

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Pós-graduação em Agronomia – Sistemas de Produção

LAIS MENEGHINI NOGUEIRA

**DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE BORO E ADUBAÇÃO COM
ZINCO NA CULTURA DO MILHO**

Ilha Solteira

2016

LAIS MENEGHINI NOGUEIRA

Engenheira Agrônoma

**DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE BORO E ADUBAÇÃO COM
ZINCO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia, Unesp – Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto
Teixeira Filho

Orientador

Dr. Marcio Mahmoud Megda

Coorientador

Ilha Solteira

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N778d Nogueira, Lais Meneghini.
Doses e modos de aplicação de boro e adubação com zinco na cultura do milho / Lais Meneghini Nogueira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
67 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2016

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Co-orientador: Marcio Mahmoud Megda

Inclui bibliografia

1. Zea mays L. 2. Adubação boratada. 3. Micronutrientes. 4. Adubação foliar. 5. Efeito residual. 6. Teores de nutrientes.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE BORO E ADUBAÇÃO COM ZINCO NA CULTURA DO MILHO

AUTORA: LAIS MENEGHINI NOGUEIRA
ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
CO-ORIENTADOR: MARCIO MAHMOUD MEGDA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SALATIER BUZETTI
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

DOCENTE SUPERIOR CLEITON GREDSON SABIN BENETT
Departamento de Engenharia Agrícola / Instituto Federal Goiano

Ilha Solteira, 11 de março de 2016

DEDICO...

Aos meus pais, Luiz Carlos Nogueira e Neli Antonia Meneghini Nogueira, pelo incentivo desde o início, pela influência que me fizeram escolher a profissão que tanto admiro e amo e pelo apoio sempre que precisei.

Ao meu irmão Manoel Meneghini Nogueira, que mesmo longe, me ensinou e apoiou nas minhas escolhas.

À minha família inteira, sem nunca esquecer aqueles que já não estão mais fisicamente, mas vive em meu coração, pelo apoio, confiança e amor que depositaram em mim.

OFEREÇO

Às minhas amigas e irmãs Josiane Aparecida Viveiros de Oliveira, Milena Rodrigues, Tayene Mello, Eduarda Ferraz e Mariane Forte pelos anos de convivência e apoio, mesmo cada uma estando em um canto.

A Jonathan de Oliveira dos Santos, o qual tenho imensa felicidade em ter como amigo e companheiro sempre ao meu lado.

Amo todos vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre comigo, me dando saúde, proteção e oportunidades durante esses 26 anos de vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, por proporcionar um excelente aprendizado e nos acolher como filhos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela dedicação, auxílio, paciência, incentivo e ensinamentos transmitidos durante todo trabalho realizado. Sempre me lembrarei de você pela grande influência que teve durante os melhores anos da minha vida. Meu muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Salatiér Buzetti, por transmitir conhecimento, confiança, incentivo. Agradeço a forma como me acolheu e me tratou tão bem que às vezes me esquecia de que você era um professor e acabou se tornando um grande amigo, o qual tenho grande admiração.

Aos professores do curso de Agronomia da UNESP - Ilha Solteira, pelo empenho em melhorar constantemente a qualidade de ensino.

Aos colegas de estágio, e acima de tudo meus amigos, Fernando S. Galindo, Mariana Gaioto e José Mateus, os quais ajudaram na instalação e condução desse experimento e de outros realizados na FEPE. Obrigado pela amizade, companheirismo e apoio sempre.

Aos meus amigos Rodrigo (Roia), Lucas (Fartura), Sillas (Sucuri), Leon e Heitor pelo apoio dado sempre que precisei.

Ao técnico e amigo Marcelo Rinaldi da Silva, do laboratório de nutrição de plantas da UNESP - Ilha Solteira pela ajuda e suporte dados no desenvolvimento deste experimento, e pela boa vontade.

Aos amigos Marcio Mahmoud Megda e Elisângela Dupas pela grande ajuda e apoio sempre que precisei e principalmente pela paciência e ensinamento que foram de grande valia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudos e apoio financeiro.

RESUMO

As deficiências de boro (B) e zinco (Zn) comumente ocorrem em solos de Cerrado. Por isso, para obtenção de maiores produtividades de milho é necessário entender melhor a interação desses elementos, como se existe efeito sinérgico ou antagônico na absorção destes micronutrientes do solo, tal como o modo de aplicação mais vantajoso (via solo ou foliar) e o efeito residual destas adubações. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses de B aplicadas via solo e via foliar, ambos com ou sem adubação com Zn no solo sobre o estado nutricional, componentes de produção e produtividade do milho primavera/verão e o residual destas adubações via solo no milho outonal, em solo de Cerrado com baixo teor de boro. O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distrófico em sistema plantio direto. O delineamento experimental dos dois experimentos foi em blocos ao acaso com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5, sendo: com ou sem adubação via solo com 2 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de sulfato de zinco aplicados na ocasião da semeadura do milho primavera/verão; e 5 doses de B (0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹ na semeadura do milho primavera/verão (experimento 1) ou 0, 170, 340, 510 e 680 g ha⁻¹, que correspondem respectivamente, 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1% de ácido bórico na calda de pulverização aplicada via foliar na fase de pré-pendoamento do milho (experimento II). Após a colheita do milho primavera/verão, avaliou-se o residual destes tratamentos aplicados via solo no cultivo do milho outonal e foram aplicados novamente as doses de B via foliar no milho outonal, conforme mencionado anteriormente. A aplicação de Zn no solo propicia maiores teores de Zn no solo e B foliar no milho primavera/verão, independentemente da dose de B aplicada via foliar. Doses crescentes de B via foliar aumentam o teor de Zn nos grãos do milho primavera/verão, apenas quando não se adubou com Zn, e o teor de B foliar do milho outonal. A adubação com zinco no solo e o incremento das doses de boro tanto via solo como foliar não influenciam os componentes de produção e produtividade de grãos de milho primavera/verão e outonal, em solo argiloso de Cerrado com baixo teor de B.

Palavras chave: *Zea mays* L. Adubação boratada. Micronutrientes. Adubação foliar. Efeito residual e teores de nutrientes.

ABSTRACT

Boron deficiencies (B) and zinc (Zn) commonly occur in Cerrado soils. Thus, for obtaining higher maize yields is necessary to better understand the interaction of these elements, as if exists synergistic or antagonistic effect on the absorption of these micronutrients in soil, such as the most advantageous mode of application (by soil or foliar) and the effect of these residual fertilizations. Therefore, it was aimed to evaluate the effect of B rates applied to soil (experiment I) and foliar application (experiment II), both with or without Zn fertilization in the soil on nutritional status, yield components and grains yield of spring/summer maize and the residual of these fertilizations in the soil in the autumnal maize, in Cerrado soil with low boron content. The experiment was conducted in an Oxisol under no-tillage system. The experimental design of the two experiments was a randomized block with four replications, in a factorial 2 x 5, being: with or without soil fertilization with 2 kg ha⁻¹ Zn, in the form of zinc sulfate applied on the occasion of sowing of spring/summer maize; and 5 doses of B (0, 1, 2, 3 and 4 kg ha⁻¹ applied at sowing of spring/summer maize (experiment 1) or 0, 170, 340, 510 and 680 g ha⁻¹, which correspond respectively, 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1% of boric acid in the spray solution applied by foliar in pre-tasseling of maize (experiment II)). After harvesting of the spring/summer maize was evaluated the residual of these treatments applied to the soil in the cultivation of autumnal maize and were applied again the B rates as foliar application in autumnal maize, as mentioned earlier. The application of Zn in soil propitiates higher contents of Zn in soil and B foliar in spring/summer maize, regardless of B rate applied as foliar application. Increasing B rates, as foliar application increase the Zn content in the grains of spring/summer maize, only without Zn fertilization, and the B leaf content of autumnal corn. The zinc fertilization in the soil and increasing boron rates in the soil and by foliar application not influence the production components and grains yield of spring/summer and autumnal maize, in clay soil of the Cerrado with low B content.

Keywords: *Zea mays* L. Borated fertilizer. Micronutrients. Foliar fertilization. Residual effect and nutrients contents.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperaturas máxima, média e mínima obtidas durante os experimentos de milho junto à estação meteorológica situada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP. Período de dezembro de 2013 a março de 2014.28
- Figura 2.** Precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperaturas máxima, média e mínima obtidas durante os experimentos de milho junto à estação meteorológica situada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP. Período de maio a setembro de 2014.29
- Figura 3.** Bomba costal de CO₂ pressurizada com quatro pontas de pulverização utilizada na adubação foliar do milho primavera/verão 2013.31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho primavera/verão em função de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.	34
Tabela 2. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no milho outonal em função do residual de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2014.	35
Tabela 3. Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de cálcio e magnésio do milho outonal. Selvíria – MS, 2014.....	36
Tabela 4. Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho primavera/verão em função de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco no. Selvíria – MS, 2013/14.....	37
Tabela 5. Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de boro e zinco do milho primavera/verão. Selvíria – MS, 2013/14.....	38
Tabela 6. Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho outonal em função do residual de doses de boro via solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.	39
Tabela 7. Desdobramento da interação entre o residual de doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de boro e cobre do milho outonal. Selvíria – MS, 2014.	40
Tabela 8. Altura de planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.	41

Tabela 9. Altura de planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho outonal em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.	42
Tabela 10. Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.	43
Tabela 11. Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho outonal, em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.	44
Tabela 12. Teores de boro (B) e zinco (Zn) nos grãos de milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas via solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.	45
Tabela 13. Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.	46
Tabela 14. Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho outonal, em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.	47
Tabela 15. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho primavera/verão em função de doses de boro via foliar, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2013/14.	48

Tabela 16. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho outonal em função de doses de boro via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.	48
Tabela 17. Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho primavera/verão em função de doses de boro via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.....	50
Tabela 18. Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho outonal em função de doses de boro via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.....	50
Tabela 19. Altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/14.....	51
Tabela 20. Altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.....	52
Tabela 21. Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.	53
Tabela 22. Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.	54

Tabela 23. Teores de boro (B) e zinco (Zn) nos grãos de milho primavera /verão em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.	55
Tabela 24. Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas via foliar e adubação com zinco no solo para o teor de zinco (Zn) nos grãos de milho primavera /verão. Selvíria – MS, 2013/2014.	55
Tabela 25. Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho primavera /verão, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.	57
Tabela 26. Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Cultura do milho	17
2.2	Boro.....	18
2.2.1	Boro no solo.....	18
2.2.2	Nutrição e adubação com boro.....	18
2.3	Zinco	22
2.3.1	Zinco no solo	22
2.3.2	Nutrição e adubação com zinco.....	23
2.4	Interação boro e zinco.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Local e histórico de manejo	27
3.2	Tratamentos e delineamentos experimentais.....	30
3.3	Execução do experimento	30
3.4	Avaliações realizadas	32
3.5	Análise estatística	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Experimento I	34
4.2	Experimento II.....	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
5.1	Experimento I	58
5.2	Experimento II.....	58
6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passa por uma fase em que a produtividade, a eficiência, a lucratividade e a sustentabilidade dos processos produtivos são extremamente relevantes. Neste contexto, o fornecimento adequado de nutrientes à cultura do milho (momento correto, dose adequada, material genético, clima e solo, entre outros) é, incontestavelmente, fundamental para o ótimo crescimento e obtenção de altas produtividades.

Conforme Fancelli e Dourado Neto (2000), dentre as estratégias básicas relacionadas à obtenção de produtividade elevada e lucrativa na cultura de milho, podem ser destacadas a escolha da época correta de semeadura para cada região, o uso de genótipos adequados para as condições do ambiente, a garantia do equilíbrio e do fornecimento de nutrientes em doses adequadas, dentre outras.

As deficiências nutricionais de micronutrientes mais frequentes na cultura do milho estão relacionadas ao boro (B) e zinco (Zn). As principais causas são a baixa fertilidade de alguns solos, como os da região de Cerrado, a exportação pelas colheitas, além da aplicação de altas doses de adubos fosfatados e da não incorporação do calcário em sistema plantio direto (supercalagem) contribuem para a maior insolubilização de Zn.

De forma geral, as respostas da cultura do milho à adubação com boro não são consistentes. Por isso, muitas vezes a adubação boratada não é realizada, mesmo em solos deficientes neste nutriente, ou quando realizada as doses podem ser inadequadas para os híbridos modernos, em função da faixa entre a deficiência e a fitotoxidez de boro na planta ser considerada muito estreita. Porém, segundo Chapman et al. (1997), na literatura científica existem trabalhos que colocam em dúvida essa teoria, mostrando que não há evidência que suporte a ideia da faixa estreita entre deficiência e toxidez de B no solo, indicando assim, a possibilidade de se testar doses de B mais elevadas para cultura do milho.

Para complementar a adubação via solo, a prática via foliar vem se desenvolvendo intensamente nos últimos anos em várias culturas de interesse econômico. O uso de micronutrientes via foliar, tem aumentando continuamente em função da dinâmica dos macronutrientes e micronutrientes presentes no solo e se disponíveis para a planta ou não, assim como, do aumento nos procedimentos de diagnósticos das culturas e seus cultivares (MOCELLIN, 2004).

A interação B e Zn foi claramente comprovada pela demonstração desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos da planta (HOSSEINI et al., 2007). As interações nutricionais interferem na composição mineral da planta podendo um elemento

estimular ou inibir a absorção de outros (MENGEL; KIRKBY, 2001). Yamada (2000) relatou que o B e Zn são essenciais para o funcionamento ótimo da ATPase (enzima essencial para o aproveitamento da energia metabólica – ATP) e que na ausência de B pode haver redução na eficiência de Zn na planta, e vice-versa. Portanto, entender melhor quando ocorre interação sinérgica destes dois micronutrientes pode fornecer resultados importantes, e consequentemente, aumentar o crescimento e produtividade vegetal. Assim há necessidade de se verificar também o efeito residual das adubações com B e Zn em conjunto no cultivo do milho outonal.

