UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CARLOS HENRIQUE OLIVEIRA DE DAVID

NUTRIÇÃO BORATADA NA CULTURA DA SOJA

CHAPADÃO DO SUL - MS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CARLOS HENRIQUE OLIVEIRA DE DAVID

NUTRIÇÃO BORATADA NA CULTURA DA SOJA

Orientador: Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL - MS
2019

Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul

CERFITICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Carlos Henrique Oliveira de David

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Cid Naudi Silva Campos

NUTRIÇÃO BORATADA NA CULTURA DA SOJA

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Cid Naudi Silva Campos

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr.(a) Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro

Chapadão do Sul, 05 de Julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo o dom da vida, por me proporcionar a oportunidade de realizar esta pós-graduação e não deixar faltar fé nos momentos mais difíceis da minha caminhada.

Aos meus pais **Rubens de David** por todo o conhecimento pratico que tem me passado e pela demonstração de que com a paciência tudo se resolve, e **Gisley Dias Oliveira de David** por toda a exatidão (se tem algo á resolver que seja ontem), meu irmão **Ricardo Oliveira de David** que de alguma maneira me ajudou a ter foco, pois sei que sou um espelho para ele, com isso quero que ele trilhe pelo melhor caminho e também por sempre ter me auxiliado ajudando o nosso pai nos momentos em que tinha que me ausentar devido aos estudos e minha avó **Eunice Dias de Oliveira** por me ensinar que ajudar o próximo nos faz bem. Obrigado a todos vocês por sempre estar me incentivando e acreditando em mim, a minha inspiração são vocês.

Um agradecimento especial à minha namorada **Patrícia Dias**, por toda ajuda em qualquer situação, pela paciência, carinho, pelos incontáveis momentos de alegrias e por ser compreensível nos momentos em que não estou próximo.

Ao meu grande professor, pesquisador, orientador e amigo, **Dr. Cid Naudi Silva Campos** que dedicou seu precioso tempo me mostrando disciplina, valores, ética e que todo o conhecimento teórico deve ser colocado em prática, compartilhou suas experiências de forma que minha formação fosse também um aprendizado de vida, meu respeito e agradecimento.

À todas as amizades que conquistei no **GECENP** (Grupo de Estudos do Cerrado em Nutrição de Plantas) que me proporcionaram bons momentos de diversão e descontração em especial aos momentos em que estávamos em missão onde todos não mediram esforços na realização deste trabalho.

Aos que compõem á banca examinadora pela contribuição na correção deste trabalho.

A todos os professores, funcionários e colegas da UFMS que, direta ou indiretamente me ajudaram a construir e realizar este sonho.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

FIGURA		PÁGINA
1	Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação: (A) Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa, safra 2017/2018; (B) safra 2018/2019 e (C) Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa, safra 2017/2018 e (D) safra 2018/2019.	14
2	Efeito das doses de B, no teor de B no solo, (a) profundidade de 0 - 0,2 m (média das duas fontes de B) e (b) profundidade de 0,2 - 0,4 m (média das duas fontes de B) em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa cultivado com soja.	22
3	Efeito das doses de B, no teor de B no solo, (a) profundidade de 0 - 0,2 m (média das duas fontes de B) e (b) profundidade de 0,2 - 0,4 m (média das duas fontes de B) em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa cultivado com soja.	23
4	Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa.	24
5	Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja cultivada em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa.	25
6	Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa.	26
7	Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja cultivada em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa.	26

CAPITULO 2

FIGURA		PÁGINA
1	Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação: (A) safra 2017/2018; (B) safra 2018/2019.	34
2	Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja.	39
3	Sintomas de toxicidade de B em plantas de soja em resposta a dose de 3 mg dm^{-3}.	40
4	Resposta da soja á dose de 0; 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.	41
5	Sintomas de toxicidade de B em plantas de soja (primeiro trifólio) em resposta a dose de 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.	41
6	Sintomas de toxicidade de B (folha velha) induzindo a deficiência de Zn (folhas novas).	42
7	Planta sem o primeiro trifólio ocasionado pela toxicidade de B.	42
8	Resposta do sistema radicular da soja á dose de 0; 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.	43
9	Estande final prejudicado devido a toxicidade de B.	43
10	Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja.	44

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

TABELA		PÁGINA
1	Teores de boro no solo nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, teor de boro foliar (BF), e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa nas safras 2017/2018 e 2018/2019.	20
2	Teores de boro no solo nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, teor de boro foliar (BF), e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa nas safras 2017/2018 e 2018/2019.	21

CAPITULO 2

TABELA		PÁGINA
1	Teor de boro foliar (BF) e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019.	38

RESUMO

Entre as culturas anuais a soja é uma das mais exigentes em boro (B). No entanto, o manejo da adubação boratada deve ser realizado com muito cuidado, principalmente se tratando de doses a serem aplicadas, devido à estreita faixa entre o nível de deficiência, adequado e tóxico para este nutriente. Outro aspecto importante relacionado ao excesso de B são os sintomas visuais característicos que podem ser identificados. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito de fontes e doses de B no teor de B foliar e no solo, a sintomatologia da toxicidade de B e a produtividade da cultura da soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis concentrações (0; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3}), essas doses visavam elevar os teores de B que havia no solo para os teores citados anteriormente, e duas fontes (ulexita e ácido bórico), foram avaliados a sintomatologia de toxicidade de B, os teores de B no solo e na planta e a produtividade. Os resultados obtidos indicaram que independente da fonte aplicada os sintomas de toxicidade foram os mesmos a partir da dose de 3,00 mg dm^{-3}, os teores de B no solo e no tecido foliar da soja aumentaram linearmente com o aumento das doses aplicadas no solo, nas doses de 1,65 mg dm^{-3} e 1,59 mg dm^{-3} de B ocorreu a máxima produtividade no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, respectivamente.

Palavras-chave: *Glycine max*. Desordem nutricional. Nutrição de plantas. Micronutriente.

