. Díaz-Maroto, María Consuelo Díaz-Maroto	
Obtenção de conservantes e bioativos a partir de matrizes naturais e sua aplicação em produtos alimentares	1247
Caleja, Cristina; Dias, Maria Inês; Pires, Tânia C.S.P.; Roriz, Custódio; Barros, Lillian; Oliveira, M. Beatriz P.P.; Barreiro, Maria Filomena; Ferreira, Isabel C.F.R	
Análise da utilização das ferramentas FlorNEXt® e FlorNEXt Pro® e do seu possível impacto na gestão florestal do Nordeste Trasmontano	1257
Marcelo Fagundes, Luis Nunes, João C. Azevedo, Fernando Perez-Rodríguez	
Short-term response of the canopy arthropod community to fire in a Portuguese olive grove	1266
David Barreales, Sónia A.P. Santos, Márcio Capelo, José A. Pereira, Jacinto Benhadi-Marín	
Eficácia no controlo da erosão de medidas de gestão do solo baseadas em coberturas herbáceas: simulações para a viticultura do Douro, Portugal	1271
Tomás de Figueiredo, Zulimar Hernández, Felícia Fonseca, Jean Poesen	
Produtividade e azoto recuperado de diversas proteaginosas cultivadas em sequeiro e regadio no Nordeste de Portugal	1279
Rosalino Viegas, Margarida Arrobas, M Ângelo Rodrigues	
Resposta do trigo a sementes tratadas com zinco e aplicação de zinco ao solo	1290
Margarida Arrobas, Sandra Afonso, José Norberto P. Coutinho, Fernando Lidon, Ana Sofia Almeida, Fernando Reboredo, Maria Fernanda Pessoa, Paula Scotti, José Semedo, Isabel Pais, M. Ângelo Rodrigues	

Resposta do trigo a sementes tratadas com zinco e aplicação de zinco ao solo

Margarida Arrobas¹, Sandra Afonso¹, José Norberto P. Coutinho², Fernando Lidon³, Ana Sofia Almeida², Fernando Reboledo³, Maria Fernanda Pessoa³, Paula Scotti², José Semedo², Isabel Pais², Maria Manuela Silva⁴, José Cochicho Ramalho⁵, António Eduardo Leitão⁵, M. Ângelo Rodrigues^{1*}

¹CIMO – Instituto Politécnico de Bragança *Email: angelor@ipb.pt

²UIRGEMP – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

³DCT, GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

⁴ESEAG, GeoBioTec, Escola Superior de Educação Almeida Garrett

⁵ISA, LEAF, Universidade de Lisboa

Resumo

De acordo com a Organização Mundial de Saúde diarreia e pneumonia são duas importantes causas de mortalidade infantil que podem estar associadas a deficiência em zinco (Zn). O Zn é um elemento essencial para as plantas, onde exerce papel estrutural e é co-factor de mais de 300 enzimas. Na perspetiva da biofortificação, interessa saber se é possível aumentar a concentração em Zn nas partes comestíveis das plantas. Neste trabalho reportam-se resultados de um ensaio de biofortificação agronómica em que se estudou o efeito de sementes previamente biofortificadas e da aplicação de Zn ao solo em três datas e três doses em adubação de cobertura, nas cultivares 'Jordão', 'Roxo' e 'Nabão'. Nas fases vegetativas os tratamentos não influenciaram o crescimento das plantas. Na colheita, os parâmetros massa do hectolitro de grão, peso de 1000 grãos, produção de grão, produção de palha, produção total e índice de colheita mostraram pouca sensibilidade ao uso de sementes tratadas com Zn e à aplicação de Zn ao solo. De igual forma, a concentração de Zn no grão não foi significativamente influenciada pelos tratamentos. As maiores aplicações de Zn ao solo originaram concentrações médias de Zn no grão mais elevadas mas sem diferenças significativas para o tratamento menos fertilizado (42,4 e 37,7 mg kg⁻¹, respetivamente). A aplicação de Zn ao solo aumentou de forma significativa a concentração de Zn na palha (14,7 e 25,5 mg kg⁻¹, nas modalidades menos e mais fertilizadas). Neste estudo, a tentativa de biofortificação com Zn através de sementes tratadas e da aplicação de Zn ao solo teve um resultado modesto. Contudo, o resultado não põe em questão o potencial da biofortificação agronómica. A fraca resposta à aplicação de Zn terá sido devida à boa disponibilidade natural do elemento no solo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; biofortificação; componentes da produção

Wheat response to zinc treated seeds and soil zinc application

Abstract

According to the World Health Organization diarrhea and pneumonia are two important causes of infant mortality that may be associated with zinc (Zn) deficiency. Zn is also an essential element for plant growth. In plants it has a structural role and is a co-factor of more than 300 enzymes. From the perspective of biofortification, it is important to know whether it is possible to increase the concentration of Zn in the edible plant parts. This work reports the results of an agronomic biofortification trial in which the effect of biofortified seeds and the application of Zn to the soil (3 application dates and 3 rates) were studied in three wheat varieties, 'Jordão', 'Roxo' and 'Nabão'. In the vegetative phases, plant growth was not affected by the Zn treatments. At the harvest, the evaluated production parameters (mass of the hectoliter of grain, weight of 1000 grains, grain yield, straw production, total production and harvest index) showed little sensitivity to the use of seeds treated with Zn and to the application of Zn to the soil. Likewise, the concentration of Zn in the grain was not significantly influenced by the treatments. The higher soil Zn applications resulted in higher mean grain Zn concentrations but without significant differences to the other treatments (37.7 and 42.4 mg kg⁻¹ in the less and more fertilized treatments). The application of Zn to the soil significantly increased the

concentration of Zn in straw (14.7 and 25.5 mg kg⁻¹, in the less and more fertilized treatments). In this study, the attempt of Zn biofortification through treated seeds and the application of Zn to the soil had a modest result. However, the result does not question the potential of agronomic biofortification. The poor response to Zn application would have been due to the natural high availability of the element in this soil.