Ressalta-se ainda que novos híbridos de milho geralmente são mais produtivos e exigentes em nutrientes. Considerando que deficiências de B e Zn são comuns em solos de Cerrado, ainda mais onde são aplicadas altas doses de fósforo que induz a deficiência de Zn, e como, ainda é discutível se existe efeito sinérgico ou antagônico da interação B e Zn na absorção destes micronutrientes do solo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar em dois experimentos distintos, o efeito de doses de boro aplicadas via solo e via foliar, ambos com ou sem adubação com zinco no solo sobre o estado nutricional, componentes de produção e produtividade do milho primavera/verão e o residual destas adubações via solo no milho outonal, em solo de Cerrado com baixo teor de boro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta monocotiledônea que pertence à família Poaceae. Segundo Fancelli e Dourado Neto (2004), é uma espécie anual, estival, cespitosa, ereta, com baixo perfilhamento, monóico-monoclina, classificada no grupo das plantas C-4, com ampla adaptação a diferentes condições de ambiente. As espiguetas masculinas são reunidas em espigas verticiladas terminais. O grão do milho é um fruto, denominado cariopse, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dito. As espiguetas femininas se soldam num eixo comum em que várias ráquis estão reunidas, conhecido como sabugo, protegidas por brácteas que é a espiga de milho. A flor feminina apresenta um único estigma (NUNES, 2008).

De acordo com Ritchie, Hanway e Benson (2003), as fases vegetativas (V) e reprodutivas (R) são divididas em estádios: VE (emergência); V1 (planta com a primeira folha desenvolvida); V2 (segunda folha desenvolvida); V3 (terceira folha desenvolvida); V4 (quarta folha desenvolvida); V(n) (onde “n” igual ao número da folha desenvolvida); VT (emissão da inflorescência masculina); R1 (emissão da inflorescência feminina); R2 (grãos bolha d’água); R3 (grãos leitosos); R4 (grãos pastosos); R5 (formação de dente) e R6 (maturidade fisiológica).

Constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo, por apresentar considerado potencial produtivo, composição química, valor nutricional e multiplicidade de aplicações (matéria-prima para agroindústrias, alimentação humana e animal), assume relevante papel socioeconômico (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

O milho foi a commodity mais produzida no mundo com 992 milhões de toneladas segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2015). Seus maiores produtores mundiais são Estados Unidos e China, respondendo respectivamente por 37 e 22% da produção, seguidos do Brasil e Índia. Somados os quatro países, correspondem por 68% da produção mundial.

Na Região Centro-Oeste houve uma forte tendência de redução da área de milho primavera/verão decorrente da substituição do plantio para a soja, cujos preços encontram-se mais atrativos no mercado. Já no milho outonal, as razões para a diminuição da área de milho se deve primeiramente ao atraso do plantio da soja na Região Centro-Oeste, particularmente

no Mato Grosso, maior produtor nacional e o encurtamento na janela do clima que essa situação poderá provocar, reduzindo a área plantada e/ou aumentando o risco da lavoura. A segunda relaciona-se com o que ocorreu no Paraná, segundo maior produtor nacional do cereal de segunda safra. O estado foi beneficiado por chuvas abundantes no início da atual temporada 2015/16, e em função desse quadro os produtores acreditam poder ganhar aproximadamente 15 dias na janela de plantio do milho, criando expectativas positivas para se alcançar bons níveis de produtividade nesta temporada. Já em relação a produção nacional de milho primavera/verão (2014/15) totalizou 30 milhões de toneladas, representando um decréscimo de 4,4% em relação ao ocorrido na temporada passada. A consolidação da produção brasileira do milho, reunindo as duas primavera/verões, aponta agora para quase 85 milhões toneladas, representando um acréscimo de 5,8% em relação à produção passada, que atingiu aproximadamente, 80 milhões toneladas (CONAB, 2015).

Por suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo, já tendo sido obtida produtividade superior a 16 t ha^{-1} em concursos de produtividade de milho conduzidos por órgãos de assistência técnica e extensão rural e por empresas produtoras de sementes. No entanto, o nível médio nacional de produtividade é muito baixo, em torno de 4.720 kg ha^{-1} , segundo a primavera/verão 14/15, demonstrando que os diferentes sistemas de produção de milho deverão ser ainda bastante aprimorados para se obter aumento na produtividade e na rentabilidade que a cultura pode proporcionar (BARBOSA, 2007).

De modo geral, a baixa produtividade das lavouras de milho no Brasil ocorre em função de fatores ligados às condições de precipitação pluvial, temperatura do ar, radiação solar, arranjo espacial de plantas, fertilidade do solo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e dentre outras. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado da calagem e adubações, e também à alta capacidade extrativa do milho colhido para produção de grãos e forragem.

2.2 Boro

2.2.1 Boro no solo

O boro (B) é considerado um micronutriente e sua deficiência em plantas, juntamente com a de zinco, são as mais frequentes no Brasil.

O B ocorre sob cinco formas no solo: minerais primários como turmalina e micas ricas em B; minerais secundários, principalmente dentro da estrutura das argilas; adsorvido às

argilas, na superfície de hidróxidos e na matéria orgânica; em solução como ácido bórico e como borato; bem como na matéria orgânica e biomassa microbiana (SHORROCKS, 1997). Goldberg (1997) considerou a química do B muito simples, pois não sofre reações de redução-oxidação ou de volatilização no solo.

Cruz, Nakamura e Ferreira (1987) citam que quando se adiciona boro ao solo parte permanece na solução do solo – disponível para absorção pelas plantas na forma de ácido bórico – e parte é adsorvida à fase sólida. Goldberg (1997) argumentou que a absorção de boro pelas plantas depende da sua concentração na solução do solo; e que essa, por sua vez, depende das reações de adsorção entre o boro e seus adsorventes no solo, tais como os óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, a matéria orgânica, o hidróxido de magnésio e o carbonato de cálcio.

Os principais fatores que interferem na disponibilidade do B presente no solo para as plantas, segundo Goldberg (1997) seriam: a) o pH da solução do solo (com o aumento do valor do pH da solução do solo até próximo de pH 7,0, maior é a disponibilidade do B para as plantas); b) a textura do solo (quanto mais arenoso o solo, menor é a disponibilidade do nutriente); c) a umidade do solo (a disponibilidade de B geralmente diminui com a redução da umidade do solo); d) a temperatura (ocorre aumento na adsorção de B com o aumento da temperatura, entretanto, isso pode ser devido à interação entre o efeito da temperatura com a umidade do solo); e) a matéria orgânica (quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior é a reserva que pode disponibilizar B para as plantas).

Fancelli e Dourado Neto (2000) indicaram como ideal para a cultura do milho teores de boro no solo entre 0,1 e 0,3 mg dm⁻³. Enquanto que Abreu (1996) cita que os teores ideais de boro no solo (extraído pelo método de água quente) estão situados entre 0,20 e 0,60 mg dm⁻³.

2.2.2 Nutrição e adubação com boro

O boro é absorvido pelas plantas na forma de ácido bórico ou de borato, sendo que é um elemento considerado imóvel no floema para maioria das plantas (MENGEL; KIRKBY, 1987), exceto para as espécies que produzem quantidades significativas de polióis, como sorbitol, manitol e dulcitol, como ocorre em membros das famílias Rosaceae, Rubiaceae e Celastraceae (HU et al., 1997). Nestes casos, o B não é retranslocável para as partes mais jovens da planta, locais onde normalmente aparecem os sintomas de deficiência deste nutriente.

Na planta de milho, o boro é transportado pelo xilema, através do fluxo transpiratório, até um determinado órgão da planta onde permanece imóvel, não se redistribuindo para outras partes. Yamada e Lopes (1998) citaram que a imobilidade do boro em plantas de milho é comprovada pela ocorrência de teores mais altos de boro em folhas velhas, quando comparadas a folhas mais jovens, principalmente em situações de deficiência do elemento na planta. Assim, os referidos autores sugerem que a aplicação de boro para a cultura de milho deve ser efetuada no solo para que seja plenamente aproveitado pela planta, uma vez que, se aplicado via foliar, não será retranslocado do local de aplicação e não suprirá as exigências dos tecidos a serem formados (tecidos jovens), podendo ser necessárias várias aplicações foliares.

O B está relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas tais como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; lignificação; estrutura da parede celular (MARSCHNER, 1995), auxiliando o cálcio na deposição e formação de pectatos que formam parte dessas estruturas (SANTOS et al., 1990); respiração; metabolismos de carboidratos; metabolismos de RNA; metabolismos de ácido indolacético; metabolismos de compostos fenólicos; metabolismo de ascorbato; fixação de nitrogênio; e diminuição da toxidez de alumínio, entretanto, pode ser que alguns dos efeitos nos processos fisiológicos em que a ausência de B esteja relacionada não ocorram de forma direta e sim sejam efeitos secundários ou “efeitos cascatas”. Ainda segundo Malavolta, Boaretto e Paulino (1991), esse nutriente tem importante papel na organização e no funcionamento de membranas (atividade da ATPase e absorção iônica), no florescimento, na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, bem como atua no metabolismo de auxinas (ácido indol acético, por exemplo), fenóis e lignificação da parede celular. De acordo Yamada (2000), o boro é considerado elemento fundamental para o desenvolvimento radicular das plantas de milho, sendo necessária a sua presença no solo, em teores adequados, para que o sistema radicular se desenvolva plenamente.

Com relação aos teores de boro nas folhas de milho, Malavolta, Vitti e Oliveira (1989) citaram que o ideal é que as mesmas apresentem entre 15 e 20 mg kg⁻¹ de massa seca (MS) por ocasião do florescimento. Quanto à necessidade de boro pela cultura de milho, Malavolta, Boaretto e Paulino (1991) constataram que a cada tonelada de grãos de milho produzida são exportados 13 gramas de boro. De acordo com Yamada e Lopes (1998), geralmente, as doses de boro recomendadas para a cultura de milho são de 0,5 a 1,0 kg ha⁻¹.

O efeito da deficiência de boro mais comumente citado na literatura é o decréscimo no alongamento e menor expansão das folhas novas. A explicação mais plausível é a perda da

plasticidade celular, segundo Hu e Brown (1994). Em consequência da diminuição da área foliar e de alterações nos constituintes das folhas, em casos de deficiência de boro, a fotossíntese reduziria indiretamente (DELL; HUANG, 1997). Além disso, a deficiência de B promove rápido endurecimento da parede celular, pois o mesmo formando complexos com carboidratos controla a disposição de micelas de celulose, o que não permite o aumento normal no volume da célula (MALAVOLTA, 1980). O alongamento da planta é também prejudicado pelo fato que o B tem efeito direto na formação de vasos xilemáticos (crescimento e diferenciação). Cabe ressaltar que concentrações de B acima do normal protegem o crescimento radicular em situações em que altos teores de Al normalmente seriam inibidores (LENOBLE; BLEVINS; MILES; 2000).

Segundo Gupta (1993), a concentração de boro nos tecidos das plantas pode ser relacionada a diversos fatores que incluem variação genotípica, estágio de desenvolvimento e fatores ambientais. A deficiência de boro é mais importante para o desenvolvimento reprodutivo que para o crescimento vegetativo (DELL; HUANG, 1997). Em condições de severas deficiências de boro, ocorre má formação de espigas e também redução na produtividade de grãos do milho (MOZAFAR, 1987).

Segundo Woodruff, Moore e Musen (1987), em um experimento envolvendo variações nas doses de diversos nutrientes, incluindo o boro, com população entre 70.000 e 80.000 plantas de milho por hectare, observaram efeitos benéficos do boro sobre a produtividade de grãos, sugerindo que aplicações de boro podem ser necessárias quando se intensifica o uso de práticas para o aumento da produtividade associado a adubações elevadas, principalmente, com potássio. Por outro lado, Büll (1993) observou que, de forma geral, as respostas da cultura de milho a aplicações de boro não são consistentes, sendo que Touchton e Boswell (1975) verificaram que aplicações de boro, tanto via solo como foliar, não influenciaram a produtividade de grãos. Peck, Walker e Boone (1969) obtiveram correlação negativa entre a produtividade de grãos e teores de boro na folha. Contudo, Abreu e Lopes (1985) não observaram respostas da cultura de milho à aplicação desse micronutriente.

Em muitos casos, a adição de boro na adubação da cultura de milho é vantajosa. Há risco relativo ao uso de doses elevadas desse elemento, principalmente quando concentrado no sulco de semeadura. Pois, a amplitude (faixa de suficiência) entre a eficiência (dose adequada) e a toxicidade (dose alta) de boro é muito estreita. Muitos trabalhos previnem a aplicação de maiores doses de boro no solo, que as atualmente praticadas, por afirmarem que a faixa entre a deficiência e a fitotoxidez de boro na planta seria muito estreita (YAMADA,

2000). Por outro lado, não há evidência que suporte a ideia da faixa estreita entre deficiência e fitotoxidez de boro (CHAPMAN et al., 1997; YAMADA, 2000).

O local de aplicação do boro também pode afetar a quantidade de nutriente absorvida. Neste sentido, Boaretto (2006) estudou a aplicação de 1 kg ha⁻¹ de B no solo e nas folhas de citrus em produção, e verificou que a quantidade absorvida foi de 65 e 17 g ha⁻¹ de B, para a aplicação no solo e na folha respectivamente. Assim, concluiu que a eficiência de absorção do B pelas raízes é cerca de 3,5 vezes superior que a eficiência de absorção pelas folhas.

2.3 Zinco

2.3.1 Zinco no solo

O Zn é um micronutriente limitante para a maioria das culturas pela sua baixa concentração no solo, pois, muitas vezes, uma parte está adsorvida às argilas, como goethita, representando 30 a 60% do total, e outra parte está “presa” à matéria orgânica (ARAÚJO; SILVA, 2012). Essa adsorção depende da mineralogia, pH e CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, havendo maior adsorção em solos argilosos que em arenosos (THORNE, 1957; OLIVEIRA et al., 1999). Devido a isso, muitos relatos de deficiência desse elemento químico para o milho provém, principalmente, de solo Argissolo Vermelho-Amarelo ou Latossolos altamente intemperizados e ácidos da região dos Cerrados (BÜLL, 1993).