ABSTRACT

Among the annual crops, soybeans are one of the most demanding in boron (B). However, the management of borated fertilization should be carried out with great care, especially in the case of doses to be applied, due to the narrow range between the level of deficiency, adequate and toxic for this nutrient. Another important aspect related to excess B is the characteristic visual symptoms that can be identified. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of sources and doses of B on leaf B and soil content, the symptomatology of B toxicity and yield of soybean crop. The experimental design was a randomized complete block design, with three replicates, in a 6x2 factorial scheme, six concentrations (0, 0.5, 1, 2, 3 and 4 mg dm^{-3}). These doses were aimed at increasing the levels of B not only for the contents mentioned. Two sources (Ulexite and Boric Acid) evaluated the toxicity symptoms of B, the B levels in soil and plant, and productivity. The results indicated that regardless of the source applied the toxicity symptoms were the same from the dose of 3.00 mg dm^{-3}, the B levels in the soil and in the soybean leaf tissue increased linearly with the increase of the doses applied in the soil, at the doses of 1.65 mg dm^{-3} and 1.59 mg dm^{-3} of B, the maximum productivity was observed in the Red Latosol of the clay texture and the Quartzarênico of the sandy texture, respectively.

Keywords: Glycine max. Nutritional disorder. Nutrition of plants. Micronutrient.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 10
FONTES E DOSES DE BORO NA SOJA 10
RESUMO 10
ABSTRACT 11
INTRODUÇÃO 12
MATERIAL E MÉTODOS 13
RESULTADOS E DISCUSSÃO 19
CONCLUSÕES 27
REFERÊNCIAS 27
CAPÍTULO 2 30
SINTOMATOLOGIA DE TOXICIDADE DE BORO NA SOJA 30
RESUMO 30
ABSTRACT 31
INTRODUÇÃO 32
MATERIAL E MÉTODOS 33
RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
CONCLUSÕES 43
REFERÊNCIAS 44

CAPÍTULO 1

FONTES E DOSES DE BORO NA SOJA

RESUMO: O manejo da adubação boratada é crucial para aumento da produtividade da soja *Glycine max (L.) Merrill*, as doses de boro (B) recomendadas podem não ser suficientes para atender às exigências dessa cultura, outro aspecto importante que deve ser considerado no manejo da adubação boratada é a escolha da melhor fonte para os diferentes tipos de solo. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito de fontes e doses de B no teor de B foliar, no solo e na produtividade da cultura da soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa. O experimento foi desenvolvido em dois locais, repetido em duas safras. Foram instalados dois experimentos, em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, e em Neossolo Quartzarênico de textura arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis concentrações (0; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3}), essas doses visavam elevar os teores de B que havia no solo para os teores citados anteriormente, e duas fontes (Ulexita e Ácido Bórico), com três repetições. Os resultados obtidos indicaram que independentemente da fonte aplicada os teores de B no solo e no tecido foliar da soja aumentaram linearmente com o aumento das doses aplicadas no solo, nas doses de 1,65 mg dm^{-3} e 1,59 mg dm^{-3} de B ocorreu a máxima produtividade no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa respectivamente.

Palavras-chave: *Glycine max*. Acido bórico. Micronutriente. Ulexita.

ABSTRACT: Borate fertilizer management is crucial to increase Glycine max (L.) Merrill soybean yield, the recommended boron doses (B) may not be sufficient to meet the requirements of this crop, another important aspect to be considered in the management of borated fertilization is the choice of the best source for different types of soil. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of sources and doses of B on leaf B content, soil and crop yield of soybean cultivated in a clayey textured Latosol with a clay texture and a sandy texture. The experiment was carried out in two sites, repeated in two harvests, for which two experiments were installed in a Red Clay Latosol with a clay texture and a Quartzarenic Sandstone. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme 6 x 2, being six concentrations (0, 0.5, 1, 2, 3 and 4 mg dm^{-3}), these doses were aimed at raising soil B levels to the levels. And two sources (Ulexite and Boric Acid), with three replicates. The results indicated that, independently of the applied source, the B levels in the soil and in the foliar tissue of the soybean increased linearly with the increase of the doses applied in the soil, at the doses of 1.65 mg dm^{-3} and 1.59 mg dm^{-3} of B occurred the maximum productivity in the Red Latosol with a texture of argilous texture and Quartzarênico Neosol of Sand texture respectively.

Keywords: Glycine max. Boric acid. Micronutrient. Ulexita.

INTRODUÇÃO

A deficiência de boro (B) é constatada em vários tipos de solo, em diversas partes do mundo (GOLDBERG; SUAREZ, 2012). Entre as plantas mais exigentes em B, destaca-se a soja, sendo frequente a deficiência nessa cultura (MASCARENHAS et al., 2014).

O B participa de vários processos bioquímicos e fisiológicos, como no transporte de açúcares, respiração celular, lignificação, metabolismo de carboidratos, metabolismo de ácido indol acético (AIA), metabolismo de RNA, metabolismo de ascorbato, metabolismo fenólico, além de ter função no desenvolvimento de órgãos reprodutivos, síntese da parede celular e integridade da membrana plasmática (DUPAS, 2012; LIMA et al., 2013; FAROOQ et al., 2018). De acordo com Wasaya et al. (2017); Hasanuzzaman et al. (2018), as plantas são mais tolerantes ao estresse abiótico quando os níveis B estão adequados.

A adubação representa grande parte do custo de produção de uma cultura, e estabelece o aumento da produtividade (DOURADO NETO et al., 2012). O uso de técnicas agrícolas intensivas vem promovendo uma extração crescente de micronutrientes dos solos, sem que haja uma reposição adequada (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

Considerando que o B na planta é praticamente imóvel, é de suma importância a sua disponibilidade em todo o perfil de solo, evitando que haja um impedimento químico e dificulte o crescimento das raízes em profundidade. Portanto, a adubação boratada promove sistemas radiculares mais desenvolvidos e mais eficientes em buscar água e nutrientes em profundidade no solo (WIMMER; EICHERT, 2013).

As doses de B, recomendadas para atender às exigências das culturas, podem não ser o suficiente para que elas expressem o seu máximo potencial produtivo. Pois não é levado em consideração o percentual de argila do solo no momento da adubação boratada. A capacidade de adsorção desse nutriente é influenciada pela textura do solo, ou seja, quanto maior o teor de argila maior a adsorção (YAMADA, 2000).

Além disso, os materiais genéticos atuais são outros, a produtividade almejada aumentou, e as tabelas de interpretação e recomendação ainda são as mesmas. Podem ter diferenças nas exigências de B pelas novas cultivares de soja que surgem no mercado a cada safra.