Key-words: *Triticum aestivum*; biofortification; grain yield components

1. Introdução

O zinco (Zn) é o segundo metal de transição mais abundante em organismos vivos. É um elemento essencial para plantas superiores e animais, sendo um elemento estrutural de proteínas e regulador da atividade de grande diversidade de enzimas, como oxidorreduções, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases (Palmgren et al., 2008; Alloway, 2009; Broadley et al., 2012; Cakmak and Hoffland, 2012; Dimkpa e Bindraban, 2016). A carência em Zn foi considerada na conferência *Consensus* de Copenhaga de 2008 como um problema prioritário na dieta na humanidade, a par da carência em vitamina A (Ajiboye et al., 2015). Estima-se que um terço da população humana esteja exposto a ingestão insuficiente de Zn (Alloway, 2009), originando perturbações diversas na saúde em particular no desenvolvimento físico e mental das crianças (Cakmak, 2009; Ajiboye et al., 2015).

Os cereais são um dos alimentos base da humanidade, com trigo e arroz a representarem mais de 2/5 da energia contida na dieta da população humana. Os cereais são contudo inerentemente pobres em Zn, causando carência do nutriente em vastas regiões do globo onde a dieta das populações está baseada nos cereais (Cakmak, 2008; Alloway, 2009).

Uma das formas de mitigação do problema da carência de Zn na dieta das populações é obter cereais mais ricos neste nutriente, usando estratégias de biofortificação. A biofortificação pode seguir duas vias: a biofortificação pelo melhoramento vegetal (biofortificação genética), seja por via clássica ou manipulação genética; e/ou a biofortificação agronómica, recorrendo à aplicação do micronutriente como fertilizante ao solo ou diretamente à planta, tentando-se, por estas vias, aumentar a concentração e biodisponibilidade de Zn no grão (Bouis et al., 2011; Bouis e Welch, 2010; Velu et al., 2014). A biofortificação genética será uma estratégia mais demorada, de médio/longo prazo, enquanto a biofortificação agronómica tem a vantagem de poder ser implementada em curto prazo (Cakmak, 2009; Cakmak et al., 2010; Valença et al., 2017).

Neste trabalho ensaiou-se biofortificação agronómica recorrendo-se à utilização de sementes biofortificadas com Zn no ano anterior e à aplicação de Zn ao solo em adubação de cobertura. As hipóteses colocadas ou objetivos principais do trabalho consistem na avaliação do efeito dos tratamentos no comportamento agronómico de três cultivares de trigo, designadamente na produção de grão, e na avaliação da distribuição de Zn na planta, em particular na concentração do elemento grão. Foram usadas cultivares de trigo obtidas pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária designadas de 'Jordão', 'Roxo' e 'Nabão'.

2. Material e métodos

Local do ensaio

O estudo foi conduzido em Bragança, NE Portugal. A região apresenta um clima mediterrânico com alguma influência atlântica. A precipitação e temperatura médias anuais da normal climatológica do período 1971-2000 são 758 mm e 12,3°C, respetivamente. A precipitação e a temperatura média registadas durante o estudo na estação meteorológica da Qta de Santa Apolónia, localizada a 30 m do ensaio, são apresentadas na figura 1. A experiência foi instalada num Cambissolo éutrico de textura franca (66% de areia, 18% limo e 16% argila), pH 5,8, teor de matéria orgânica 1,1% e teores de fósforo e potássio, extraídos pelo método Egnér-Riehm, 160 e 143 mg kg⁻¹, respetivamente.

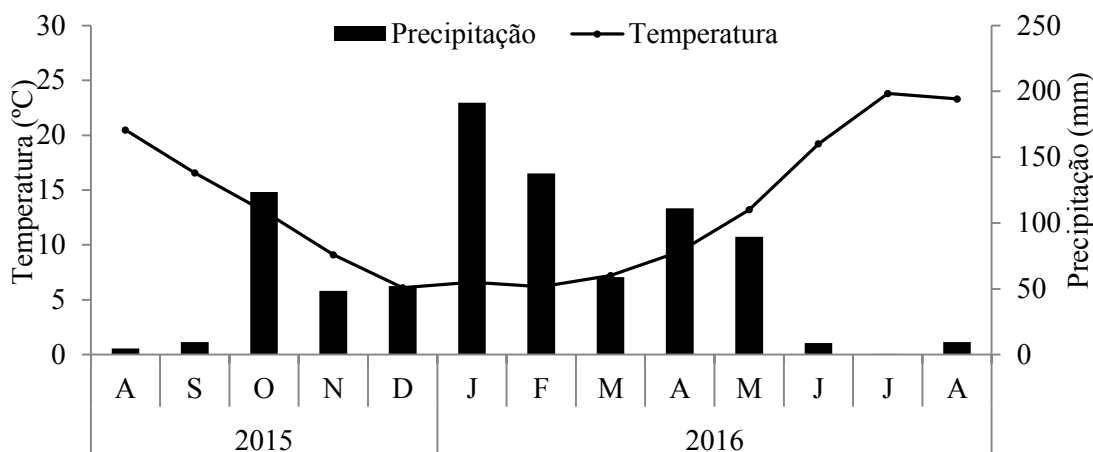


Figura 1. Valores de temperatura média do ar e precipitação mensais durante o período experimental registados na estação meteorológica da Qta de Santa Apolónia em Bragança.