Raij (1991) citou que o zinco é um elemento cuja forma mais comum em solução é a do cátion Zn²⁺ e que, conforme relatado por Lopes (1999), movimenta-se por difusão no solo, ou seja, dos pontos de maior concentração para os pontos de menor concentração. Segundo Camargo (1991), a adsorção e a precipitação constituem os principais mecanismos que controlam a disponibilidade do zinco na solução do solo. Quaggio (2000) relatou que a disponibilidade de zinco no solo é diretamente afetada pelo pH, uma vez que ao elevar o pH do solo a disponibilidade do referido micronutriente é diminuída, devido ao aumento da retenção no complexo coloidal ou à redução da solubilidade de suas fontes. Lopes (1999) destacou que o zinco pode ser fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, porém pode dificultar a absorção pelas plantas em alguns casos e também provocar deficiências. Rosolem e Franco (2000) colocaram que tal adsorção pode ser influenciada por várias propriedades e características do solo como pH, CTC, teor de matéria orgânica, teor de cátions e ânions solúveis, tipo de argila e teor de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

De todos os micronutrientes, o zinco é o que proporciona as maiores respostas de produtividade de grãos na cultura do milho em solos brasileiros, devido à deficiência generalizada que ocorre principalmente em solos sob vegetação de Cerrado (BULL, 1993). Nestes solos de Cerrado vários autores mencionam culturas anuais deficientes em Zn (GALRÃO, 1994), sendo que sua deficiência no solo de Cerrado ocorre devido ao baixo teor natural do solo, o qual é insuficiente para suprir a necessidade da planta. Melarato (2000) citou que, geralmente, as doses recomendadas são de 2 a 4 kg ha⁻¹ de Zn. Esses valores são semelhantes aos descritos por Raij et al. (1985), que recomendam de 2,5 a 5,0 kg ha⁻¹ de Zn para a cultura de milho no Brasil.

Fancelli e Dourado Neto (2000) consideraram adequados para a cultura de milho o teor de zinco no solo entre 0,5 e 1,0 mg dm⁻³, e concordam com os apresentados por Buzetti, Muraoka e Mauro (1991). Cabe salientar que, de acordo com Abreu (1996), os teores adequados de zinco no solo (extraído da solução de DTPA) estão situados entre 0,5 e 1,2 mg dm⁻³.

2.3.2 Nutrição e adubação com zinco

O milho é uma das plantas mais responsiva à aplicação de Zn, proporcionando ganhos na produção de matéria seca e grãos (GALRÃO; MESQUITA FILHO, 1981). O zinco é essencial para diferentes sistemas enzimáticos da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento.

A sua função básica está relacionada ao metabolismo de carboidratos, proteínas, fosfatos e também à formação de auxinas, RNA (ácido desoxirribonucleico) e ribossomos (THORNE, 1957; DECHEN, HAAG; CARMELLO, 1991). Segundo Malavolta, Boaretto e Paulino (1991), o zinco também está relacionado ao metabolismo de fenóis, à formação de amido, ao aumento no tamanho e multiplicação celular e à fertilidade do grão de pólen. Decaro et al. (1983) citaram que diversos autores constataram efeitos positivos do zinco perante a cultura de milho, o qual proporciona aumento da altura das plantas, do número de folhas, da produção de forragem e de grãos, bem como aumento do conteúdo total de proteína nos grãos.

Com relação aos teores de zinco nas folhas de milho, Rosolem e Franco (2000) consideraram como ideais níveis entre 20 e 70 mg kg⁻¹ de MS. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) colocaram que o ideal é que as folhas das plantas de milho apresentem entre 15 e 50 mg kg⁻¹ de MS, por ocasião do florescimento, enquanto Galvão (1995) citou o valor de 18,5

mg kg⁻¹ de MS como sendo o nível crítico de zinco nas folhas da cultura de milho. Apesar dessas afirmações, Rosolem e Franco (2000), ao estudarem a relação entre a translocação do zinco e o crescimento radicular de plantas de milho, observaram que teores de zinco iguais ou maiores que 12 mg kg⁻¹ foram suficientes para proporcionar crescimento normal às raízes. É importante ressaltar que Malavolta, Boaretto e Paulino (1991) destacaram que para cada tonelada de grãos de milho produzidos, são exportados 85 gramas de zinco.

Por ser pouco móvel no floema da planta, os sintomas de carência aparecem nos órgãos mais novos (FAQUIN, 2005). Malavolta e Dantas (1987) e Coelho e França (1995) descreveram que os sintomas de deficiência de zinco em plantas de milho são caracterizados por internódios curtos (redução na altura das plantas) e faixas brancas ou amarelas entre a nervura principal e as bordas das folhas novas, principalmente nas folhas que estão se desenrolando na região de crescimento, uma vez que tais folhas podem, posteriormente, apresentar tons roxos e necrose. Segundo Barbosa Filho (1987), uma das consequências da deficiência de zinco nas plantas de milho é o encurtamento do internódio, resultando em redução do crescimento, o que ocorre devido ao fato do zinco ser necessário à produção de triptofano que é um aminoácido precursor do ácido indol-acético, hormônio vegetal promotor do crescimento. Furlani e Furlani (1996) também descreveram que os sintomas de deficiência de zinco em plantas de milho aparecem nas folhas mais novas, as quais ficam com tamanho reduzido e formam roseta, devido ao encurtamento dos internódios.

Souza et al. (1998), ao avaliarem a resposta da cultura de milho à adição de doses crescentes de zinco no sulco de semeadura, observaram que a adição de zinco promoveu incrementos significativos na produtividade de grãos e nos teores de micronutriente nas folhas, porém não verificaram vantagens em aplicar doses superiores a 5 kg ha⁻¹ de zinco.

Com relação aos métodos de aplicação de zinco em sistemas de produção de milho, pode-se destacar: no solo (localizado ou incorporado), nas folhas ou nas sementes. Neste sentido, Ritchey et al. (1986) observaram que aplicações de zinco no solo incorporadas proporcionaram efeito residual importante na produção do milho. Enquanto, Galvão (1994) observou que o modo de aplicação de Zn incorporado ao solo (a lanço) teve efeito superior no primeiro cultivo; no segundo cultivo as aplicações tanto no solo, como nas folhas ou sementes proporcionaram os mesmos efeitos na produção da cultura. Sakal, Singh e Singh (1983) verificaram que aplicações foliares de zinco foram semelhantes às aplicações no solo, seja a lanço ou localizado no sulco de semeadura.

Pumphrey et al. (1963) e Hibberd (1970) verificaram que aplicações de zinco na cultura do milho, via solo propiciaram maiores produtividades comparativamente ao

tratamento foliar. Entretanto, maior eficiência da adubação de Zn aplicado nas folhas, em relação ao solo na cultura do milho, foi verificado por Quaggio et al. (2003) em citrus. Chapman (1968) acrescentou ainda, que as vantagens da aplicação do Zn via foliar, em comparação ao solo, são maiores em plantas instalados em solos com pH próximo à neutralidade. Este fato ocorre devido às altas perdas do Zn aplicado no solo, pois há alta adsorção do elemento com os colóides do solo (LOPES, 1999). Prado et al. (2008) estudaram modos de aplicação de zinco na cultura do milho e verificaram que as aplicações de zinco via solo (incorporado e localizado), foliar e semente foram semelhantes no desenvolvimento inicial da cultura; porém observaram que a aplicação de zinco, independentemente do modo de aplicação promoveu incremento na altura e na produção de massa do milho em relação ao tratamento testemunha.

2.4 Interação boro e zinco

Segundo Lawrence, Bhalla e Misra (1995), boro e zinco são essenciais para o funcionamento ótimo das ATPases e dos sistemas redox da membrana plasmática. Ou seja, todo o processo de absorção de nutrientes da planta pode ser afetado em deficiência desses nutrientes.

A interação B e Zn foi claramente comprovada através da demonstração desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos da planta (HOSSEINI et al., 2007). As interações nutricionais interferem na composição mineral da planta podendo um elemento estimular ou inibir a absorção de outros elementos. Essas relações são muito variáveis podendo ocorrer no interior das células ou na rizosfera (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Araújo e Silva (2012), avaliando a resposta do algodão em solução nutritiva a aplicação de concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 $\mu\text{M L}^{-1}$) e de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 $\mu\text{M L}^{-1}$), verificaram que a interação B e Zn afetou positivamente a produção de sementes, o teor e o conteúdo de B na planta, a eficiência de transporte e a utilização de B, sendo que o B atua de maneira diferenciada, em função do fornecimento de Zn. Estes autores ainda relataram que o teor e o conteúdo de Zn no fruto do algodoeiro e a eficiência de transporte de Zn são influenciados pelo suprimento de B demonstrando uma relação sinérgica entre os nutrientes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lima (2006) em que a produção de sementes de gergelim foi afetada significativamente pela interação entre B e Zn. Hosseini et

al. (2007) relataram interação significativa entre B e Zn no crescimento de plantas de milho, com efeito sinérgico entre os nutrientes, porém em solo com pH 7,5.

Jamami et al. (2006), avaliando a resposta do milho híbrido AG 1043 à aplicação de 3 doses de boro (0, 1 e 2 kg ha⁻¹) e 3 doses de zinco (0, 2 e 4 kg ha⁻¹) no sulco de semeadura de um Latossolo Vermelho Amarelo, constataram que a aplicação de boro e de zinco não resultou em elevação dos teores foliares desses nutrientes, nem em ganhos de produtividade, sendo os teores iniciais de B e Zn do solo suficientes para a produtividade atingida. Estes autores também não verificaram interação entre as doses de B e de Zn.

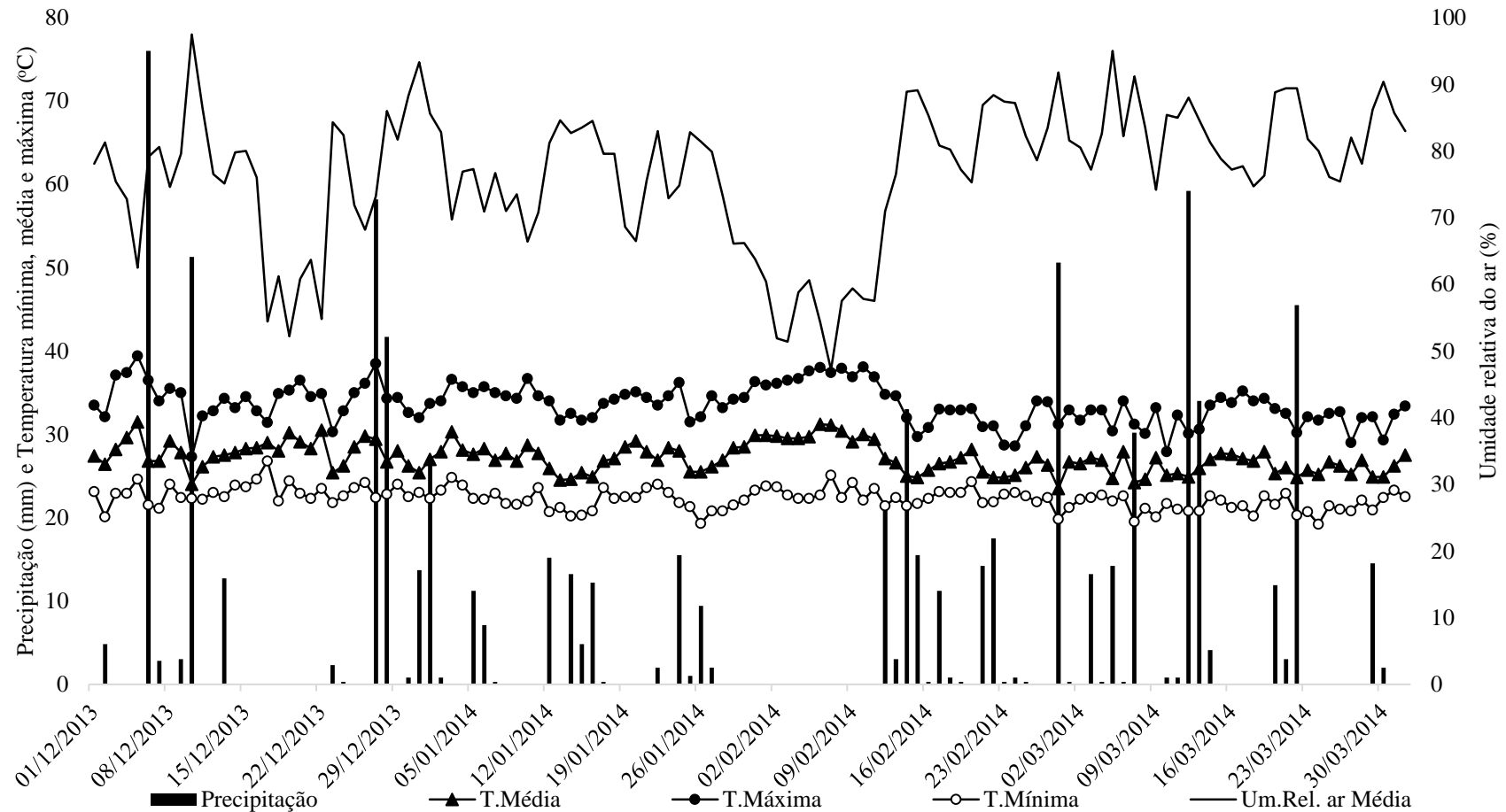
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e histórico de manejo

Os cultivos de milho primavera/verão (2013/14) e outonal (2014) foram conduzidos na mesma área experimental, pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Selvíria – MS, com altitude de 335 m. A temperatura média anual é de 23,5 °C, a precipitação pluvial média anual é de 1370 mm com umidade relativa do ar média anual entre 70 e 80%. Na Figura 1 estão representadas as condições climáticas no decorrer dos experimentos.