Para a cultura da soja, a dose recomendada de B, segundo a EMBRAPA (1999), é de 1,5 kg ha^{-1} de B. Segundo Alvarez et al. (1999), deve-se realizar a adubação com B no cerrado a cada quatro ou cinco anos, com aplicação de 1 a 2 kg ha^{-1} de B. Fageria (2000) assegura que a deficiência de B pode ser corrigida com a aplicação de 1 a 3 kg ha^{-1} desse nutriente para as culturas anuais na maioria dos solos. Trautmann et al. (2014) trabalhando com doses crescentes de B em Latossolo Vermelho Eutroférrico com textura arenosa, relatou interferência de forma negativa no desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas de soja com a concentração de 2 mg dm^{-3}.

Existem vários resultados experimentais evidenciando a vasta variabilidade de respostas à aplicação de boro e, por essa razão, seria bastante interessante avaliar doses maiores do micronutriente levando em consideração diferentes fontes desse nutriente (CERETTA et al., 2005). Face ao exposto, mostra-se necessário o pleno conhecimento da dose e da fonte para o fornecimento de B, podendo auxiliar o produtor no desenvolvimento de estratégias de manejo, capazes de alavancar a produtividade.

Diante disso as hipóteses desse trabalho foram (a) a textura do solo deve ser levada em consideração no momento da recomendação da adubação boratada; (b) para atingir o máximo potencial produtivo é necessário o aumento da dose de B; (c) os teores de B foliares considerados adequados pela literatura atual são suficientes para atingir a altas produtividades? (d) as fontes de B são influenciadas pela textura do solo. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito de fontes e doses de B no teor de B foliar, no solo e a produtividade da cultura da soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em dois locais distintos com solos de diferentes características químicas e granulométricas. Os experimentos foram conduzidos por duas safras. O experimento no solo argiloso na safra 2017/18 e 2018/19 foram realizados no município de Chapadão do Céu - GO, cujas coordenadas geográficas são 18º24'27" S de latitude, 52º32'56" W de longitude e com altitude de 720m. O experimento no solo arenoso na safra 2017/18 e 2018/19 foram realizados no município de Paraíso das Águas, MS, cujas coordenadas geográficas são 19º0’57” S de latitude, 52º57’57” O de longitude e com altitude de 644 m.

Em ambas as áreas, de acordo com a classificação de koppen, o clima predominante é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, precipitação e temperatura média anual de 1.627 mm e 22,5°C respectivamente.

As informações climáticas, referentes às médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação pluviométrica durante todo período experimental estão demonstradas na Figura 1. Durante os experimentos a precipitação total acumulada, na safra 2017/2018, foi de 1.197,3 e 1.120 mm no experimento I e II, respectivamente. No entanto, a precipitação total acumulada nas áreas experimentais, na safra 2018/2019, foi de 1.296,53 e 682,2 mm no experimento I e II, respectivamente.

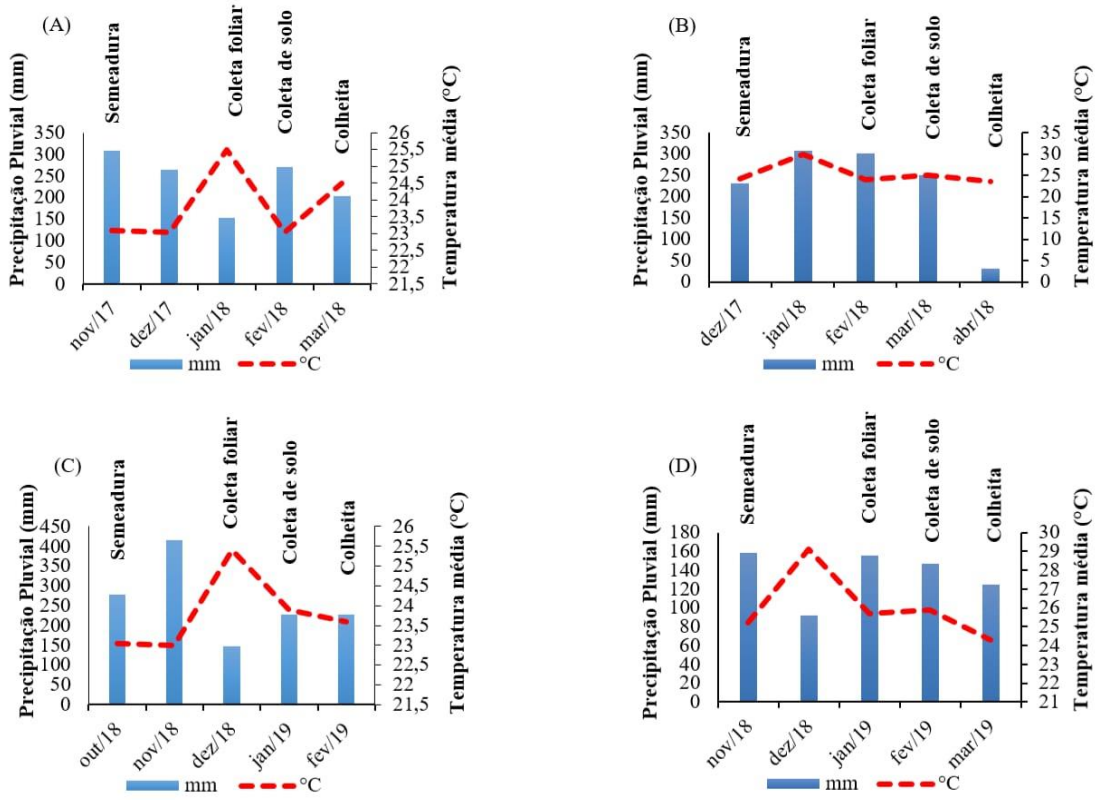

Figura 1: Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação: (A) Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, safra 2017/2018; (C) safra 2018/2019 e (B) Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, safra 2017/2018 e (D) safra 2018/2019.

Os solos onde foram instalados os experimentos foram classificados como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa de acordo com Santos et al. (2018). As características químicas e

granulométricas (areia, silte e argila) dos solos foram determinadas pela metodologia proposta por Raij (2001) e Donagema et al. (2011), respectivamente.