Delineamento experimental

O ensaio foi organizado num fatorial (2 fatores) em blocos casualizados. Um dos fatores consistiu numa combinação de cultivares de trigo com semente tratada com Zn e sem tratamento, num total de cinco níveis de fator, designadamente cv. Nabão com semente tratada (NB1) e sem tratamento (NB0), cv. Roxo com semente tratada (RX1) e sem tratamento (RX0) e cv. Jordão sem tratamento à semente (J0). As sementes tratadas foram provenientes de searas fertilizadas com Zn no ano anterior. Um segundo tratamento consistiu na aplicação ao solo de três doses diferentes de Zn fracionadas em três datas, designadamente Zn45 (45, 15+15+15), Zn90 (90, 30+30+30) e Zn135 (135, 45+45+45) kg ha⁻¹ de ZnSO₄.7H₂O. As três aplicações foram efetuadas ao afilhamento (22-02-2016), espigamento (03-05-2016) e grão leitoso (15-06-2016). De cada tratamento foram incluídas três repetições (3 blocos). Cada unidade experimental consistiu em 6 linhas de plantas de 5 m de comprimento e uma distância na entrelinha de 20 cm. Todos os talhões ficaram separados lateralmente e no topo por corredores de passagem respetivamente de 50 cm e 100 cm.

Instalação e condução do ensaio

A instalação do ensaio iniciou-se com a preparação do solo, que consistiu na passagem de uma charrua de aivecas de 2 ferros, seguida de escarificação. Uma segunda escarificação com uma grade lisa acoplada melhorou o destorroamento superficial e deixou o terreno nivelado para a sementeira. Após a lavoura e antes da primeira escarificação foi aplicada a adubação de fundo, que consistiu na aplicação de 40, 80 e 80 kg ha⁻¹ de azoto, fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O), respetivamente. O azoto foi aplicado na forma de nitrato de amónio (34,5% N), o fósforo na forma de superfosfato (18% P₂O₅) e o potássio na forma de cloreto de potássio (60% K₂O).

Em 10 de novembro de 2015 procedeu-se à sementeira. Os regos foram abertos manualmente com sacho, sendo alinhados com uma estrutura de madeira e fio fixado de 20 em 20 cm de acordo com a distância na entrelinha previamente estabelecida. As sementes foram enterradas manualmente com sacho a 2 a 4 cm de profundidade.

Em 13 de novembro de 2015 foi aplicado o herbicida pré-emergência. Utilizou-se um produto à base de clortolurão [35,5 % (p/p)] e diflufenicão [2,2 % (p/p)]. Em 2 de maio de 2016 aplicou-se um fungicida à base tebuconazol (250 g/l), após se ter observado que as plantas apresentavam sintomas de ferrugem amarela (*Puccinia striiformis*) e oídio (*Erysiphe graminis*). Foram ainda aplicadas duas adubações de cobertura durante a estação de crescimento, em 19 de fevereiro e 22 de abril. Utilizou-se nitrato de amónio (34,5% de azoto) na dose de 40 kg N ha⁻¹ em cada aplicação.

Determinações

Nos estados vegetativos foram efetuados dois cortes para avaliação da biomassa e composição química elementar dos tecidos. Estes cortes foram efetuados em 19 de fevereiro e 22 de abril de 2016. Foi cortada uma área equivalente a 0,25 m². As amostras foram posteriormente conduzidas ao laboratório e secas em estufa de ventilação forçada, regulada a 70 °C.

Em 13 de julho de 2016 efetuou-se a colheita utilizando as quatro linhas internas dos talhões em área equivalente a 3,2 (0,8 m x 4,0 m) m². Após o corte procedeu-se à debulha, tendo sido pesados grão e palha após limpeza do grão. Em subamostras de grão foi determinada a relação massa/volume e a massa de 1000 grãos. Com base na massa do grão e da palha determinou-se o índice de colheita [massa do grão/(massa do grão + massa da palha)]. Subamostras de grão e de palha foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C para determinação da percentagem de humidade e para as análises químicas elementares.

Nas análises químicas elementares foram usados os métodos Kjeldahl (azoto), colorimetria (fósforo e boro), espectrometria de emissão de chama (potássio) e espectrofotometria de absorção atómica (cálcio, magnésio, cobre, ferro, Zn e manganês).

Análise de dados

Os resultados foram submetidos a análise de variância. Quando se observaram diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

3. Resultados

Na primeira data de amostragem, em 19 de fevereiro de 2016, as jovens plantas mostraram diferenças significativas na produção de biomassa (Figura 2). Contudo, o resultado parece ser devido às características da cultivar e menos ao efeito do tratamento à semente com Zn, uma vez que as médias de RX0 e RX1 e também de NB0 e NB1 não diferiram significativamente.

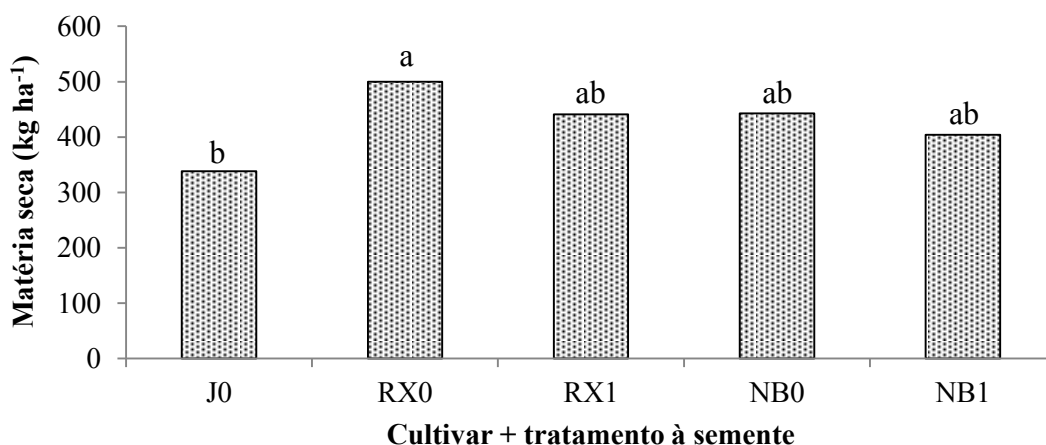


Figura 2. Produção de matéria seca na primeira amostragem em 19 de fevereiro de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas colunas representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A concentração de alguns nutrientes nos tecidos na primeira data de amostragem apresenta diferenças significativas entre tratamentos, como é o caso do Zn (quadro 1). Também aqui fica claro que as diferenças surgem devido às diferenças genéticas entre cultivares e não ao efeito do tratamento prévio às sementes. Esta observação resulta da comparação das modalidades RX0 com RX1 e NB0 com NB1 entre as quais não há diferenças significativas.