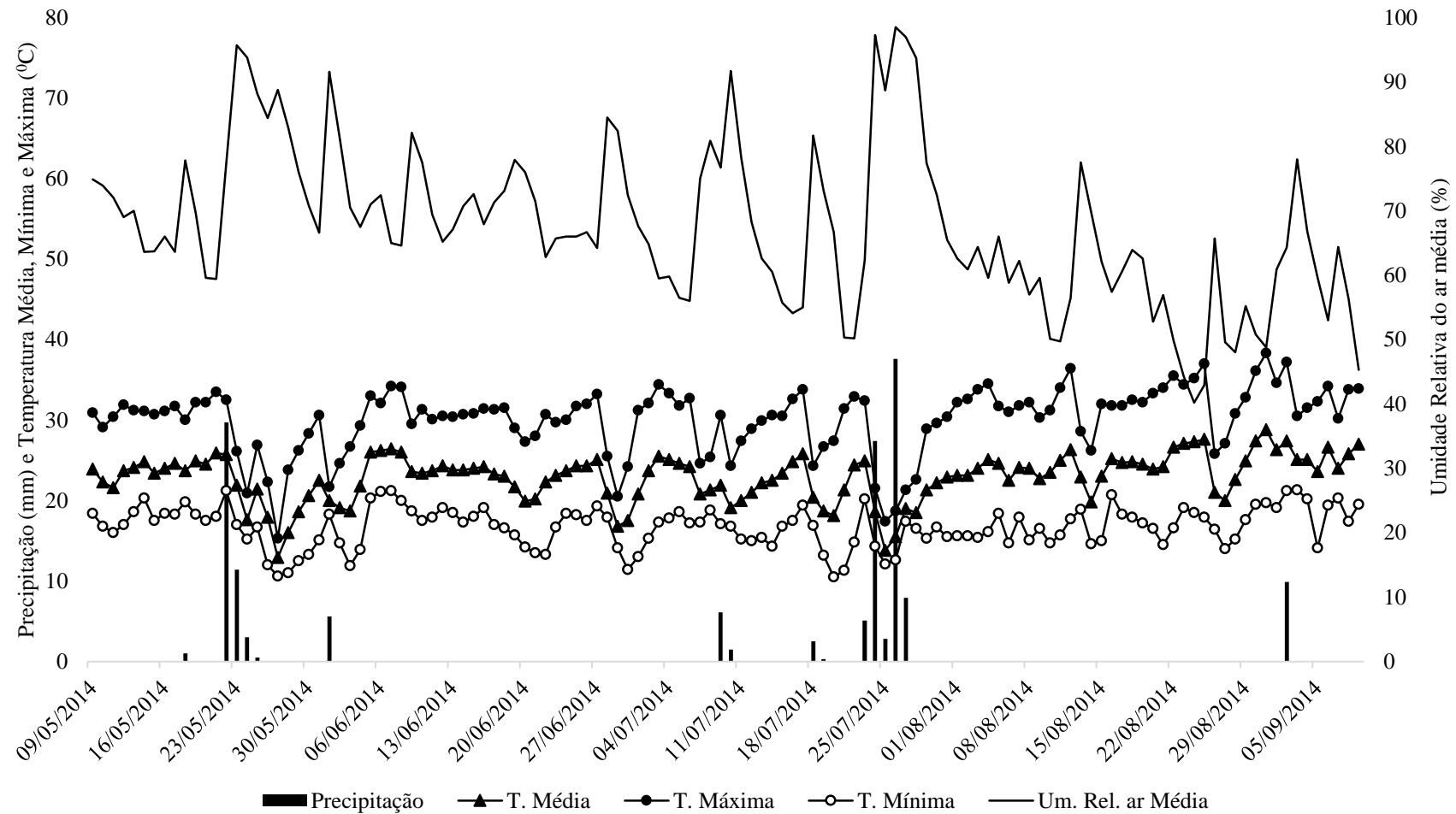
O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, segundo a Embrapa (2013), com valores de granulometria de 420, 50 e 530 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. Esta área agrícola foi cultivada por culturas anuais há mais de 27 anos, sendo os últimos 8 anos em sistema plantio direto com o último ano em pousio.

Figura 1 - Precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperaturas máxima, média e mínima obtidas durante os experimentos de milho junto à estação meteorológica situada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP. Período de dezembro de 2013 a março de 2014.



Fonte: Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP - Campus de Ilha Solteira.

Figura 2 - Precipitação pluvial, umidade relativa do ar e temperaturas máxima, média e mínima obtidas durante os experimentos de milho junto à estação meteorológica situada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP. Período de maio a setembro de 2014.



Fonte: Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP - Campus de Ilha Solteira.

3.2 Tratamentos e delineamentos experimentais

Experimento I: O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5, sendo: com ou sem adubação com 2 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de sulfato de zinco (20% de Zn e 17% de S) e 5 doses de B (0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹, na forma de ácido bórico), com os tratamentos aplicados via solo manualmente, na ocasião da semeadura e ao lado da linha do milho primavera/verão em cerca de 0,10 m.

Após a colheita do milho primavera/verão, avaliou-se o residual destes tratamentos aplicados via solo no cultivo do milho outonal, nas respectivas parcelas.

Experimento II: O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5, sendo: com ou sem adubação com 2 kg ha⁻¹ de Zn, na forma de sulfato de zinco aplicado via solo, na ocasião da semeadura e ao lado da linha do milho primavera/verão em cerca de 0,10 m; e 5 doses de B (0, 170, 340, 510 e 680 g ha⁻¹, as correspondem respectivamente, 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1% de ácido bórico na calda de pulverização aplicada via foliar na fase de pré-pendoamento do milho (estádio V6).

Após a colheita do milho primavera/verão, avaliou-se o residual da adubação com zinco aplicada no solo e foram aplicados novamente as doses de B via foliar, conforme mencionado anteriormente no cultivo do milho outonal, nas respectivas parcelas.

As parcelas dos experimentos apresentaram cinco metros de comprimento com seis linhas espaçadas de 0,45 m, sendo a área útil da parcela as quatro linhas centrais, excluindo-se 0,5 m das extremidades.

3.3 Execução do experimento

Os atributos químicos do solo na camada arável (0-0,20 m) determinados antes da instalação do experimento de milho, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) apresentaram os seguintes resultados: 10 mg dm⁻³ de P (resina); 5 mg dm⁻³ de S-SO₄; 22 g dm⁻³ de M.O.; 5,3 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg, H+Al = 2,4; 21,0; 18,0 e 28,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 3,2; 22,0; 24,2 e 1,2 mg dm⁻³, respectivamente; 0,16 mg dm⁻³ de B (água quente) e 60% de saturação por bases. Segundo Raij et al. (1997), os teores de B e Zn estavam, respectivamente, baixo e médio/alto.

Na adubação de semeadura foram fornecidos 400 kg ha⁻¹ da 08-28-16, o que equivale a 32 kg ha⁻¹ de N, 112 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 64 kg ha⁻¹ de K₂O para todos os tratamentos, baseado na análise do solo e na exigência da cultura do milho.

A condução dos experimentos em dois ciclos produtivos do milho foi em sistema plantio direto. Para a semeadura do milho em ambas as safras utilizou-se uma semeadora com mecanismo tipo haste, utilizando-se o híbrido triplo DKB 350 PRO (milho de ciclo curto e resistente à lagarta do cartucho – *Spodoptera frugiperda*) semeado no dia 04/12/13, sendo colocadas 3,3 sementes por metro de linha, com emergência de plântulas cinco dias após semeadura. A aplicação dos tratamentos com boro e zinco via solo também foi efetuada no dia 04/12/13, de forma manual.

Para o controle de plantas daninhas em pós-emergência no estágio V2 do milho foi efetuada a aplicação do herbicida tembotriona (84 g ha^{-1} do ingrediente ativo (i. a.)) e atrazina (1000 g ha^{-1} do i. a.), mais a adição de óleo vegetal (720 g ha^{-1} do i. a.). Não houve a necessidade de controle de pragas e doenças em ambos os cultivos de milho.

Na adubação nitrogenada de cobertura foram aplicados 100 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, a lanco e sem incorporação ao solo nas entrelinhas do milho, quando as plantas de milho estavam no estágio V6. Quando necessário, e após a adubação nitrogenada a área foi irrigada por aspersão com lâmina de 13 mm de água, por meio de pivô central.

A adubação foliar com boro (tratamentos) foi realizada na fase de pré-pendoamento (estádio V6) das plantas de milho, no período da manhã (por volta das 8h), sem vento, por meio de bomba costal de CO_2 pressurizada dotada de quatro pontas de pulverização (Figura 3), com uma calda de pulverização de 400 L ha^{-1} e sem adição de ureia a calda.

Figura 3 - Bomba costal de CO_2 pressurizada com quatro pontas de pulverização utilizada na adubação foliar do milho primavera/verão 2013.



Fonte: Próprio autor.

No cultivo do milho outonal em 2014, utilizou-se o mesmo híbrido e foi realizado o mesmo manejo da cultura, adubações de semeadura e nitrogenada de cobertura em antecessão do milho cultivado na safra primavera/verão. Porém, avaliou-se o efeito residual dos tratamentos aplicados via solo (doses de B, com ou sem Zn), ou seja, as parcelas do milho outonal foram sobrepostas a do cultivo anterior, enquanto que, as doses de B via foliar foram aplicadas novamente conforme mencionado anteriormente. A colheita dos experimentos foi realizada aos 112 e 122 dias após emergência do milho primavera/verão e outonal, respectivamente.

No experimento com milho outonal foi utilizado o mesmo híbrido e a adubação nitrogenada do milho primavera/verão. A adubação de semeadura foi com base na análise de solo e na exigência da cultura. No milho outonal analisou-se o efeito residual dos tratamentos aplicados via solo (doses de B, com ou sem Zn), enquanto que, os tratamentos via foliar descritos acima será repetido.

3.4 Avaliações realizadas

Nos experimentos de milho primavera/verão e outonal foram realizadas as seguintes avaliações:

a) *teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foliar* (mg kg^{-1} de MS), conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), coletando-se o terço médio de 20 folhas da inserção da espiga principal, no estágio R1 (florescimento feminino pleno) das plantas de milho, segundo a metodologia descrita em Cantarella, Raij e Camargo (1997);

b) *índice de clorofila foliar* (SPAD), quando as plantas estavam no estágio R1 da cultura, sendo determinada indiretamente através de leituras na folha abaixo da espiga principal em cinco plantas/parcela (no terço médio desta folha de milho), no período da manhã, por meio do clorofilômetro portátil Falker;

c) *altura de plantas* na maturação, definida como sendo à distância (m) do nível do solo ao ápice do pendão em cinco plantas/parcela;

d) *altura de inserção de espiga* na maturação da planta de milho, definida como sendo à distância (m) do nível do solo até a inserção da espiga principal em cinco plantas/parcela;

e) *diâmetro do colmo* na maturação, utilizando-se um paquímetro manual para medição em cinco plantas/parcela;

Foram coletadas 10 espigas/parcela de milho na ocasião da colheita para as seguintes avaliações: f) *comprimento da espiga*, determinado do ápice até a base da espiga; g) *diâmetro*

da espiga; h) *número de fileiras por espiga*, obtido em função da relação do número de fileiras de grãos em cada espiga; i) *número de grãos por fileira de espiga*, determinado em função da relação entre o número de grãos em cada fileira da espiga; j) *número de grãos por espiga*, obtido a partir da contagem do número de grãos em cada espiga de milho, de cada unidade experimental.

l) *massa de 100 grãos*, determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida);

m) *produtividade de grãos*, determinada pela coleta das espigas das plantas contidas nas quatro linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} a 13% (base úmida);

n) teores de B e Zn nos grãos de milho primavera/verão, determinados conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

o) teores de B e Zn no solo, determinados de acordo metodologia de Raij et al. (2001), coletando-se o solo na profundidade de 0 a 0,20 m, por meio de um trado de caneca, amostrando-se cinco pontos por parcela na faixa onde foram aplicados os tratamentos com B e Zn, após os dois cultivos de milho.

3.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e utilizou-se teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias da adubação ou não com zinco e, enquanto que foram ajustadas equações de regressão para o efeito das doses de B, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I

Os teores foliares dos macronutrientes do milho de primavera/verão não foram influenciados pela adubação com Zn ou aumento das doses de B aplicadas no solo (Tabela 1). Dentre esses nutrientes, apenas o teor de S foliar foi influenciado pela adubação com Zn, sendo este devido ao fato da fonte aplicada ter sido o sulfato de zinco. Jamami et al. (2006) avaliando à aplicação de doses de Zn via solo, não observaram efeito nos teores de macronutrientes foliares de milho.

Tabela 1 - Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho primavera/verão em função de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹ de MS) -----					
Com zinco	27,08	3,42	27,06	3,86	1,69	2,20 a
Sem zinco	27,28	3,52	26,17	4,15	1,79	1,88 b
D.M.S.	1,79	0,20	1,40	0,57	0,30	0,03
Doses de B (kg ha⁻¹)						
0	28,48	3,43	26,35	4,05	1,77	2,03
1	27,45	3,52	26,23	4,15	1,80	2,03
2	26,48	3,50	26,18	3,90	1,75	2,08
3	26,60	3,47	26,71	4,13	1,85	2,02
4	26,88	3,43	27,60	3,80	1,55	2,03
Média geral	27,18	3,47	26,62	4,00	1,74	2,04
C.V. (%)	8,61	7,41	6,88	17,48	22,52	19,37

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

No milho outonal, não foi constatado efeito isolado para o aumento das doses de B via solo, porém houve efeito residual da aplicação de Zn apenas para o teor de N foliar, sendo este superior em relação a não aplicação de Zn (Tabela 2), o que pode ser explicado pelo fato do zinco ativar enzimas na síntese de proteínas (THORNE, 1957; DECHEN, HAAG; CARMELLO, 1991), sendo importante para divisão celular, processo este que o N é essencial.

Tabela 2 - Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no milho outonal em função do residual de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹ de MS) -----					
Com zinco	28,57 a	4,07	25,10	4,56	3,31	2,59
Sem zinco	27,25 b	4,11	26,54	4,57	3,28	2,64
Doses de B (kg ha⁻¹)						
0	27,48	4,15	26,07	4,68	3,33	2,51
1	29,12	4,10	25,15	4,86	3,55	2,55
2	26,25	4,15	25,08	5,35	3,63	2,73
3	28,24	4,13	27,58	4,30	3,11	2,61
4	28,47	3,93	25,22	3,63	2,85	2,67
D.M.S.	1,08	0,16	1,82	0,65	0,40	0,27
Média geral	27,91	4,09	25,82	4,60	3,30	2,61
C.V. (%)	5,03	5,00	9,18	18,48	15,94	13,54

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Vale destacar que tanto no cultivo do milho primavera/verão como no outonal (Tabelas 1 e 2), os teores foliares médios dos macronutrientes ficaram todos dentro das faixas consideradas adequadas relatadas por Cantarella, Raij e Camargo (1997), cujos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S são, respectivamente, 27-35; 2,0-4,0; 17,0-35,0; 2,5-8,0; 1,5-5,0 e 1,5-3,0 g kg⁻¹ e por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), cujos teores adequados de N, P, K, Ca, Mg e S são, respectivamente, 27,5 a 32,5 g kg⁻¹, 2,5 a 3,5 g kg⁻¹, 17,5 a 22,5 g kg⁻¹, 2,5 a 4,0 g kg⁻¹, 2,0 a 4,5 g kg⁻¹, 1,5 a 2,0 g kg⁻¹.