O resultado das análises química de solo apresentou os seguintes valores Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, safra 2017/2018: pH ($CaCl_2$) de 4,6; P (Mehlich) de 21,60 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,18; 2,30; 0,60; 5,9 e 9,00 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 12,6; 0,26; 0,50; 58,0; 11,30; 1,80 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 34,30. Para safra 2018/2019: pH ($CaCl^2$) de 4,80; P (Mehlich) de 22,11 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,11; 2,50; 0,60; 5,10 e 8,30 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 6,90; 0,16; 0,40; 40,00; 7,70; 1,90 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 38,60. Realizou-se ainda analise de textura: 500, 50 e 450 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente.

Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, safra 2017/2018: pH ($CaCl^2$) de 5,46; P (Resina) de 16,25 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,07; 1,67; 0,47; 1,89 e 4,11 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 1,23; 0,24; 0,48; 84,60; 30,74; 1,82 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 53,80. Para safra 2018/2019: pH ($CaCl^2$) de 5,00; P (Resina) de 9,80 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,14; 1,50; 0,40; 2,30 e 4,34 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 3,90; 0,14; 0,60; 40,00; 24,10; 2,50 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 47,00. Realizou-se ainda analise de textura: 90, 60 e 850 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, sendo seis doses (0; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3}), essas doses visavam elevar os teores de B que havia no solo para os teores citados, e duas fontes (ácido bórico) a qual apresenta a forma de cristais de ácido bórico (H_3BO_3), com teor de B de 17,5%, e outra fonte (Ulexita), com teor de B de 10%, sendo esta submetida ao processo de granulação com utilização de ácido sulfúrico, o qual proporcionou aumento na solubilidade, em torno de 95% em água da mesma. Houve três repetições totalizando 36 parcelas. As parcelas foram compostas por sete linhas espaçadas em 0,45 m x 6 m de comprimento, sendo a área útil constituída pelas três linhas centrais com 4m de comprimento, descartando 1,0 m de cada lado nas bordaduras.

Realizou-se a amostragem de solo, coletando-se 20 subamostras para compor a amostra composta. De acordo com os resultados da análise química, foi realizada a aplicação de material corretivo (33% de CaO, 12% de MgO e PRNT de 82%) com o

objetivo de elevar a saturação por bases a 60%, cerca de 60 dias antes da semeadura da soja.

As áreas experimentais do Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa consistiam em um manejo de sucessão direta, sendo Soja/Milho e Soja/Pastagem, respectivamente. Nas duas áreas a semeadura foi realizada sobre os restos vegetais da cultura anterior (palhada).

Na safra 2017/2018, no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, a variedade utilizada foi intacta M7110 IPRO, Grupo de maturação: 6.8 (precoce), com uma densidade de 18 plantas por metro linear; semeadura realizada em 09 de novembro de 2017, com adubação de 400 kg ha^{-1} do formulado 00-20-20 no sulco de semeadura. As sementes foram tratadas em pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

No Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, a variedade utilizada foi P98Y30 RR, Grupo de maturação: 8.3 (tardio), com uma densidade de 11 plantas por metro linear; semeadura realizada em 06 de dezembro de 2017, com adubação de 170 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (MAP) 11-52-00 no sulco de semeadura, e 250 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) 00-00-60, dividido em 2 aplicações, uma pré semeadura e a segunda 20 dias após a emergência, ambas a lanço. As sementes foram tratadas em pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

Na safra 2018/2019, no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, a variedade utilizada foi HO PARANAÍBA IPRO, Grupo de maturação: 7.4 (médio), com uma densidade de 18 plantas por metro linear; semeadura realizada em 20 de outubro de 2018, com adubação de 160 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (MAP) 11-52-00 no sulco de semeadura, e 150 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) 00-00-60, aplicado 20 dias após a emergência. As sementes foram tratadas em pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

No Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, a variedade utilizada foi BONUS 8579 IPRO, Grupo de maturação: 7.9 (médio), com uma densidade de 13 plantas por metro linear; semeadura realizada em 24 de Novembro de 2018, com adubação de 150 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (MAP) 11-52-00 no sulco de semeadura, e 140 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) 00-00-60, dividido em 2 aplicações, uma pós semeadura e a segunda 20 dias após a emergência, ambas a lanço. As sementes foram tratadas em

pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

A aplicação dos tratamentos foi realizada de forma manual, após a semeadura, em pré-emergência. Foi utilizado gesso agrícola como material de enchimento, para facilitar a aplicação dos tratamentos, calculado para fornecer uma dose de 500 kg ha^{-1}.

Durante a condução dos experimentos, para realização dos tratos fitossanitários, foi utilizado um pulverizador auto propelido. Os herbicidas, fungicidas e inseticidas foram aplicados igualmente em todos os tratamentos, sendo a taxa de aplicação de 100 L ha^{-1}.

Na safra 2017/2018 o controle de plantas daninhas no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa foi realizado em dois momentos: em pré semeadura com aplicação de Glifosato 1.188,75 g ha^{-1} + Cletodim 84 g ha^{-1}; e no estágio V4 aplicando Glifosato 1.620 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando três aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Trifloxistrobina 60 g ha^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; e a terceira aplicação após outros 15 dias com uso Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas foi feito aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} no estágio R2 e Imidacloprido 100 g ha^{-1} no estágio R5.

No Neossolo Quartzarênico de Textura arenosa o controle de plantas daninhas também foi realizado em dois momentos: em pré semeadura com aplicação de Glifosato 1.188,75 g ha^{-1}, 2,4-dichlorophenoxy 1.209 g ha^{-1} Carfentrazona Etílica 20 g ha^{-1}; e no estágio V4 aplicando Glifosato 1.620 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando quatro aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Fluxapiroxade 58,45 g ha^{-1}, Piraclostrobina 116,55 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Trifloxistrobina 60 g ha^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; após outros 15 dias foi realizado a terceira aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; e a quarta aplicação novamente após 15 dias com uso de Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas no estágio V6 foi feito aplicação de Metomil 215 g ha^{-1}. No estágio R2 foi feito a aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} + Clorpirifós 480 g ha^{-1} +

Teflubenzurom 22,5 g ha^{-1}. No estágio R5 foi realizado a aplicação de Acefato 750 g ha^{-1} + Flubendiamida 33,6 g ha^{-1}.