Quadro 1. Concentração de nutrientes nos tecidos na primeira amostragem em 19 de fevereiro de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

	Cultivar + tratamento à semente				
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1
N (g kg ⁻¹)	41.9 a	40.0 a	42.3 a	39.4 a	42.7 a
P (g kg ⁻¹)	3,6 a	2,9 b	3,0 b	2,9 b	3,0 b
K (g kg ⁻¹)	32.2 a	32.4 a	31.3 a	32.9 a	29.8 a
Ca (g kg ⁻¹)	4,7 ab	4,5 ab	5,1 ab	4,2 b	5,5 a
Mg (g kg ⁻¹)	2.6 a	2.5 a	2.5 a	2.3 a	2.7 a
B (mg kg ⁻¹)	3.2 a	2.5 a	3.0 a	2.7 a	2.8 a
Fe (mg kg ⁻¹)	806.8 a	770.4 a	831.5 a	775.5 a	868.4 a
Mn (mg kg ⁻¹)	35.1 a	37.4 a	33.9 a	38.8 a	30.5 a
Cu (mg kg ⁻¹)	9.6 a	9.3 a	10.2 a	9.1 a	10.0 a
Zn (mg kg ⁻¹)	25,4 b	27,1 ab	26,3 ab	28,5 a	27,2 ab

Na segunda data de amostragem, em abril de 2016, já tinha sido feita a primeira aplicação de Zn ao solo. Os resultados mostraram não haver diferenças significativas entre as modalidades de tratamento à semente nem entre a aplicação das diferentes doses de Zn ao solo (figura 3).

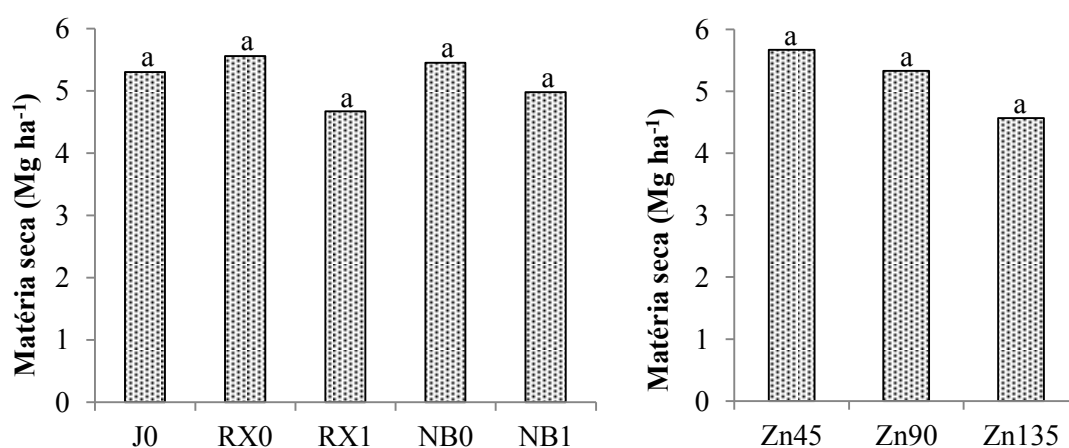


Figura 3. Produção de matéria seca na segunda amostragem em 22 de abril de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A concentração de nutrientes nos tecidos em 22 de abril de 2016 raramente apresentou diferenças significativas entre tratamentos, quer quando comparado o efeito do tratamento à semente + cultivares quando comparado o efeito das doses de Zn (quadro 2). A concentração de Zn também não diferiu significativamente entre tratamentos.

Quadro 2. Concentração de nutrientes nos tecidos na amostragem em 22 de abril de 2016 em função da cultivar + tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

	Cultivares + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg ⁻¹)	20,4 a	20,7 a	21,5 a	20,3 a	22,1 a	21,3 a	21,8 a	20,0 a
P (g kg ⁻¹)	2,8 a	2,6 ab	2,5 ab	2,4 b	2,5 ab	2,7 a	2,5 a	2,5 a
K (g kg ⁻¹)	29,1 a	26,9 a	30,2 a	26,2 a	30,8 a	28,6 a	28,0 a	29,4 a
Ca (g kg ⁻¹)	2,8 a	3,0 a	3,2 a	3,0 a	3,5 a	3,1 a	3,1 a	3,1 a
Mg (g kg ⁻¹)	1,5 a	1,6 a	1,7 a	1,7 a	1,7 a	1,6 a	1,7 a	1,6 a
B (mg kg ⁻¹)	2,6 a	2,4 a	2,7 a	2,5 a	2,5 a	2,5 a	2,6 a	2,5 a
Fe (mg kg ⁻¹)	143,2 a	174,3 a	178,3 a	217,7 a	167,7 a	162,3 a	197,6 a	168,6 a
Mn (mg kg ⁻¹)	27,1 b	32,1 a	28,9 ab	32,7 a	30,1 ab	29,9 ab	29,0 b	31,7 a
Cu (mg kg ⁻¹)	6,0 a	6,8 a	6,9 a	7,2 a	6,6 a	6,4 a	6,9 a	6,8 a
Zn (mg kg ⁻¹)	31,8 a	40,4 a	34,8 a	38,0 a	30,8 a	38,7 a	33,4 a	33,4 a

Na colheita, nem a semente tratada nem a aplicação de Zn ao solo influenciaram significativamente a massa específica do grão, um parâmetro importante associado à qualidade geral do grão (figura 4).