Com relação ao residual das doses de B no milho outonal não houve efeito isolado sobre os teores de macronutrientes (Tabela 2), porém quando a adubação boratada foi associada à aplicação de Zn se constatou aumento dos teores de Ca e Mg foliar até as doses de ponto de máximo (PM) de 1,51 e 1,20 kg ha⁻¹ de B, respectivamente (Tabela 3). Segundo Gupta (1993) existe relação entre os teores de Ca e B no tecido vegetal, e isto poderia explicar como as plantas estão em relação a nutrição com B, sendo observado também ajuste a função quadrática.

Tabela 3 - Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do milho outonal. Selvíria – MS, 2014.

Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de Ca foliar (g kg ⁻¹ de MS)	
	Com zinco	Sem zinco
0	4,63 a ⁽¹⁾	4,73 a
1	4,97 a	4,77 a
2	6,10 a	4,60 b
3	4,03 a	4,57 a
4	3,07 a	4,20 a
D.M.S.	1,45	

Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de Mg foliar (g kg ⁻¹ de MS)	
	Com zinco	Sem zinco
0	3,47 ⁽²⁾	3,20
1	3,80	3,30
2	3,86	3,40
3	2,90	3,33
4	2,53	3,17
D.M.S.	0,90	

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 4,5448 + 1,2504x - 0,4143x^2$ ($R^2 = 0,80^{**}$ e $PM = 1,51$ kg ha⁻¹ de B)

⁽²⁾ $y = 3,5190 + 0,4186x - 0,1738x^2$ ($R^2 = 0,88^*$ e $PM = 1,20$ kg ha⁻¹ de B)

Fonte: Próprio autor.

O incremento das doses de B aumentou linearmente os teores foliares de Cu e Mn no milho primavera/verão (Tabela 4). Por outro lado, Fageria, Baligar e Clark (2002), relataram que altos suprimentos de B resultaram em baixa absorção de Zn, Fe e Mn, mas aumentou a absorção de Cu.

Houve interação significativa entre a adubação com Zn e doses de B para os teores de B e Zn foliar no milho de primavera/verão, sendo constatado aumento do teor de B foliar até a dose de 2,75 kg ha⁻¹, apenas quando se aplicou Zn (Tabela 5), indicando assim efeito sinérgico.

Os teores de Zn foliares também foram influenciados pelo aumento das doses de B apenas quando se aplicou Zn, com ajuste a função linear decrescente, sendo observado que doses de B acima de 2 kg ha⁻¹ diminuíram o teor de Zn foliar do milho (Tabela 5). Logo se infere que doses elevadas de B são prejudiciais à nutrição com Zn, enquanto que doses de até 2 kg ha⁻¹ de B parece ter efeito sinérgico na absorção de Zn. Entretanto, Yamada & Lopes (1998) citaram que, geralmente, as doses de boro recomendadas para a cultura de milho variam de 0,5 a 1 kg ha⁻¹.

Tabela 4 - Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho primavera/verão em função de doses de boro via solo, com e sem a aplicação de zinco no. Selvíria – MS, 2013/14.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----(mg kg⁻¹ de MS) -----				
Com zinco	6,34	16,53	128,73	54,60	17,33
Sem zinco	4,32	15,47	139,20	51,87	16,40
D.M.S.	0,44	1,99	12,98	4,64	0,64
Doses de B (kg ha⁻¹)					
0	4,65	14,50 ⁽¹⁾	125,50	50,50 ⁽²⁾	17,17
1	4,77	15,00	132,17	51,33	16,17
2	6,03	16,67	131,83	52,17	18,33
3	5,61	14,33	138,67	58,00	16,50
4	5,60	19,50	141,67	54,17	16,17
Média geral	5,33	16,00	133,97	53,23	16,87
C.V. (%)	10,75	16,19	12,63	11,37	4,93

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 14,1333 + 0,9333x$ ($R^2 = 0,47^*$)

⁽²⁾ $y = 49,9333 + 2,3333x$ ($R^2 = 0,55^{**}$)

Fonte: Próprio autor.

Em relação ao desdobramento da aplicação de Zn dentro de doses de B, com exceção da testemunha, em todas as doses de B houve maior teor de B foliar quando foi aplicado Zn (Tabela 5). Indicando assim, que houve efeito sinérgico do Zn na absorção de B pela planta de milho num solo argiloso deficiente em B. Segundo Yamada (2000), boro e zinco são essenciais para o funcionamento ótimo da ATPase e na ausência de B pode haver redução na eficiência de Zn na planta, e vice-versa. Lima Filho (1991) também observou interação significativa entre o zinco e boro, porém ao aplicá-los em cafeeiros, constatou-se que o aumento da matéria seca ocorria com o aumento das doses de Zn apenas quando se elevava o teor de B no solo. Por outro lado, Jamami et al. (2006), avaliando a resposta do milho à aplicação de doses de B (0, 1 e 2 kg ha⁻¹) e doses de Zn (0, 2 e 4 kg ha⁻¹) no sulco de semeadura de um Latossolo Vermelho amarelo, não constataram elevação dos teores foliares desses nutrientes e nem verificaram interação entre as doses de B e de Zn.

Tabela 5 - Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de boro (B) e zinco (Zn) do milho primavera/verão. Selvíria – MS, 2013/14.

Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de B foliar (mg kg ⁻¹)	
	Com zinco	Sem zinco
0	4,77 a ⁽¹⁾	4,53 a
1	5,80 a	3,73 b
2	7,10 a	4,97 b
3	7,50 a	3,73 b
4	6,53 a	4,67 b
D.M.S.	0,98	
Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de Zn foliar (mg kg ⁻¹)	
	Com zinco	Sem zinco
0	18,33 a ⁽²⁾	16,00 b
1	17,00 a	15,33 b
2	19,33 a	17,33 b
3	16,00 a	17,00 a
4	16,00 a	16,33 a
D.M.S.	1,43	

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 4,5933 + 1,9233x - 0,3500x^2$ ($R^2 = 0,94^{**}$ e PM = 2,75 kg ha⁻¹ de B)

⁽²⁾ $y = 18,4667 - 0,5668x$ ($R^2 = 0,37^{**}$)

Fonte: Próprio autor.

A adubação com zinco não influenciou os teores foliares de Cu, Fe e Mn tanto do milho primavera/verão como do milho outonal (Tabelas 4 e 6), apesar do conhecido antagonismo por inibição competitiva que existe entre estes micronutrientes catiônicos, o que pode ser devido à dose baixa de Zn aplicada (2 kg ha⁻¹).

Para o milho outonal houve efeito residual isolado de doses de B apenas sobre o teor de Zn foliar, com ajuste à função quadrática com ponto de máximo teor de Zn sendo alcançado com aplicação de 1,76 kg ha⁻¹ de B (Tabela 6), demonstrando novamente sinergismo entre estes micronutrientes.

Sinha, Jain e Chatterjee (2000) notaram interação sinérgica entre Zn e B em mostarda (*Brassica nigra*) quando ambos os nutrientes estavam baixos (efeito positivo) ou foram fornecidos em excesso (efeito negativo). Resultados estes semelhantes aos observados.

Estudos relatam que elevados suprimentos de B resultam em baixa absorção de Zn, Fe e Mn, mas aumenta à absorção de Cu, e essas interações afetaram positivamente e negativamente os teores desses nutrientes nas plantas (Gupta, 1993). Uma possível explicação seria que na presente pesquisa houve grande adsorção do ácido bórico nos colóides orgânicos

e minerais do solo, o que pode explicar, a resposta positiva obtida desta adubação residual para o incremento do teor de Zn na planta.

Tabela 6 - Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho outonal em função do residual de doses de boro via solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	------(mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Com zinco	6,00	15,33	204,73	38,67	20,20
Sem zinco	6,20	15,53	208,33	39,87	19,93
D.M.S.	1,97	3,18	18,21	3,98	1,13
Doses de B (kg ha⁻¹)					
0	4,00	14,67	200,67	36,33	19,50 ⁽¹⁾
1	4,67	16,00	213,00	38,33	20,67
2	6,00	12,33	221,50	42,17	21,83
3	6,67	13,00	209,85	39,50	19,50
4	9,17	21,17	188,83	40,00	18,33
Média geral	6,10	15,43	206,53	39,27	20,07
C.V.(%)	25,59	26,86	11,50	13,21	7,31

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 19,5429 + 1,7976x - 0,5119x^2$ ($R^2 = 0,76^{**}$ e $PM = 1,76 \text{ kg ha}^{-1}$ de B)

Fonte: Próprio autor.

De acordo Cantarella, Rajj e Camargo (1997), as faixas adequadas para os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn de milho são, respectivamente, 10-25; 6-20; 30-250; 20-200 e 15-100 mg kg⁻¹, portanto, verifica-se que os teores médios de Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas estavam adequados para o milho em ambas as safras (Tabelas 4 e 6). Contudo, constatou-se que os teores de B foliares em ambos os cultivos de milho, mesmo nas maiores doses deste nutriente, ficaram abaixo da faixa de suficiência segundo os autores citados acima. Porém Martinez, Carvalho e Souza (1999) citam que a faixa de suficiência para o teor foliar de B estaria entre 4 a 20 mg kg⁻¹. Assim não foram observados sintomas de deficiência e toxidez nas plantas, estes resultados podem ser explicados pela baixa exigência em B do híbrido de milho utilizado. Segundo Gupta (1993), a concentração de boro nos tecidos das plantas pode ser relacionada a diversos fatores que incluem variação genotípica, estágio de desenvolvimento e fatores ambientais (solo e clima).

Para os teores de B e Cu houve interação significativa entre o residual da adubação com Zn e doses de B, onde o aumento da adubação boratada somente associada à adubação com Zn, incrementou linearmente os teores foliares de B e Cu (Tabela 7). Verificou-se que a maior dose de B (4 kg ha⁻¹) proporcionou os maiores teores foliares de B e Cu, com a

aplicação de Zn ao solo. Gupta (1993) relatou que elevadas doses de B resultam em baixa absorção de Zn, Fe e Mn e em aumento da absorção de Cu pelas plantas.

Tabela 7 - Desdobramento da interação entre o residual de doses de boro aplicadas no solo e adubação com zinco para os teores foliares de boro (B) e cobre (Cu) do milho outonal. Selvíria – MS, 2014.

Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de B foliar (mg kg ⁻¹ de MS)	
	Com zinco	Sem zinco
0	2,00 b ⁽¹⁾	5,00 a
1	4,00 a	5,33 a
2	6,00 a	6,00 a
3	6,33 a	7,00 a
4	11,67 a	6,66 b
D.M.S.	2,68	

Doses de B (kg ha ⁻¹)	Teor de Cu foliar (mg kg ⁻¹ de MS)	
	Com zinco	Sem zinco
0	11,33 a ⁽²⁾	18,00 a
1	10,67 b	21,33 a
2	12,67 a	12,00 a
3	15,00 a	11,00 a
4	27,00 a	15,33 b
D.M.S.	7,11	

Nota: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 1,6667 + 2,1667x$ ($R^2 = 0,90^{**}$)

⁽²⁾ $y = 8,2000 + 3,5667x$ ($R^2 = 0,70^{**}$)

Fonte: Próprio autor.

No milho primavera/verão, não houve diferença para altura de planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF (índice de clorofila foliar) e massa de 100 grãos avaliados em relação à aplicação ou não de zinco no solo (Tabela 8).

Em relação as doses crescentes de boro via solo, houve aumento linear apenas para a altura da planta (Tabela 8). Isso se deve as funções do boro que estão relacionadas dentro da planta, como o metabolismo de carboidratos e o transporte de açúcares através das membranas, a síntese de ácidos nucléicos (RNA e DNA) e de fitohormônios, a formação de paredes celulares, a divisão celular e o desenvolvimento de tecidos, que auxiliam no crescimento vegetativo (BORKERT, 1989; DECHEN; HAAG; CARMELLO, 1991).

Não houve efeito residual da aplicação de Zn no solo para a altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos do milho outonal (Tabela 9). Entretanto, as doses crescentes de B novamente pouco influenciou estas avaliações, apesar de diminuir linearmente a altura de inserção da espiga.

O decréscimo da altura de inserção da espiga com o aumento das doses de B implicam em um menor risco de acamamento da planta de milho, tendo como consequência positiva o melhor stand final e menores perdas de produção na colheita mecanizada.

Tabela 8 - Altura de planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.

	Altura de planta (m)	Altura de inserção (m)	Diâmetro do colmo (cm)	ICF	Massa de 100 grãos (g)
Com zinco	2,58	1,19	2,21	65,79	32,82
Sem zinco	2,55	1,18	2,15	66,36	32,95
D.M.S.	0,03	0,03	0,09	3,82	0,82
Doses de B (kg ha⁻¹)					
0	2,54 ⁽¹⁾	1,18	2,21	64,48	32,69
1	2,54	1,17	2,19	66,76	33,74
2	2,59	1,22	2,25	65,85	32,63
3	2,59	1,17	2,15	67,14	32,28
4	2,55	1,18	2,11	66,14	33,08
Média geral	2,56	1,18	2,18	66,07	32,88
C.V.(%)	1,69	4,19	6,16	8,92	3,87

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 1,098643 + 0,000059x$ ($R^2 = 0,82^*$)

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 - Altura de planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho outonal em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.

	Altura de planta (m)	Altura de inserção (m)	Diâmetro do colmo (cm)	ICF	Massa de 100 grãos (g)
Com zinco	2,49	1,25	2,03	60,91	26,01
Sem zinco	2,46	1,26	1,99	60,08	26,26
D.M.S	0,05	0,11	0,17	1,93	0,99
Doses de B (kg ha⁻¹)					
0	2,51	1,40 ⁽¹⁾	2,08	61,04	25,47
1	2,50	1,27	1,99	59,80	26,58
2	2,41	1,20	2,08	60,70	25,40
3	2,51	1,21	1,95	59,54	26,23
4	2,46	1,19	1,94	61,37	27,00
Média geral	2,48	1,25	2,00	60,50	26,14
C.V.(%)	3,20	13,27	13,32	4,91	5,83

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 1,351250 - 0,048375x$ ($R^2 = 0,75^*$)

Fonte: Próprio autor.