Na safra 2018/2019 o controle de plantas daninhas no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa foi realizado em dois momentos: ambos em pós emergência com aplicação de Glifosato 1.620 g ha^{-1} + Cletodim 72 g ha^{-1}; e no estágio V6 aplicando Glifosato 1.188,75 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando três aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Trifloxistrobina 60 g ha^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; e a terceira aplicação após outros 15 dias com uso de Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas foi feito aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} + Clorpirifós 480 g ha^{-1} + Teflubenzurom 22,5 g ha^{-1} no estágio R1 e Imidacloprido 100 g ha^{-1} no estágio R5.

No Neossolo Quartzarênico de Textura arenosa o controle de plantas daninhas também foi realizado em dois momentos: em pré semeadura com aplicação de Glifosato 1.188,75 g ha^{-1}, 2,4-dichlorophenoxy 1.209 g ha^{-1} e Carfentrazona Etílica 20 g ha^{-1}; e no estágio V4 aplicando Glifosato 1.620 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando quatro aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Fluxapiroxade 58,45 g ha^{-1}, Piraclostrobina 116,55 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; após outros 15 dias foi realizado a terceira aplicação com Trifloxistrobina 60 g L^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; e a quarta aplicação novamente após 15 dias com uso de Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas no estágio V6 foi feito aplicação de Metomil 215 g ha^{-1}. No estágio R2 foi feito a aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} + Clorpirifós 480 g ha^{-1} + Teflubenzurom 22,5 g ha^{-1}. No estágio R5 foi realizado a aplicação Acefato 750 g ha^{-1} + Flubendiamida 33,6 g ha^{-1}.

Para determinar o teor de B no tecido foliar foram coletadas 10 folhas de cada parcela, sendo amostrada a terceira folha a partir do ápice na haste principal, com pecíolo, durante o pleno florescimento (Prado, 2008).

As folhas coletadas foram lavadas com agua corrente em seguida em solução de detergente neutro 0,1% em seguida solução de HCl 0,3% em seguida água destilada e, posteriormente, secas em estufa à 65± 5ºC com ventilação forçada por 72 h e, posteriormente, moídas em moinho tipo Wiley. Foi realizada a digestão seca em mufla à temperatura de 550 °C durante 3 horas até a obtenção de cinzas sendo estas solubilizadas em 10 mL HCl 0,1 ml L^{-1}, (RAIJ; BATAGLIA, 1991). A determinação do teor de B estabelecida por espectrofotometria (com comprimento de onda de 420 nm) com azometina-H, segundo metodologia descrita em (SILVA, 2009).

Aos 100 dias após a semeadura, foram realizadas as amostragens de solo para determinação do teor de B, as coletas foram realizadas com auxílio de um trado holandês. Em cada parcela foram retiradas cinco subamostras da camada superficial do solo (0 - 0,2 m), que foram misturadas formando uma amostra composta; o mesmo procedimento foi feito com a camada subsuperficial do solo (0,2 - 0,4 m). Para avaliar o teor de B no solo, foi utilizado o método extrator com água quente, proposto por Bataglia e Raij (1990).

A produtividade foi determinada após a colheita e trilhagem da área útil de cada parcela, realizada no estágio de plena maturação (R9). Para calcular a produtividade após a trilha, o teor de água dos grãos foi ajustado para 13,0%, efetuando também os descontos das impurezas, sendo o resultado expresso em kg ha^{-1}.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando o efeito de anos como aleatório no modelo e os demais como fixos. O fator qualitativo (fontes de B) foi submetido à comparação de média pelo teste de Tukey. O fator quantitativo (doses de B) foi submetido à análise de regressão polinomial, sendo testados os modelos linear e quadrático. Em todos os casos adotou-se 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos experimentos no Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e no Neossolo Quartzarênico de textura arenosa é demonstrada nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

O efeito aleatório de anos em ambos os experimentos foi significativo ($p<0.05$) em todas as variáveis, o que pode ser atribuído aos diversos fatores climáticos que

podem ter ocorrido em cada safra (Figura 1). Houve diferença entre as doses de B aplicadas no solo para todas as variáveis avaliadas. Para os demais efeitos e suas respectivas interações, não houve efeito significativo. Isso demonstra que independente da fonte de B utilizada e da safra, as doses aplicadas apresentaram o mesmo comportamento.

Tabela 1. Teores de boro no solo nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, teor de boro foliar (BF), e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa nas safras 2017/2018 e 2018/2019.

FV	GL	BS (0-0,2 m)	BS (0,2-0,4 m)	BF	PROD
Bloco	2	0,014	0,009	75,44	258540,81
Anos (A)	1	0,017*	0,010*	4411,74*	13658325,34*
Fontes (F)	1	$0,000^{ns}$	$0,006^{ns}$	$51,01^{ns}$	$244253,90^{ns}$
Doses (D)	5	0,117*	0,137*	4520,00*	965426,36*
AxF	1	$0,000^{ns}$	$0,003^{ns}$	$8,27^{ns}$	$68031,30^{ns}$
AxD	5	$0,002^{ns}$	$0,002^{ns}$	$56,90^{ns}$	$477656,98^{ns}$
FxD	5	$0,001^{ns}$	$0,001^{ns}$	$53,20^{ns}$	$48452,29^{ns}$
AxFxD	5	$0,001^{ns}$	$0,004^{ns}$	$77,25^{ns}$	$105250,25^{ns}$
Resíduo	46	0,004	0,007	224148,74	73581,45
CV (%)		21,6	18,8	9,8	7,5

* e ns: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

O efeito de Anos foi considerado aleatório na análise de variância conjunta. Isso foi estabelecido para que as mudanças que ocorreram de uma safra para outra como: clima, variedades e manejo fitossanitário não fossem consideradas e que as equações geradas sejam mais generalistas, servindo para qualquer tipo de safra.

O efeito não significativo entre as fontes de B utilizadas nesse trabalho ocorreu devido a ulexita ter alta solubilidade em água (95%), fazendo com que a mesma tenha um comportamento semelhante ao ácido bórico.

Tabela 2. Teores de boro no solo nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m de profundidade, teor de boro foliar (BF), e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa nas safras 2017/2018 e 2018/2019.