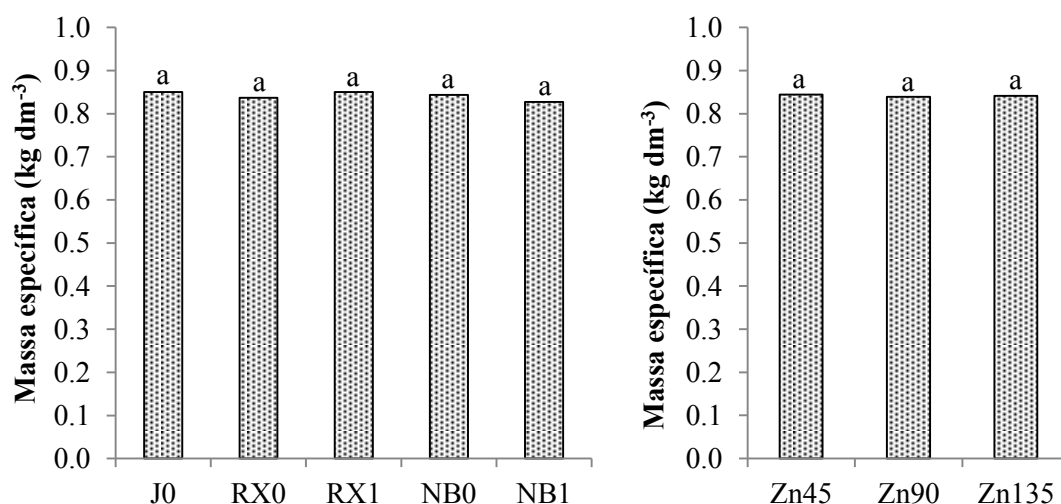


Figura 4. Massa específica do grão em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A massa de 1000 grãos revelou a existência de diferenças significativas entre tratamentos à semente e cultivares (figura 5). Fica a ideia de que a semente tratada no ano anterior com Zn reduziu a massa de 1000 grãos. Entre doses de Zn aplicadas ao solo não ocorreram diferenças significativas.

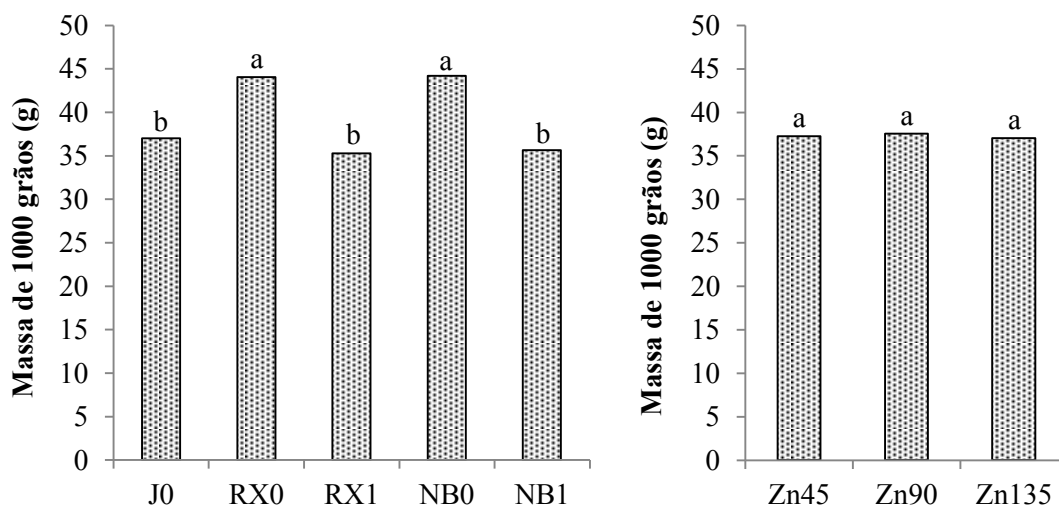


Figura 5. Massa de 1000 grãos em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O índice de colheita variou de forma significativa entre cultivares e tratamento à semente. As sementes tratadas com Zn no ano anterior parecem ter influenciado de forma positiva o índice de colheita (figura 6). Uma vez mais a aplicação de Zn ao solo não influenciou significativamente o parâmetro em análise.

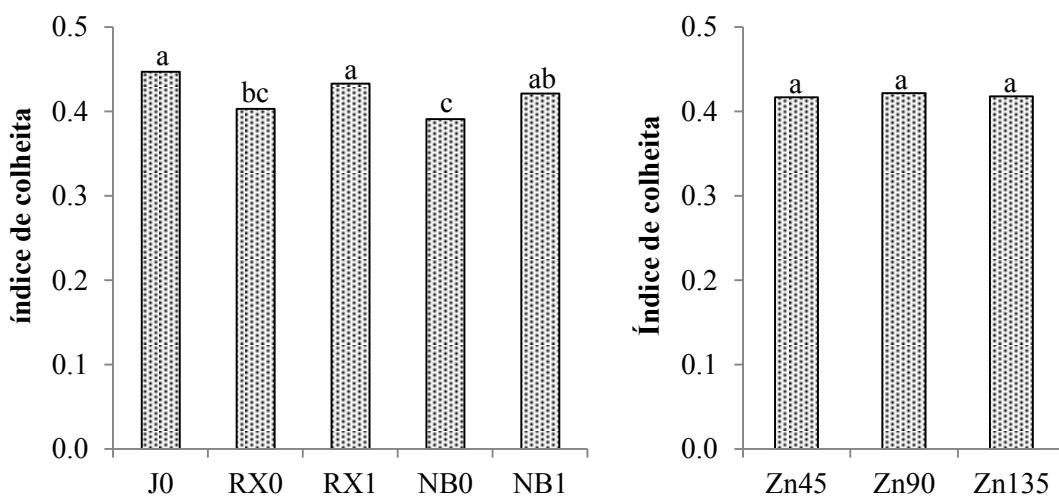


Figura 6. Índice de colheita em função da cultivar + tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras diferentes nas colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A produção de grão variou de forma significativa com a cultivar e tratamento à semente, embora o efeito pareça ser devido à cultivar, e terá sido marcado pelo bom desempenho da cultivar 'Jordão' (figura 7). A produção de palha e a produção total (grão + palha) não foram significativamente influenciados pela cultivar e tratamento à semente. A aplicação de Zn ao solo não influenciou a produção de grão, nem a produção de palha nem a produção total de biomassa (grão + palha).