O zinco tem interferência direta na altura de plantas de milho porque o referido elemento é necessário à produção de triptofano que é um aminoácido precursor do ácido indol-acético, o qual é um hormônio promotor do crescimento (BÜLL, 1993). Ainda de acordo com Furlani e Furlani (1996), a altura de planta é a variável que melhor reflete o estresse provocado por baixos teores de zinco na planta. Já Bokert (1989) citou que a deficiência de zinco reduz o crescimento das plantas de milho. Contudo, isto não ocorreu nesta pesquisa porque conforme mencionado anteriormente os teores de Zn foliar estavam adequados para todos os tratamentos (Tabelas 4 e 6).

Tanto para a aplicação de zinco quanto para o incremento das doses de boro via solo e suas respectivas adubações residuais, não houve efeito significativo para os componentes relacionados à espiga de milho primavera/verão e outonal (Tabelas 10 e 11). Soares (2003) também notou que doses crescentes de boro e de zinco no sulco de semeadura, não exerceram influência significativa sobre o número de fileiras e diâmetro de colmo das plantas de milho.

Tabela 10 - Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.

	Comprimento da espiga (cm)	Diâmetro da espiga (cm)	Número de grãos por fileira	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga	Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)
Com zinco	19,02	10,02	36,81	15,75	580,32	6547
Sem zinco	18,65	9,90	36,82	15,52	571,78	6431
D.M.S.	0,98	0,29	2,00	0,62	41,52	464
Doses de B (kg ha⁻¹)						
0	19,00	10,00	36,82	15,74	579,65	6095
1	18,92	9,87	37,64	15,64	588,77	6673
2	19,18	9,97	36,77	15,74	578,77	6631
3	18,79	9,84	36,56	15,56	569,79	7032
4	18,29	10,12	36,29	15,51	563,27	6316
Média geral	18,84	9,96	36,82	15,64	576,05	6490
C.V.(%)	8,03	4,56	8,33	6,12	11,11	11,71

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

A produtividade de grãos de milho em ambos os cultivos não foi influenciada pela adubação com Zn (Tabelas 10 e 11). Isso pode ser atribuído tanto ao teor médio de Zn (1,2 mg dm⁻³) disponível no solo da área experimental, o qual foi suficiente para nutrição e desenvolvimento da cultura do milho, que de acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000) varia entre 0,5 e 1,0 mg kg⁻¹ como nível crítico, como ao fato de que o solo apresenta alto teor de argila, reduzindo assim, drasticamente a lixiviação de Zn da camada arável solo e potencializando seu efeito residual.

Souza et al. (1998), ao avaliarem a resposta da cultura de milho pela adição de doses crescentes de Zn no sulco de semeadura não verificaram sintomas de fitotoxidez ou queda de produtividade de grãos, mesmo quando foram aplicadas doses de até 20 kg ha⁻¹ de Zn. Porém estes autores verificaram respostas positivas da cultura ao aumento de doses de Zn no sulco de semeadura, mas não observaram vantagens em aplicar doses superiores a 5 kg ha⁻¹ de Zn.

Apesar de ter sido observado incremento médio de 8,52% dos tratamentos com boro aplicado via solo em relação à testemunha, o incremento das doses de boro não influenciou significativamente a produtividade de grãos de milho em ambos os cultivos (Tabelas 10 e 11), mesmo em solo com baixo teor de B disponível e com o aumento dos teores de B absorvidos pelo milho relatados anteriormente em associação com a aplicação de Zn. Logo, estes

resultados podem ser explicados principalmente pela baixa exigência em B do híbrido de milho utilizado, além do alto teor de argila que aumenta a adsorção do elemento e/ou à alta solubilidade da fonte utilizada (ácido bórico), a qual pode ter sido parcialmente lixiviada antes de ser absorvida totalmente pela cultura.

Outra explicação para tal fato pode estar relacionado ao teor do elemento B disponível no solo utilizado no experimento ($0,16 \text{ mg dm}^{-3}$), o qual pode ser considerado ideal para o desenvolvimento da cultura de milho. De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), os valores estão entre $0,1$ e $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Resultados semelhantes foram descritos por Büll (1993) que também não observou respostas da cultura de milho à aplicação de boro e cita que, de maneira geral, as respostas da cultura de milho à aplicações de boro não são consistentes.

Touchton e Boswell (1975) e Galrão (1984) também não verificaram a influência do boro sobre a produtividade de grãos, embora outros relatos dentro da literatura indiquem a importância do boro sobre o desenvolvimento reprodutivo da cultura do milho (AGARWALA, 1981; DELL; HUANG, 1997). Resultados semelhantes foram citados por Soares (2003), que verificou a aplicação de doses crescentes de zinco e de boro, no sulco de semeadura da cultura de milho, não alterou significativamente os resultados obtidos.

Tabela 11 - Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho outonal, em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.

	Comprimento da espiga (cm)	Diâmetro da espiga (cm)	Número de grãos por fileira	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga	Produtividade de grãos (kg ha^{-1})
Com zinco	45,60	14,50	29,60	17,26	510,50	5279
Sem zinco	45,70	14,05	29,56	17,40	514,02	5070
D.M.S	2,30	0,39	1,68	0,50	27,69	523
Doses de B (kg ha^{-1})						
0	45,13	14,38	30,33	17,29	522,91	5202
1	47,25	14,25	29,29	17,66	517,01	5788
2	46,50	14,13	30,08	17,21	518,09	5112
3	45,38	14,38	29,75	17,12	509,81	4816
4	44,00	14,00	28,46	17,37	493,48	4954
Média geral	45,65	14,23	29,58	17,33	512,26	5174
C.V.(%)	7,76	4,27	8,76	4,41	8,33	15,59

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Os teores B e Zn nos grãos de milho primavera/verão não foram influenciados pela adubação com zinco e o aumento das doses de boro via solo (Tabela 12). Porém, vale destacar que em média foram obtidos teores de 3,83 (71,8%) e 21,01 (124,5%) mg kg⁻¹ de B e Zn, respectivamente, a mais nos grãos em relação aos teores foliares destes nutrientes.

Tabela 12 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) nos grãos de milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas via solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.

	Teor de B nos grãos	Teor de Zn nos grãos
	----- (mg kg ⁻³) -----	
Com zinco	9,32	38,37
Sem zinco	8,47	37,04
D.M.S.	1,24	3,95
Doses de B (kg ha⁻¹)		
0	9,96	40,50
1	9,31	35,17
2	7,40	38,67
3	7,22	35,83
4	10,57	39,25
Média geral	8,89	37,88
C.V.(%)	18,60	13,61

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Próprio autor.

Quanto aos teores de B e Zn no solo após os cultivos do milho, verificaram-se maiores teores destes dois micronutrientes quando foi realizada a adubação com Zn, porém com diferença significativa apenas após o cultivo milho primavera/verão (Tabelas 13 e 14). Estes resultados explicam os maiores teores foliares de B e Zn do milho primavera/verão, quando aplicou o Zn (Tabela 5). Com relação ao efeito de doses de B houve ajuste a função quadrática, com aumento do teor deste nutriente no solo até a dose 2,21 kg ha⁻¹ de B, após o cultivo do primavera/verão (Tabela 13). Estes resultados explicam em partes o aumento do teor de B foliar até a dose de 2,75 kg ha⁻¹ verificado apenas quando se aplicou o Zn no solo (Tabela 5).

Para o teor de Zn solo após o cultivo do milho primavera/verão constatou-se aumento linear com o incremento das doses de B (Tabela 13), porém o teor de Zn foliar só foi influenciado pelas doses de B quando aplicou o Zn no solo, sendo observado decréscimos nas doses de B acima de 2 kg ha⁻¹ (Tabela 5). Entretanto, não se observou efeito residual da adubação boratada sobre os teores de B e Zn no solo (Tabela 14).

Os teores de B no solo encontrados após os cultivos de milho primavera/verão e outonal são considerados médios (0,21 a 0,60 mg dm⁻³ de B) de acordo com Raij et al. (1997). Comparando com Touchton e Boswell (1975), os valores estão acima do adequado, pois estes consideram os teores de B médios entre 0,11 a 0,20 mg dm⁻³ para a cultura do milho. Portanto, tais resultados explicam em partes porque não houve resposta em produtividade de grãos ao incremento de doses de B.

Os teores de Zn no solo também aumentaram consideravelmente em relação ao seu teor inicial do experimento, sendo estes teores altos (>1,2 mg dm⁻³ de Zn) de acordo com Raij et al. (1997) e superior quando comparados aos obtidos nos trabalhos realizados por Sá et al. (1993), que estabeleceram um nível crítico de 0,8 mg dm⁻³ de Zn, assim como relatados por Ferreira et al. (2001), Jamami et al. (2006) e Prado, Natale e Mouro (2007), que obtiveram uma média 1,2 mg dm⁻³ e máxima de 1,8 mg dm⁻³ de Zn em Latossolo Vermelho.

Os incrementos médios de B e Zn solo após os cultivos de milho podem ser devido ao fornecimento destes micronutrientes (tratamentos) e a mineralização da matéria orgânica do solo, uma vez que a área agrícola é cultivada em sistema plantio direto e irrigada.

Tabela 13 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/2014.

	Teor de B solo	Teor de Zn solo
	----- (mg dm ⁻³) -----	
Com zinco	0,39 a	1,87 a
Sem zinco	0,31 b	1,50 b
D.M.S.	0,07	0,25
Doses de B (kg ha⁻¹)		
0	0,25 ⁽¹⁾	1,20 ⁽²⁾
1	0,40	1,48
2	0,39	1,85
3	0,37	2,00
4	0,33	1,90
Média geral	0,38	1,68
C.V.(%)	21,44	14,60

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 0,2704 + 0,1186x - 0,0268x^2$ ($R^2 = 0,84^*$ e PM = 2,21 kg ha⁻¹ de B)

⁽²⁾ $y = 1,3000 + 0,1925x$ ($R^2 = 0,82^{**}$)

Fonte: Próprio autor.

Tabela 14 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho outonal, em função do residual de doses de boro aplicadas no solo, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2014.

	Teor de B solo	Teor de Zn solo
	------(mg dm ⁻³) -----	
Com zinco	0,42	3,10
Sem zinco	0,32	2,42
D.M.S.	0,13	1,09
Doses de B (kg ha⁻¹)		
0	0,32	2,93
1	0,42	2,85
2	0,45	2,63
3	0,33	2,53
4	0,33	2,88
Média geral	0,37	2,76
C.V.(%)	15,90	19,02

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

4.2 Experimento II

Os teores foliares de P, Ca e Mg diminuíram com a adubação de zinco no solo (Tabela 15). O P e o Ca podem apresentar interações antagônicas com o Zn, interferindo na absorção do Zn ou vice-versa, como citam Boawn e Legget (1963), Adriano, Paulsen e Murphy (1971) e Olsen (1972) entre P-Zn (inibição não competitiva) e Berton et al. (1997) entre Ca-Zn (inibição competitiva).

O incremento de doses foliares de boro não influenciou os teores foliares dos macronutrientes do milho primavera/verão (Tabela 15). Esperava-se que, com a adubação boratada, houvesse aumento no teor de K e P nas folhas, já que, segundo Power e Woods (1997), a absorção de K aumenta com o fornecimento de B e quase não ocorre na sua ausência, além de o B auxiliar no transporte de P através das membranas plasmáticas.

Tabela 15 - Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho primavera/verão em função de doses de boro via foliar, com e sem a aplicação de zinco. Selvíria – MS, 2013/14.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹ de MS) -----					
Com zinco	26,92	3,26 b	26,79	3,66 b	1,53 b	2,14
Sem zinco	26,67	3,51 a	27,10	4,04 a	1,78 a	2,08
D.M.S	2,98	0,24	1,33	0,37	0,21	0,29
Doses de B foliar (g ha⁻¹)						
0	26,17	3,39	27,32	3,97	1,71	2,32
170	28,05	3,44	27,67	4,12	1,84	2,06
340	27,65	3,51	26,12	3,59	1,52	2,02
510	24,63	3,26	26,59	3,79	1,64	2,15
680	27,48	3,31	26,89	3,79	1,59	2,03
Média geral	26,80	3,39	26,92	3,85	1,66	2,12
C.V.(%)	14,52	9,29	6,45	12,49	16,83	18,26

Nota: Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

No milho outonal não houve efeito significativo da aplicação de doses de boro via foliar e do residual da adubação com zinco para os teores foliares de macronutrientes (Tabela 16).

Tabela 16 - Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) do milho outonal em função de doses de boro via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- (g kg ⁻¹ de MS) -----					
Com zinco	28,79	4,05	26,04	4,93	3,38	2,46
Sem zinco	27,61	4,03	26,11	4,69	3,41	2,43
D.M.S.	1,36	0,25	1,64	0,48	0,33	0,28
Doses de B foliar (g ha⁻¹)						
0	28,03	4,13	26,82	4,40	3,10	2,48
170	28,72	3,92	25,35	4,73	3,35	2,43
340	28,28	4,25	25,60	5,07	3,57	2,42
510	27,50	4,00	27,03	5,10	3,48	2,49
680	28,43	3,88	25,52	4,75	3,48	2,48
Média geral	28,20	4,04	26,07	4,81	3,40	2,44
C.V.(%)	6,27	8,23	8,20	12,94	12,53	14,85

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Tanto no cultivo do milho primavera/verão como no outonal (Tabelas 15 e 16), os teores foliares médios dos macronutrientes ficaram todos dentro das faixas consideradas adequadas relatadas por Cantarella, Raij e Camargo (1997), cujos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S são, respectivamente, 27-35; 2,0-4,0; 17,0-35,0; 2,5-8,0; 1,5-5,0 e 1,5-3,0 g kg⁻¹. Semelhantemente, os teores de macronutrientes foliares ficaram dentro (Ca, Mg e S), acima (P e K) ou abaixo (apenas N cultivo primavera/verão) das faixas consideradas adequadas relatadas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), cujos teores adequados de N, P, K, Ca, Mg e S são, respectivamente, 27,5 a 32,5 g kg⁻¹, 2,5 a 3,5 g kg⁻¹, 17,5 a 22,5 g kg⁻¹, 2,5 a 4,0 g kg⁻¹, 2,0 a 4,5 g kg⁻¹, 1,5 a 2,0 g kg⁻¹.