FV	GL	BS (0-0,2 m)	BS (0,2-0,4 m)	BF	PROD
Bloco	2	0,005^{ns}	0,012^{ns}	213,82^{ns}	114421,23^{ns}
Anos (A)	1	0,295*	0,146*	3210,40*	41211245,53*
Fontes (F)	1	0,004^{ns}	0,009^{ns}	3,12^{ns}	157893,90^{ns}
Doses (D)	5	0,027*	0,022*	5669,09*	958459,03*
AxF	1	0,001^{ns}	0,05^{ns}	107,45^{ns}	119132,67^{ns}
AxD	5	0,001^{ns}	0,002^{ns}	111,26^{ns}	357648,15^{ns}
FxD	5	0,001^{ns}	0,001^{ns}	27,17^{ns}	266535,89^{ns}
AxFxD	5	0,001^{ns}	0,001^{ns}	49,71^{ns}	73845,76^{ns}
Resíduo	46	0,001	0,001	141,03	141692,60
CV (%)		13,7	14,6	15,2	10,2

* e ns: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Independentemente da fonte aplicada, com aumento das doses de B houve aumento linear no teor deste nutriente no solo para camada 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m para ambos os experimentos Figura 2 (a) e (b) e Figura 3 (a) e (b), sendo observado um aumento na ordem de 0,06 mg dm^{-3} e 0,07 mg dm^{-3} no teor de B no solo para cada mg dm^{-3} do nutriente aplicado para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa nas camadas 0-0,2 e 0,2-0,4 m respectivamente. No Neossolo Quartzarênico de textura arenosa esse aumento foi na ordem de 0,03 mg dm^{-3} no teor de B no solo para cada mg dm^{-3} do nutriente aplicado para camada 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m.

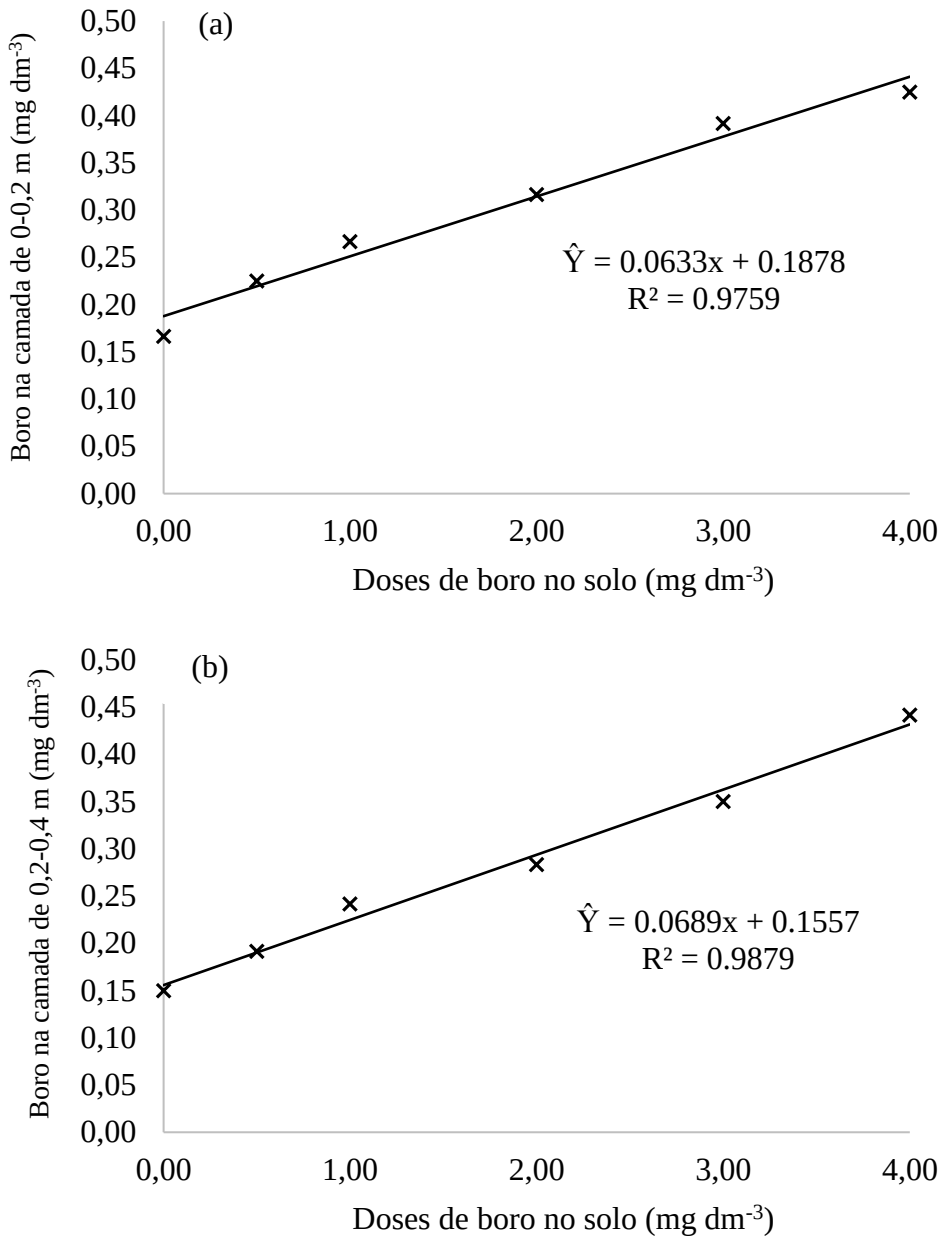

Figura 2. Efeito das doses de B, no teor de B no solo, (a) profundidade de 0 - 0,2 m (média das duas fontes de B) e (b) profundidade de 0,2 - 0,4 m (média das duas fontes de B) em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa cultivado com soja.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Trautmann et al. (2014) ao trabalharem em Latossolo Vermelho Eutroférrico com textura arenosa, verificaram incrementos lineares com o aumento de dose de B. Prado et al. (2006) trabalhando em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, com doses crescentes de B verificaram aumento nos teores de B no solo. Pegoraro et al. (2008) ao trabalharem em

três condições texturais de solo (arenosa, média e argilosa), aplicando doses crescentes de B, também encontraram aumentos lineares nos teores desse nutriente.