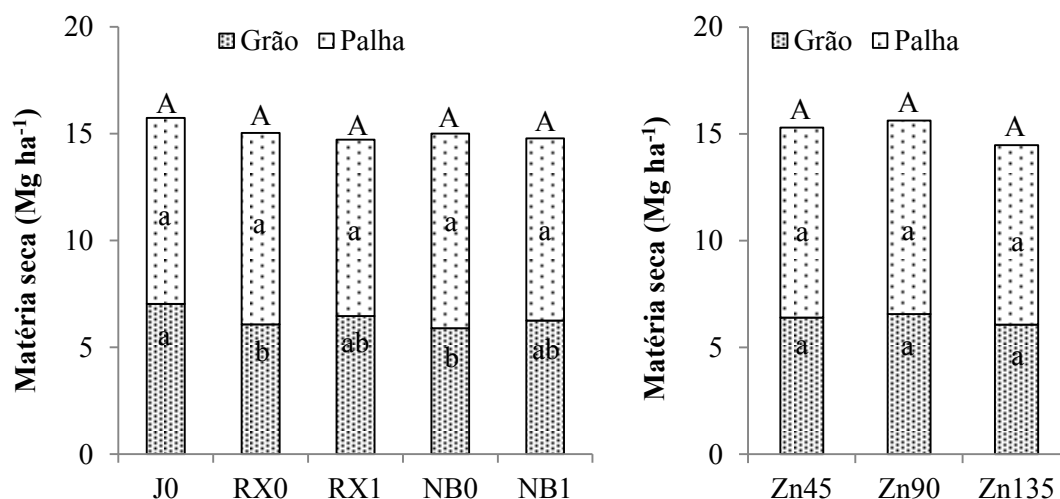


Figura 7. Produção de grão e palha em função da cultivar e tratamento à semente (esquerda) e da aplicação de Zn ao solo (direita). Letras minúsculas diferentes no interior das colunas, separadamente no grupo da esquerda e da direita, representam diferenças significativas no respetivo componente da produção pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$). Letras maiúsculas no topo das colunas são o resultado do teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$) para a matéria seca total (grão + palha).

A concentração de azoto no grão variou de forma significativa com a cultivar e tratamento à semente, embora o resultado tenha sido marcado pelos valores baixos da cultivar 'Jordão' (quadro 3). A cultivar e tratamento à semente influenciaram também de forma significativa a concentração de Zn no grão, parecendo também aqui o efeito ter sido marcado pelos valores baixos da cultivar 'Jordão'. A aplicação de Zn ao solo não influenciou de forma significativa a concentração no grão dos nutrientes avaliados. No caso do Zn, os valores médios aumentaram com a dose de Zn aplicada mas as diferenças não atingiram significado estatístico para $\alpha=0,05$.

Quadro 3. Concentração de nutrientes no grão na colheita em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

	Cultivar + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg ⁻¹)	19,0 d	20,9 ab	19,6 cd	22,1 a	20,3 bc	20,7 a	20,5 a	20,0 a
P (g kg ⁻¹)	2,7 a	2,6 a	2,5 a	2,6 a	2,6 a	2,5 a	2,8 a	2,6 a
K (g kg ⁻¹)	6,9 a	5,2 b	5,3 b	5,7 ab	6,0 ab	6,0 a	5,9 a	5,5 a
Ca (g kg ⁻¹)	0,6 a	0,4 a	0,6 a	0,5 a	0,6 a	0,5 a	0,6 a	0,5 a
Mg (g kg ⁻¹)	1,8 a	1,4 a	1,4 a	1,6 a	1,5 a	1,5 a	1,6 a	1,5 a
B (mg kg ⁻¹)	23,5 a	23,7 a	20,7 a	25,6 a	24,9 a	24,1 a	23,3 a	23,7 a
Fe (mg kg ⁻¹)	41,8 a	42,2 a	43,0 a	48,4 a	43,2 a	43,1 a	44,3 a	43,7 a
Mn (mg kg ⁻¹)	28,3 a	26,9 a	28,4 a	31,5 a	28,7 a	28,3 a	29,7 a	28,2 a
Cu (mg kg ⁻¹)	9,9 a	8,7 a	9,3 a	10,2 a	9,2 a	9,5 a	9,4 a	9,5 a
Zn (mg kg ⁻¹)	36,4 b	41,4 ab	38,7 ab	46,4 a	40,5 ab	37,7 a	41,4 a	42,4 a

Poucos nutrientes variaram de forma significativa a sua concentração na palha em função da cultivar e tratamento à semente. Quando aconteceu, o efeito pareceu dever-se à cultivar (quadro 4). A aplicação de Zn ao solo não influenciou a concentração de nenhum outro nutriente na palha com

exceção da concentração do próprio nutriente. Neste caso, a concentração de Zn na palha aumentou de forma significativa com a aplicação de Zn ao solo.