A aplicação de Zn via solo promoveu maior teor foliar de B em relação à sem Zn (Tabela 17), demonstrando mais uma vez efeito sinérgico entre estes micronutrientes. Araújo e Silva (2012), avaliando a resposta do algodão em solução nutritiva a aplicação de concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 µM L⁻¹) e de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 µM L⁻¹), verificaram que a interação B e Zn também influenciou positivamente o teor e o conteúdo de B na planta, além da eficiência de transporte e a utilização de B, sendo que o B atua de maneira diferenciada, em função do fornecimento de Zn.

A interação B e Zn foi claramente comprovada através da demonstração desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos da planta (HOSSEINI et al., 2007). As interações nutricionais interferem na composição mineral da planta podendo um elemento estimular ou inibir a absorção de outros elementos. Essas relações são muito variáveis podendo ocorrer no interior das células ou na rizosfera (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Por outro lado, os micronutrientes catiônicos inclusive o Zn no milho primavera/verão não foram influenciados pelo fornecimento de Zn ou aumento das doses de B aplicadas via foliar (Tabela 17).

Tabela 17 - Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho primavera/verão em função de doses de boro via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Com zinco	6,75 a	14,46	145,13	50,40	16,93
Sem zinco	5,67 b	15,06	138,86	53,93	16,47
D.M.S.	0,71	2,13	22,23	4,63	3,01
Doses de B foliar (g ha⁻¹)					
0	4,71	17,17	147,67	55,17	16,67
170	5,73	12,67	141,00	51,67	18,17
340	5,84	13,67	145,83	50,17	16,17
510	7,48	17,33	140,17	53,83	15,50
680	7,30	13,00	135,33	50,00	17,00
Média geral	6,21	14,77	142,00	52,17	16,70
C.V.(%)	15,00	18,81	20,41	11,57	23,50

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

O residual da adubação com zinco influenciou apenas os teores foliares de Fe e Mn no milho outonal (Tabela 18). Contrariando o conhecido antagonismo por inibição competitiva que existe entre estes micronutrientes catiônicos, porém explicado pela baixa dose de Zn aplicada (2 kg ha⁻¹).

Tabela 18 - Teores foliares de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do milho outonal em função de doses de boro via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----				
Com zinco	7,33	16,20	225,07 a	43,93 a	20,53
Sem zinco	6,60	14,53	195,20 b	39,93 b	19,07
D.M.S	1,76	2,77	20,07	2,78	1,61
Doses de B foliar (g ha⁻¹)					
0	3,67 ⁽¹⁾	11,00 ⁽²⁾	217,67	41,17	20,17
170	6,50	15,83	203,17	43,33	18,50
340	7,34	14,83	203,00	44,00	19,67
510	10,84	20,67	216,00	40,17	20,00
680	6,50	15,00	210,84	41,00	20,67
Média geral	6,97	15,37	210,13	41,93	19,80
C.V.(%)	14,12	23,47	12,45	8,63	10,60

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 3,3000 + 0,02549x - 0,000029x^2$ ($R^2 = 0,75^{**}$ e $PM = 439$ g ha⁻¹ de B)

⁽²⁾ $y = 10,9476 + 0,0302x - 0,000034x^2$ ($R^2 = 0,67^*$ e $PM = 444$ g ha⁻¹ de B)

Fonte: Próprio autor.

A adubação foliar com B influenciou apenas os teores foliares de B e Cu, sendo constatado efeito positivo até as doses estimadas de 439 e 444 g ha⁻¹ de B, respectivamente.

De acordo Cantarella, Raij e Camargo (1997), as faixas adequadas para os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn de milho são, respectivamente, 10-25; 6-20; 30-250; 20-200 e 15-100 mg kg⁻¹, portanto, verifica-se que os teores médios de Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas estavam adequados para o milho primavera/verões e outonal (Tabelas 17 e 18). Porém, constatou-se novamente que os teores de B foliares em ambos os cultivos, mesmo nas maiores doses deste nutriente, ficaram abaixo da faixa de suficiência de acordo com Cantarella, Raij e Camargo (1997), mas corroborando com os valores citados por Martinez, Carvalho e Souza (1999). Isto indica que este híbrido de milho não é exigente em boro, já que não foram observados sintomas de deficiência deste micronutriente nas plantas.

A altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos do milho primavera/verão não apresentaram diferenças em relação a adubação com Zn e resposta as crescentes doses de B via foliar (Tabela 19).

Tabela 19 - Altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho primavera/verão em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/14.

	Altura da planta (m)	Altura de inserção (m)	Diâmetro do colmo (cm)	ICF	Massa de 100 grãos (g)
Com zinco	2,55	1,19	2,29	68,87	33,08
Sem zinco	2,58	1,18	2,25	65,57	34,10
D.M.S.	0,04	0,04	0,11	4,57	1,13
Doses de B foliar (g ha⁻¹)					
0	2,57	1,18	2,27	68,55	32,84
170	2,58	1,22	2,20	69,60	34,28
340	2,55	1,16	2,22	68,24	33,73
510	2,57	1,19	2,35	65,39	33,77
680	2,56	1,18	2,31	64,32	33,39
Média geral	2,57	1,18	2,27	67,22	33,59
C.V.(%)	2,70	5,11	7,59	10,48	5,18

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Próprio autor.

Apesar do B atuar também na translocação de açúcares (MALAVOLTA; PIMENTEL; ALCARDE, 2002) para os órgãos propagativos, não foram observados resultados significativos em relação à massa de 100 sementes. Segundo Farinelli e Lemos (2012), a massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de

nutrientes e pelas condições climáticas durante a fase de enchimento de grãos. As outras características biométricas também estão ligadas ao genótipo da planta, o que, provavelmente, explicaria tais resultados.

Bevilaqua, Silva Filho e Possenti (2002) afirmam que a aplicação foliar de B pode aumentar o número de vagens e a massa de sementes por planta na cultura da soja, quando realizada na fase de floração. Assim, por ser o B praticamente imóvel no floema, pode-se afirmar que a aplicação deste nutriente deve ser feita de forma parcelada, durante a floração e pós-floração (TASSO JÚNIOR; MARQUES; NOGUEIRA, 2004). Volkweiss (1991) e Tanaka e Mascarenhas (1992) também relataram a necessidade de parcelamento da aplicação de B por via foliar, pela baixa mobilidade desse nutriente no interior do floema, pois forma complexos de baixa solubilidade e, portanto, de difícil redistribuição das folhas mais maduras para os pontos de maior exigência como os tecidos meristemáticos. Segundo os autores, isto implica a necessidade de uma constante disponibilidade ou suprimento desse nutriente durante toda a fase de desenvolvimento das plantas.

No milho outonal, apenas o diâmetro do colmo foi influenciado e maior com o residual da adubação de zinco aplicado no solo (Tabela 20). Esse aumento no diâmetro pode ser um fator interessante para a cultura do milho, pois pode acarretar em menor risco de acamamento das plantas, conseqüentemente, melhorando o stand final.

Tabela 20 - Altura da planta, altura de inserção, diâmetro do colmo, ICF e massa de 100 grãos de milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.

	Altura da planta (m)	Altura de inserção (m)	Diâmetro do colmo (cm)	ICF	Massa de 100 grãos (g)
Com zinco	2,45	1,21	2,08 a	59,04	24,60
Sem zinco	2,46	1,24	1,92 b	57,94	23,60
D.M.S	0,08	0,04	0,12	1,81	1,31
Doses de B foliar (g ha⁻¹)					
0	2,48	1,21	2,03	58,43 ⁽¹⁾	24,33
170	2,51	1,23	1,94	57,58	24,00
340	2,45	1,22	2,05	59,60	24,66
510	2,42	1,22	2,06	60,59	23,41
680	2,42	1,24	1,90	56,39	24,10
Média geral	2,46	1,22	1,99	58,52	24,10
C.V.(%)	4,72	4,94	9,65	4,77	8,37

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 57,624071 + 0,012397x - 0,000019x^2$ ($R^2 = 0,40^*$ e $PM = 326 \text{ g ha}^{-1}$ de B)

Fonte: Próprio autor.

Com relação a aplicação de doses de B via foliar no milho outonal, constatou-se resposta apenas para o ICF, apresentando ajuste quadrático até a dose estimada de 326 g ha⁻¹ de B. Uma possível explicação pode estar relacionada ao aumento do teor de Cu foliar mencionado anteriormente (Tabela 18), o qual é importante para o fotossistema II da fotossíntese. Segundo Malavolta, Boaretto e Paulino (1991), esse nutriente tem importante papel na organização e no funcionamento de membranas (atividade da ATPase e absorção iônica).

A adubação com Zn e as doses crescentes de B foliar não influenciaram o comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho primavera/verão (Tabela 21), demonstrando mais uma vez que este híbrido de milho não é exigente em boro.

Tabela 21 - Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco. Selvíria – MS, 2013/14.

	Comprimento da espiga (cm)	Diâmetro da espiga (cm)	Número de grãos por fileira	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
Com zinco	18,75	10,00	36,00	15,95	571,98	6398
Sem zinco	19,29	10,16	36,55	15,70	574,28	6850
D.M.S	0,82	0,33	1,53	0,81	40,80	496
Doses de B foliar (g ha⁻¹)						
0	18,36	9,96	35,84	15,40	547,93	6561
170	18,36	10,25	35,41	15,74	558,92	6761
340	19,63	10,12	37,07	16,02	591,04	6478
510	19,67	9,99	36,40	16,31	596,87	6493
680	19,07	10,07	36,65	15,66	570,90	6825
Média geral	19,02	10,07	36,27	15,83	573,13	6624
C.V.(%)	6,61	4,99	6,49	7,94	10,97	11,54

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

O residual da adubação com Zn proporcionou maior diâmetro da espiga e número de fileiras por espiga, porém não a ponto de interferir na produtividade de grãos do milho outonal (Tabela 22).

Em relação as doses crescentes de B foliar no milho outonal, estas novamente não influenciaram o comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos (Tabela 22).

Tabela 22 - Comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e produtividade de grãos de milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.

	Comprimento da espiga (cm)	Diâmetro da espiga (cm)	Número de grãos por fileira	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga	Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)
Com zinco	45,80	14,05 a	29,60	17,80 a	526,27	4396
Sem zinco	45,95	13,60 b	29,50	17,23 b	508,03	4512
D.M.S	2,27	0,38	1,78	0,48	33,98	533
Doses de B foliar (g ha⁻¹)						
0	46,13	13,88	29,95	17,25	517,30	4424
170	47,13	13,75	29,41	17,91	527,09	4291
340	44,75	13,50	29,16	17,41	508,09	4499
510	45,88	14,13	29,46	17,66	518,41	4397
680	45,50	13,88	29,75	17,33	514,87	4657
Média geral	48,88	13,83	29,55	17,51	517,15	4454
C.V.(%)	7,62	4,24	9,29	4,18	10,13	18,44

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

A aplicação de B não apresentou resultado significativo para os componentes avaliados, corroborando com Peruchi (2006) que também não obteve resposta para os componentes de produção e produtividade da cultura do trigo em trabalho onde foram avaliados os efeitos da aplicação de boro e zinco via foliar variando as fontes dos micronutrientes, assim como Kappes, Golo e Carvalho (2008), quando avaliaram a aplicação de boro via foliar na cultura da soja. Por outro lado, discorda de Schon e Blevins (1990), os quais observaram aumento na produtividade de soja tratada com B foliar, e de Carvalho et al. (1996), que obtiveram aumentos de produtividade de algodão com aplicações foliares de B.

Para os teores B e Zn nos grãos do milho primavera/verão não se verificou influência da adubação com zinco no solo e do aumento das doses de B via foliar isoladamente (Tabela 23). Entretanto, houve interação significativa entre doses de boro aplicadas via foliar e

adubação com zinco no solo para o teor de zinco nos grãos de milho primavera /verão, sendo que o teor de Zn aumentou linearmente com o incremento das doses de B, apenas quando não se adubou com zinco, indicando novamente uma interação positiva entre estes micronutrientes. Este resultado é interessante para biofortificação agrônômica com Zn do milho, que é um dos cereais mais importantes do mundo para nutrição animal e humana.

Em média nos grãos foram obtidos 2,53 (40,7%) e 20,77 (124,3%) mg kg⁻¹ de B e Zn, respectivamente, a mais em relação aos teores foliares destes nutrientes.

Tabela 23 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) nos grãos de milho primavera /verão em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.

	Teor de B nos grãos	Teor de Zn nos grãos
	----- (mg kg ⁻¹ de MS) -----	
Com zinco	8,84	37,90
Sem zinco	8,64	37,03
D.M.S.	1,24	2,32
Doses de B foliar (g ha⁻¹)		
0	8,72	37,25
170	7,68	34,25
340	9,49	39,83
510	9,10	36,50
680	8,73	39,50
Média geral	8,74	37,47
C.V.(%)	18,48	8,07

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 24 - Desdobramento da interação entre doses de boro aplicadas via foliar e adubação com zinco no solo para o teor de zinco (Zn) nos grãos de milho primavera /verão. Selvíria – MS, 2013/2014.

Doses de B foliar (g ha ⁻¹)	Teor de Zn nos grãos (mg kg ⁻¹ de MS)	
	Com zinco	Sem zinco
0	39,50	35,00 ⁽¹⁾
170	35,50	33,00
340	40,00	39,60
510	36,50	36,50
680	38,00	41,00
D.M.S.	5,18	

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $y = 33,9333 + 0,0091x$ ($R^2 = 0,55^*$)

Fonte: Próprio autor.

Quanto aos teores de B e Zn no solo após o cultivo do milho primavera/verão, não houve diferença para os teores destes micronutrientes quando se adubou com Zn e nem resposta ao fornecimento de B via foliar (Tabela 25), sendo que este último não era de se esperar mesmo, e por isso, não foi verificado efeito para no milho outonal desta adubação borratada (Tabela 26). Dessa forma, verifica-se que não houve relação entre o B e Zn no solo como o observado no experimento I (adubação boratada no solo) (Tabelas 13 e 14), o qual teve mais reflexos no sinergismo entre estes nutrientes na planta de milho.