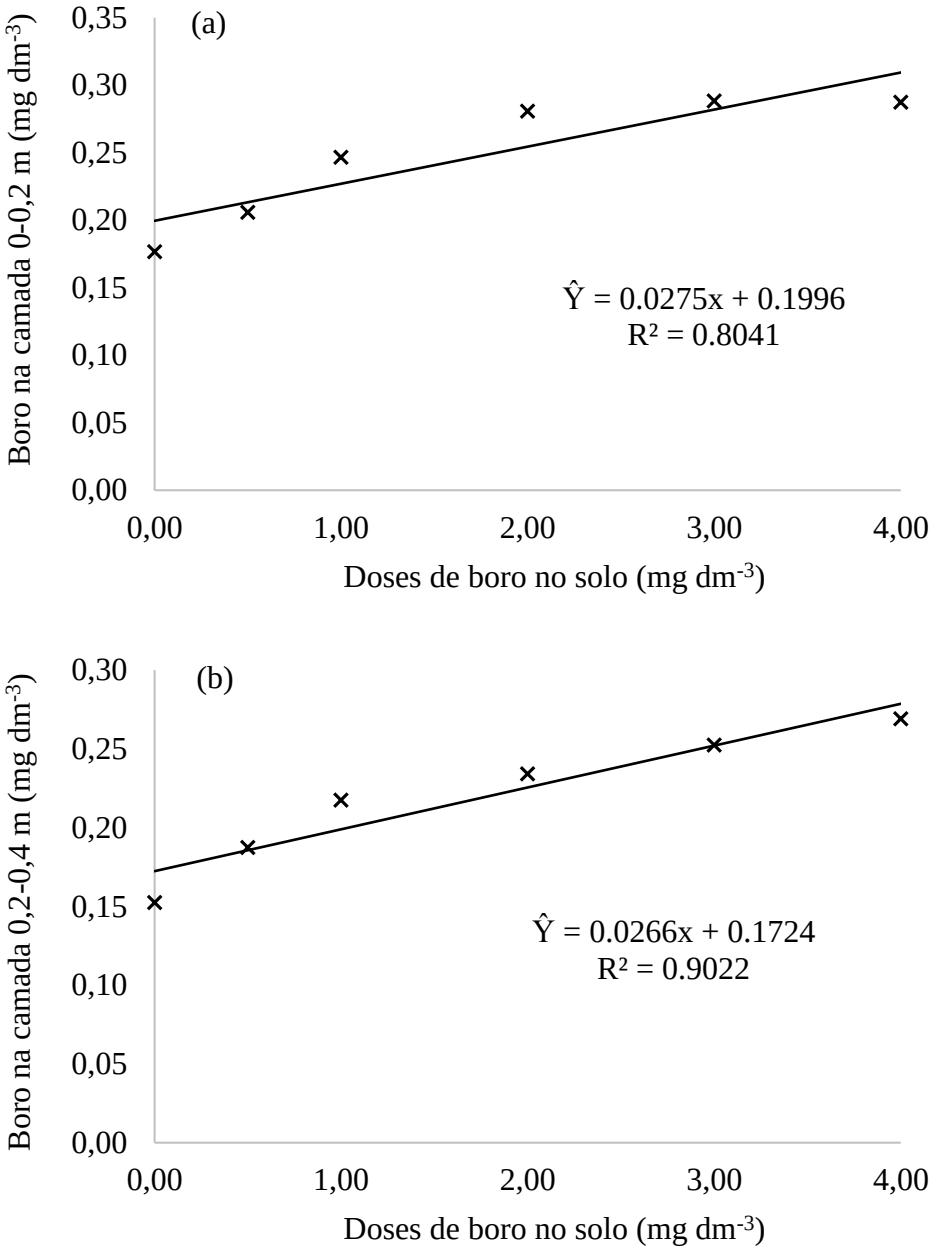

Figura 3. Efeito das doses de B, no teor de B no solo, (a) profundidade de 0 - 0,2 m (média das duas fontes de B) e (b) profundidade de 0,2 - 0,4 m (média das duas fontes de B) em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa cultivado com soja.

É notória a dificuldade de manter o B aplicado, na solução do solo nas camadas superficial e subsuperficial, independente da dose aplicada, mais da metade desse B não se encontra nessas camadas. Isso pode ser explicado devido à facilidade que este nutriente tem em ser lixiviado (ROSOLEM; BÍSCARO, 2007).

Neste trabalho fica evidente a dificuldade de manter esse nutriente disponível na solução do solo foi oposta ao teor de argila, pois como mencionado acima o aumento linear da concentração deste nutriente no solo argiloso foi mais acentuado. Possivelmente devido aos teores mais elevados de matéria orgânica, sesquióxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e argila nesse tipo de solo (CORREA et al., 1985).

As doses de B aplicadas no solo promoveram aumento linear deste nutriente no tecido foliar da soja. Ocorrendo aumento na ordem de 12,39 mg kg^{-1} e 14,02 mg kg^{-1} (Figura 4 e 5) no teor de B para cada mg dm^{-3} do nutriente aplicado para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e Neossolo Quartzarênico de textura arenosa respectivamente. Esses resultados assemelham com o encontrado por Trautmann et al. (2014), onde o aumento da dose de B aplicada no solo de textura arenosa proporcionou aumento no teor foliar desse nutriente.