Quadro 4. Concentração de nutrientes na palha na colheita em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

	Cultivar + tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (g kg ⁻¹)	3,5 b	3,8 ab	4,2 ab	4,2 ab	4,5 a	4,2 a	3,9 a	4,1 a
P (g kg ⁻¹)	0,5 b	0,5 b	0,6 ab	0,5 ab	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a
K (g kg ⁻¹)	14,0 a	15,8 a	16,9 a	16,1 a	16,2a	16,4 a	15,0 a	16,0 a
Ca (g kg ⁻¹)	1,3 a	1,3 a	1,5 a	1,0 a	1,4 a	1,4 a	1,2 a	1,4 a
Mg (g kg ⁻¹)	0,9 a	0,8 a	0,9 a	0,7 a	1,0 a	0,8 a	0,8 a	1,0 a
B (mg kg ⁻¹)	1,8 a	1,4 a	1,4 a	1,6 a	1,9 a	1,7 a	1,5 a	1,7 a
Fe (mg kg ⁻¹)	73,8 a	79,4 a	76,6 a	79,5 a	97,1 a	78,6 a	78,4 a	86,9 a
Mn (mg kg ⁻¹)	13,7 b	20,3 ab	19,2 ab	21,8 ab	23,5 a	19,8 a	17,2 a	21,9 a
Cu (mg kg ⁻¹)	13,5 a	9,8 a	12,3 a	7,9 a	9,5 a	8,5 a	8,6 a	14,7 a
Zn (mg kg ⁻¹)	16,3 a	19,5 a	20,8 a	18,6 a	20,2 a	14,7 b	17,0 b	25,5 a

O efeito da cultivar e tratamento à semente sobre a exportação de Zn no total da biomassa aérea (grão + palha) não foi significativo para nenhum dos nutrientes (quadro 5). A aplicação de Zn ao solo influenciou de forma significativa a exportação de Zn na biomassa aérea, tendo sido os valores mais elevados registados nas modalidades mais fertilizadas.

Quadro 5. Exportação total de nutrientes (grão+palha) em função da cultivar e tratamento à semente. Letras diferentes nas linhas, para cada um dos fatores em estudo, representam diferenças significativas pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

	Cultivar e tratamento à semente					Dose de zinco		
	J0	RX0	RX1	NB0	NB1	Zn45	Zn90	Zn135
N (kg ha ⁻¹)	164,5 a	161,8 a	163,2 a	168,8 a	165,7 a	168,8 a	170,3 a	155,2 a
P (kg ha ⁻¹)	22,9 a	19,9 a	21,3 a	20,4 a	21,9 a	20,5 a	23,2 a	20,1 a
K (kg ha ⁻¹)	170,6 a	183,1 a	172,8 a	177,2 a	175,8 a	184,8 a	174,8 a	168,1 a
Ca (kg ha ⁻¹)	4,4 a	3,7 a	3,8 a	3,2 a	3,7 a	3,5 a	4,2 a	3,0 a
Mg (kg ha ⁻¹)	20,4 a	16,1 a	16,0 a	15,4 a	22,8 a	17,0 a	17,4 a	22,4 a
B (g ha ⁻¹)	31,9 a	26,8 a	25,8 a	30,2 a	32,2 a	30,7 a	29,2 a	28,3 a
Fe (g ha ⁻¹)	932,7 a	962,5 a	933,7 a	998,2 a	998,3 a	967,1 a	994,6 a	993,6 a
Mn (g ha ⁻¹)	319,4 a	344,9 a	353,4 a	379,9 a	379,9 a	355,8 a	354,7 a	356,0 a
Cu (g ha ⁻¹)	182,8 a	139,8 a	166,1 a	129,2 a	138,8 a	135,1 a	138,6 a	180,2 a
Zn (g ha ⁻¹)	395,1 a	425,6 a	432,4 a	430,1 a	426,3 a	370,6 b	425,2 ab	469,9 a

4. Discussão

A produção de biomassa nas fases vegetativas (19 de fevereiro e 2 de abril) diferiu entre variedades mas não em função dos tratamentos à semente e da aplicação de Zn ao solo. Nestas fases vegetativas, também a concentração de Zn nos tecidos diferiu entre cultivares mas não entre tratamentos com Zn. Na primeira data de amostragem não tinha sido efetuada ainda nenhuma

aplicação de Zn ao solo e na segunda data de amostragem tinha sido feita apenas uma aplicação com Zn ao solo de um total de três que se aplicaram durante a estação de crescimento. É necessário ter em conta que o Zn é um elemento essencial às plantas mas também um elemento tóxico se disponível em quantidades excessivas (Palmgren et al., 2008; Broadley et al., 2012). É provável que nesta experiência o Zn não se encontre nem numa nem noutra situação. Os teores de Zn nos tecidos na segunda data de amostragem estiveram compreendidos entre 31,8 e 40,4 mg kg⁻¹, sendo que as concentrações adequadas para trigo de inverno nesta fase estão definidas entre 20 e 70 mg kg⁻¹ (Bryson et al., 2014).

Alguns importantes componentes de produção como massa específica do grão, massa de 1000 grãos e índice de colheita mostraram pouca sensibilidade ao uso de sementes tratadas com Zn e à aplicação de Zn ao solo. A produção de grão variou significativamente com a cultivar mas também não diferiu entre tratamentos com Zn à semente e ao solo. Yilmaz et al. (1997) mostraram que diferentes tratamentos de Zn às sementes, ao solo e foliar aumentaram significativamente a produção de grão de quatro cultivares de trigo cultivadas num solo calcário severamente deficiente em Zn. Nos estudos de Yilmaz et al. (1997), as modalidades com aplicação de Zn ao solo foram as que originaram as produções mais elevadas. A produção de palha e a produção total de biomassa aérea também não diferiram com os tratamentos com Zn. Tal como no grão, Yilmaz et al. (1997) registaram aumentos de biomassa total na parte aérea com aplicações de Zn, tendo sido registados os valores mais elevados também com aplicações ao solo, comparativamente com tratamentos à semente e aplicações foliares.