Os teores de B no solo encontrados após os cultivos de milho primavera/verão e outonal, são considerados médios (0,21 a 0,60 mg dm⁻³ de B) de acordo com Rajj et al. (1997), e diminuíram no solo após a colheita do milho outonal. Comparando com Touchton e Boswell (1975), os valores estão acima do adequado, pois estes consideram os teores de B médios entre 0,11 a 0,20 mg dm⁻³ para a cultura do milho. Portanto, tais resultados explicam em partes porque não houve resposta em produtividade de grãos ao incremento de doses de B.

O teor de Zn no solo foi maior após a colheita do milho outonal onde havia o residual da adubação com Zn (Tabela 26).

Os teores de Zn no solo após a colheita do milho primavera/verão também aumentaram um pouco em relação ao seu teor inicial do experimento, sendo estes teores um pouco altos (>1,2 mg dm⁻³ de Zn) de acordo com Rajj et al. (1997). Porém, vale destacar que os teores de Zn no solo em média diminuíram e estavam baixos onde não foi aplicado Zn ou B, após a colheita do milho outonal. Ainda assim, estavam iguais ou superiores quando comparados aos obtidos nos trabalhos realizados por Sá et al. (1993), que estabeleceram um nível crítico de 0,8 mg dm³ de Zn. Entretanto, em média ficaram próximos dos teores de Zn relatados por Ferreira et al. (2001), Jamami et al. (2006) e Prado, Natale e Mouro (2007), que obtiveram uma média 1,2 mg dm⁻³ e máxima de 1,8 mg dm⁻³ de Zn em Latossolo Vermelho.

Os incrementos médios de B e Zn solo após o primeiro cultivo de milho podem ser devido ao fornecimento destes micronutrientes (tratamentos, principalmente com Zn) e a mineralização da matéria orgânica do solo argiloso, uma vez que a área agrícola é cultivada em sistema plantio direto e irrigada.

Tabela 25 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho primavera/verão, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2013/2014.

	Teor de B solo	Teor de Zn solo
	----- (mg dm ⁻³) -----	
Com zinco	0,44	1,45
Sem zinco	0,30	1,27
D.M.S.	0,17	0,37
Doses de B foliar (g ha⁻¹)		
0	0,27	1,32
170	0,38	1,55
340	0,40	1,43
510	0,37	1,23
680	0,44	1,28
Média geral	0,37	1,36
C.V.(%)	9,17	26,71

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 26 - Teores de boro (B) e zinco (Zn) no solo após o cultivo do milho outonal, em função de doses de boro aplicadas via foliar, com e sem residual da adubação com zinco no solo. Selvíria – MS, 2014.

	Teor de B solo	Teor de Zn solo
	----- (mg dm ⁻³) -----	
Com zinco	0,22	1,58 a
Sem zinco	0,22	0,79 b
D.M.S.	0,05	0,50
Doses de B foliar (g ha⁻¹)		
0	0,20	0,80
170	0,22	1,33
340	0,23	1,38
510	0,23	1,18
680	0,23	1,25
Média geral	0,22	1,19
C.V.(%)	23,84	13,29

Nota: Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Experimento I

A aplicação de Zn proporcionou maiores teores foliares de N no milho safrinha e de S, B e Zn no milho primavera/verão, e aumentou os teores de B e Zn no solo após o primeiro cultivo do milho.

O incremento da dose de B aumentou linearmente os teores foliares de Cu e Mn no milho primavera/verão; e de B até a dose de 2,75 kg ha⁻¹ apenas quando se aplicou Zn. Porém, doses de B acima de 2 kg ha⁻¹ diminuem o teor de Zn foliar do milho.

No milho outonal houve efeito residual da adubação boratada associada à adubação com zinco, com incremento linear dos teores foliares de B e Cu e positivo para Ca e Mg, quando são aplicadas doses baixas de B.

5.2 Experimento II

A adubação com Zn no solo propiciou maiores teores de Zn no solo e B foliar, e menores teores P, Ca e Mg foliar no milho primavera/verão.

O aumento das doses de B via foliar incrementou os teores de Zn nos grãos do milho primavera/verão, apenas quando não se adubou com Zn.

O residual da adubação com Zn no solo proporcionou maiores teores de Fe e Mn foliar, diâmetros de colmo e espiga e número de fileiras por espiga de milho outonal.

Doses crescentes de B aplicadas via foliar influenciam positivamente o ICF e teores de B e Cu foliar do milho outonal

6 CONCLUSÕES

A aplicação de Zn no solo propicia maiores teores de Zn no solo e B foliar no milho primavera/verão, independentemente da dose de B aplicada via foliar.

Doses crescentes de B via foliar aumentam o teor de Zn nos grãos do milho primavera/verão, apenas quando não se adubou com Zn, e o teor de B foliar do milho outonal.

A adubação com zinco no solo e o incremento das doses de boro tanto via solo como foliar não influenciam os componentes de produção e produtividade de grãos de milho primavera/verão e outonal, em solo argiloso de Cerrado com baixo teor de B.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A. Análise de solo para micronutrientes: tema de reuniões de laboratórios. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.74, p. 9, 1996.
- ABREU, C. A.; LOPES, A. S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Belém, 1985. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 1-76.
- ADRIANO, D. C.; PAULSEN, G. M.; MURPHY, L. S. Phosphorus-iron and phosphorus zinc relationships in corn seeding affected by mineral nutrition. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 36-39, 1971.
- AGARWALA, P. N.; SHARMA, C.; CHATTERJEE, C.; SHARMA, C. P. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 3, n. 1-4, p. 329-336, 1981.
- ARAÚJO, E. O.; SILVA, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 7, n. 1, p. 720-727, 2012.
- BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 120 p. (Boletim Técnico, 9).
- BARBOSA, C. A. **Manual da cultura do milho (*Zea mays*)**. Viçosa, MG: Agrojuris, 2007. 123 p.
- BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; CAMARGO, O. A.; BATAGLIA, O. C. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 685-691, 1997.
- BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA FILHO P. M.; POSSENTI, J. C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 31-34, 2002.
- BOARETTO, A. E.; TIRITAN, C. S.; MURAOKA, T. Effects of foliar applications of boron on citrus fruit and on foliage and soil boron concentration. In: BELL, R. W.; RERKASEM, B. (Ed.) **Boron in Soils and Plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 121-123.
- BOARETTO, R. M. **Boro (¹⁰B) em laranjeira: absorção e mobilidade**. 2006. 120 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- BOAWN, L. C.; LEGGET, G. E. Zinc deficiency of the Russet Burbank potato. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 27, n. 1, p. 137-141, 1963.

BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 63-145.

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; MAURO, A. O. Doses de zinco em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 6, p. 913-918, 1991.

CAMARGO, O. A. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 244 p.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997, 285p. (Boletim técnico, 100).

CARVALHO, L. H.; SILVA, N. M.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; KONDO, J. I.; CHIAVEGATO, E. J. Aplicação de boro no algodoeiro, em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 265-266, 1996.

CHAPMAN, V. J.; EDWARDS, D. G.; BLAMEY, F. P. C.; ASCHER, C. J. Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In: BELL, R. W.; RERKASEM, B. Boron in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p.151-155.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja doutor do seu milho**. (Arquivo do Agrônomo, n. 2, p. 1-24, 1995.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Primavera/verão Agrícola 2013/2014: décimo segundo levantamento: setembro/2015**. Brasília, DF: CONAB, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 5 out. 2015.

CRUZ, M. C. P.; NAKAMURA, A. M.; FERREIRA, M. E. Adsorção de boro pelo solo: efeito da concentração e do pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 6, p. 621-626, jun. 1987.

DECARO, S. T.; VITTI, G. C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELLO, W. J. Efeitos de doses e fontes de zinco na cultura de milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 58, n. 1-2, p. 25-36, 1983.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Instituto de Potássio e Fosfato, 1991. p. 65-78.

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, n. 1/2, p. 103-120, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. 2002. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 77, n. 1, p. 185-268, 2002.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 63-70, 2012.

FERREIRA, A. C. B. **Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho**. 1997. 73 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do Milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 365-369, 1996.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 2, p. 229-33, 1994.

GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho - Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 255-60, 1995.

GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 5, n. 3, p. 167-170, 1981.

- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho, e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 811-6, 1984.
- GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. **Aspectos econômicos da produção e utilização do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica 74).
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. **Boron in soils and plants: reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 35-48, 1997.
- GUPTA, U. C. **Boron and its role in crop production**. Charlottetown: CRC, 1993. 237 p.
- HIBBERD, E. E. Methods of correcting zinc deficiency in irrigated maize grown on a black earth soil, Darling Downs, Queensland. **Journal of Agriculture and Animal Science**, Brisbane, v. 27, n. 1, p. 89-94, 1970.
- HOSSEINI, S. M.; MAFTOUN, M.; KARIMIAN, N.; RONAGHI, A.; EMAM, Y. Effect of Zinc x Boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 30, n. 5, p. 773-781, 2007.
- HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, n. 1-2, p.103-120, 1994.
- HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants: the mechanism of phloem mobility of boron. **Plant Physiology**, Rockville, v. 113, n. 2, p. 649-655, 1997.
- JAMIMI, N.; BÜLL, L. T.; CORRÊA, J. C.; RODRIGUES, J. D. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 99-105, 2006.
- KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008.
- LAWRENCE, K., BHALLA, P., MISRA, P. C. Changes in NAD(P) H dependent redox activities in plasmalemma-enriched vesicles isolated from boron-and zinc-deficient chick pea roots. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 652-657, 1995.
- LENOBLE, M. E.; BLEVINS, D. G.; MILES, R. J. **Boro extra mantém crescimento radicular sob condições de alumínio tóxicos**. Informações Agronômicas, n. 92, p. 3-4, 2000.
- LIMA FILHO, O. F. **Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí amarelo)**. 1991. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

- LIMA, S. F.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G. Resposta do feijoeiro à adubação foliar de boro, molibdênio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 462-467, 1999.
- LIMA, V. I. **Crescimento e produção de gergelim cv. G3 em função de zinco e boro**. 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: Associação Nacional para difusão de adubos, 1999. 70 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p., 1980.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 1-34.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2 v.; p. 541-593.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL, F. G.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic, 1995. p. 379-396.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: [s. n.], 1999. p. 143-168.
- MELARATO, M. Micronutrientes no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação de Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 161-174.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. Principles of plant nutrition. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 667 p.

- MOCELLIN, R. S. P. **Princípios da adubação foliar: coletânea de dados e revisão bibliográfica.** Canoas: [s. n.], 2004. Disponível em: <<http://www.atividaderural.com.br/artigos/4ee8d034c1796.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2016.
- MOZAFAR, A. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 3, p. 319-332, 1987.
- NUNES, J. L. S. **Características do milho (*Zea mays*).** [S. l.: s. n.] 2008. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/caracteristicas.aspx>>. Acesso em: 5 out. 2015.
- OLIVEIRA, M. F. G.; NOVAES, R. F.; NEVES, J. C. L.; ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 609-615, 1999.
- OLSEN, S. R. **Micronutrients interactions.** In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
- PECK, T. R.; WALKER, W. M.; BOONE, L. V. Relationship between corn (*Zea mays* L.) yield and leaf levels of ten elements. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 299-301, 1969.
- PERUCHI, M. **Efeitos da aplicação de fertilizantes foliares em culturas anuais.** 2006. 66 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.
- POWER, P. P.; WOODS W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. In: DELL B, ROWN PH, BELL RW (Ed.) **Boron in soil and plants: reviews.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p.1-14.
- PRADO, R. M.; NATALE, W.; MOURO, M. C. Fontes de zinco aplicado via semente na nutrição e crescimento inicial do Milho cv. FORT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 16-24, 2007.
- PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E.; VIDAL, A. A. de; MARCELO, A. V. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1001. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, 2008.
- PUMPHREY, F. V.; KOEHLER, F. E.; ALLMARAS, R. R.; ROBERTS, S. Method and rate of applying zinc sulfate for corn on zinc deficient soil in Western Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, p. 235-238, 1963.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111 p.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; TANK JR., A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranja Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, Brasília, DF, v. 38, n. 5, p. 627-634, 2003.

RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 99-112.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho de milho se desenvolve**. Arquivo do Agrônomo POTAFOS, Piracicaba, n. 103, p. 1-20, 2003.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.

SA, M. E.; ARF, O.; BUZETTI, S.; MURAOKA, T. Estabelecimento de nível crítico do zinco no solo para a cultura do milho utilizando dose de três extratores químicos. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 2, n. 1, p. 27-47, 1993.

SAKAL, R.; SINGH, A. P.; SINGH, B. P. A comparative study of the different methods and sources of zinc application. **Indian Journal Agricultural Science**, New Delhi, v. 17, p. 90-94, 1983.

SANTOS, I. S.; BARBEADO, C. J.; PIPITAI, R.; FERREIRA, S. M.; NAKAGAWA, J. Estudo da relação Ca x B na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 8, n. 2, p. 19-23, 1990.

SCHON, M. K.; BLEVINS, D. G. Foliar boron applications increase the final number of branches and pods on branches of field-grown soybean. **Plant Physiology**, Rockville, v. 92, p. 602-607, 1990.

SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, n. 1-2, p. 121-148, 1997.

SINHA, P.; JAIN, R.; CHATTERJEE, C. Interactive effect of boron and zinc on growth and metabolism of mustard. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 31, n. 1-2, p. 41-49, 2000.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em

Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOUZA, E. C. A.; COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. **Soja: Nutrição, correção do solo e adubação**. Campinas: Fundação Cargill. 1992. 60 p. (Série Técnica, 7)

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, G. A. de. **A cultura do amendoim**. Jaboticabal: Unesp, 2004. 218 p.

THORNE, N. Zinc deficiency and its control. **Advances in Agronomy**, New York, v. 9, p. 31-61, 1957.

TOUCHTON, J. T.; BOSWELL, F. C. Boron application for corn grown on selected southeastern soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, n. 2, p. 197-200, 1975.

TOUCHTON, J. T.; HARGROVE, W. L. Nitrogen sources and methods of applications for no-tillage corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 823- 826, 1982.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: world marketsand trade**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2015.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1991, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: POTAFOS/ CNPq, 1991. p. 391-412.

WOODRUFF, J. R.; MOORE, F. W.; MUSEN, H. L. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and ear leaf nutrient concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 3, p. 520-524, 1987.

YAMADA, T. Será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 1-5, 2000

YAMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 84, p. 1-8, 1998.