A concentração de alguns importantes nutrientes no grão variou com a cultivar mas não com os tratamentos com Zn. Assim, a aplicação de Zn parece interferir pouco com a absorção de outros elementos. De igual forma, a concentração de Zn no grão foi significativamente influenciada pela cultivar mas não pelos tratamentos de Zn à semente e ao solo. As maiores aplicações de Zn ao solo originaram concentrações médias de Zn no grão mais elevadas mas as diferenças não tiveram significado estatístico (37,7 e 42,4 mg kg⁻¹, respetivamente nas modalidades menos e mais fertilizadas). Em solos com deficiência em Zn, Yilmaz et al. (1997) registaram valores de Zn no grão a variar entre 10 mg kg⁻¹ (testemunha) e 38 mg kg⁻¹ (modalidade com aplicação de Zn ao solo). Também em solos pobres em Zn, Cakmak et al. (2010) registaram valores médios de Zn de 11, 22 e 27 mg kg⁻¹, respetivamente nas modalidades testemunha, aplicação foliar e aplicação ao solo + foliar. Em solos não deficientes, duas aplicações foliares de Zn elevaram as concentrações foliares de 28 mg kg⁻¹ (testemunha) para 58 mg kg⁻¹. Ajiboye et al. (2015) registaram valores de Zn a variar entre 32 e 65 mg kg⁻¹ entre uma modalidade testemunha e outra com duas aplicações foliares de Zn, uma ao alongamento do caule e outra no estado leitoso do grão, na cultivar Adrana e 23 e 56 mg kg⁻¹ na cultivar Samsun. Assim, os valores elevados de Zn observados no estudo que se apresenta neste trabalho na modalidade menos fertilizada (37,7 mg kg⁻¹), explicam a fraca resposta do trigo ao Zn nas condições desta experiência.

A aplicação de Zn ao solo aumentou de forma significativa a concentração de Zn na palha. Os valores médios variaram entre 14,7 e 25,5 mg kg⁻¹ nas modalidades menos e mais fertilizadas. Yilmaz et al. (1997) registaram valores de concentração de Zn na palha a variar entre 10 e 82 mg kg⁻¹, respetivamente na modalidade testemunha e numa modalidade com aplicação de Zn ao solo e por via foliar.

Nas condições e cultivares usadas nesta experiência, as concentrações de Zn no grão foram mais elevadas que na palha, embora a palha tenha apresentado maior variação à aplicação de Zn. O Zn apresenta mobilidade no floema (Broadley et al., 2012; Ajiboye et al., 2015), o que facilita a sua restranslocação das folhas para o grão. Contudo, desde a raiz até ao grão surgem várias barreiras fisiológicas ao transporte do elemento o que pode reduzir a eficiência fisiológica de acumulação no grão. Desde que é absorvido até chegar ao grão, o Zn tem de sair duas vezes do simplasto, primeiro quando é carregado no xilema para ser transportado para as folhas e depois durante a senescência

das folhas e enchimento do grão quando é descarregado no floema para ser conduzido ao grão (Cakmak et al., 2010).

5. Conclusões

Nas condições desta experiência a aplicação de Zn não influenciou o desempenho da cultura. O efeito das cultivares foi sempre mais importante que o efeito dos tratamentos. O uso de sementes provenientes de plantas previamente enriquecidas em Zn não teve qualquer efeito nos resultados incluindo na concentração do nutriente no grão ou na palha, talvez porque quantitativamente seja pouco relevante. A aplicação de Zn ao solo aumentou os teores médios de Zn no grão mas sem diferenças significativas e aumentou de forma significativa os teores de Zn na palha. Os resultados mostraram que a tentativa de biofortificação com Zn através de sementes tratadas e da aplicação de Zn ao solo teve um resultado modesto. Contudo, o resultado não põe em questão o potencial da biofortificação agronómica. A fraca resposta à aplicação de Zn terá sido devida à boa disponibilidade natural de Zn neste solo. Deste trabalho ficou também uma pista para a biofortificação genética. Um dos aspetos importantes do melhoramento será a melhoria da eficiência fisiológica de uso do Zn pela planta, de forma a que este se acumule preferencialmente no grão e não na palha.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e ao FEDER, programa PT2020, pelo suporte financeiro ao CIMO (UID/AGR/00690/2013).

Referências

- Ajiboye, B., Cakmak, I., Paterson, D., de Jonge, M.D., Howard, D.L., Stacey, S.P., Torum, A.A., Aydin, N., McLaughlin, M.J. 2015. X-ray fluorescence microscopy of zinc localization in wheat grains biofortified through zinc applications at different growth stages under field conditions. *Plant Soil* 392: 357-370.
- Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ Geochem Health* 31: 537-548.
- Bouis, H. E., Welch, R.M. 2010. Biofortification – A sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Sci* 50:S-20-S32.
- Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V., Pfeiffer, W.H. 2011. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and nutrition Bulletin*, 32 (1): S31-S40.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. 2012. Functions of nutrients: micronutrients. In: Marschner P (ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, UK, pp 191–248
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 11-17.
- Cakmak, I. 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. *J Trace Elements in Medicine and Biology* 23: 281-289.
- Cakmak, I., Hoffland, E. 2012. Zinc for the improvement of crop production and human health. *Plant Soil* 361:1–2
- Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A.A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., Horst, W.J. 2010. *J Agric Food Chem* 58: 9092-9102.
- Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S. 2016. Biofortification of micronutrients for efficient agronomic production: a Review. *Agron Sustain Dev* 36: 7

- Bryson, G.M.; Mills, H.A.; Sasseville, D.N.; Jones, J.B.Jr.; Barker, A.V. 2014. *Plant Analysis Handbook III. A guide to sampling, preparation, analysis, interpretation and use of agronomic and horticultural crop plant tissue*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, GA.
- Palmgren, M.G., Clemens, S., Williams, L.E., Kramer, U., Borg, S., Schjørring, J.K., Sanders, D. 2008. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends in Plant Science* 13: 464-473.
- Valença, A.W., Bake, A, Brouwer, I.D., Giller, K.E. 2017. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security* 12: 8-14.
- Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y. Singh, R.P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *J Cereal Sci* 59: 365-372.
- Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S.A., Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 20(4&5): 461-471.