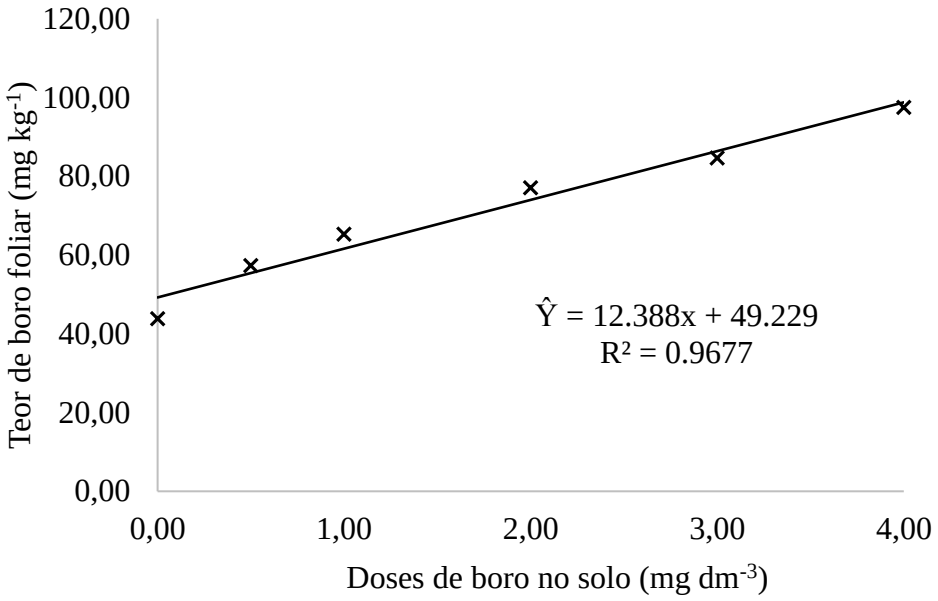

Figura 4. Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa.

É interessante salientar que mesmo no tratamento controle (sem B), os teores deste elemento nas folhas encontravam-se dentro da faixa considerada adequada para altas produtividades da cultura da soja (25 a 55 mg kg^{-1}), conforme apresentado por Rosolem e Bíscaro (2007). Isso demonstra que esses dados para interpretação de B foliar subestima o almejado aumento de produtividade para os materiais genéticos atuais. Ressalta-se que a maior produtividade de grãos de soja esteve associado ao teor de B foliar de 69,67 e 75,80 mg kg^{-1} para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e o Neossolo Quartzarênico de textura arenosa respectivamente (Figura 4 e 5). Valores considerados acima do adequado (25 a 55 mg kg^{-1}) (ROSOLEM; BÍSCARO, 2007).

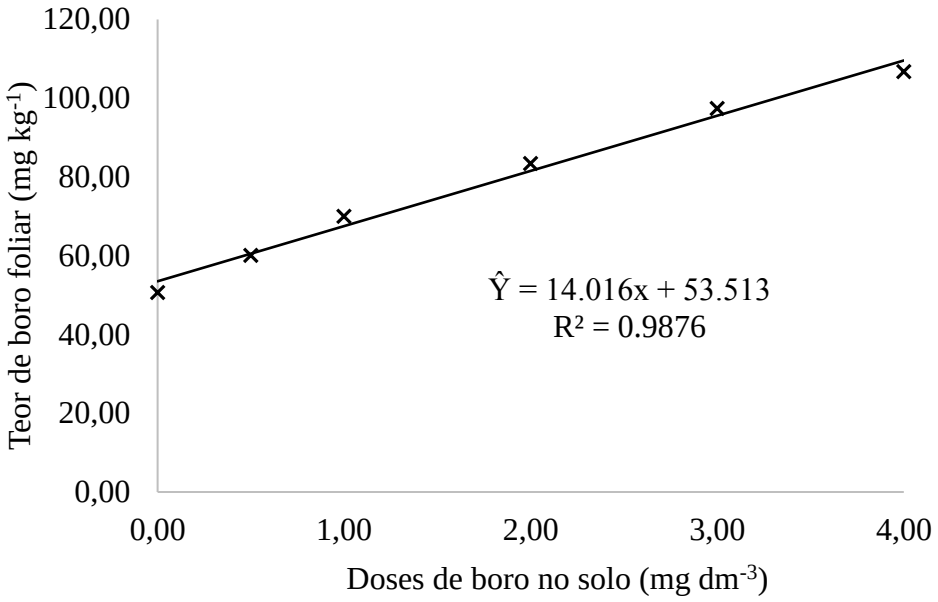

Figura 5. Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja cultivada em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa.

A produtividade de grãos de soja no Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa e no Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa apresentou comportamento quadrático em função das doses de B aplicadas no solo (Figura 6 e 7). Analisando os gráficos das regressões, verificou-se que as plantas atingiram a máxima produtividade de 3.817 Kg ha^{-1} e 3.883 Kg ha^{-1} com a dose elevando os teores para 1,65 e 1,59 mg dm^{-3} para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e o Neossolo Quartzarênico

de textura arenosa respectivamente. É importante destacar que as equações ajustadas consideraram o efeito aleatório de anos (duas safras agrícolas para cada solo).

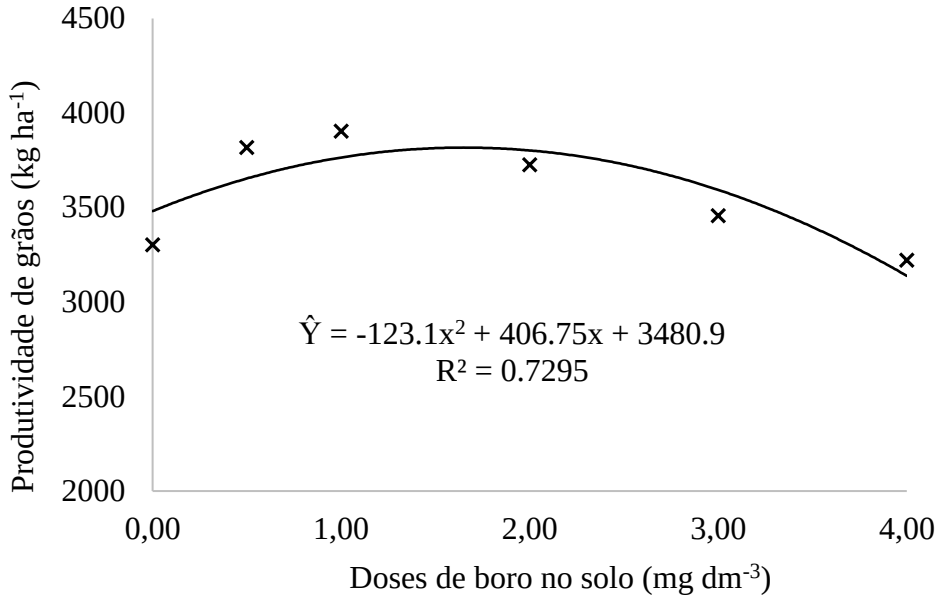

Figura 6. Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja cultivada em Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa.

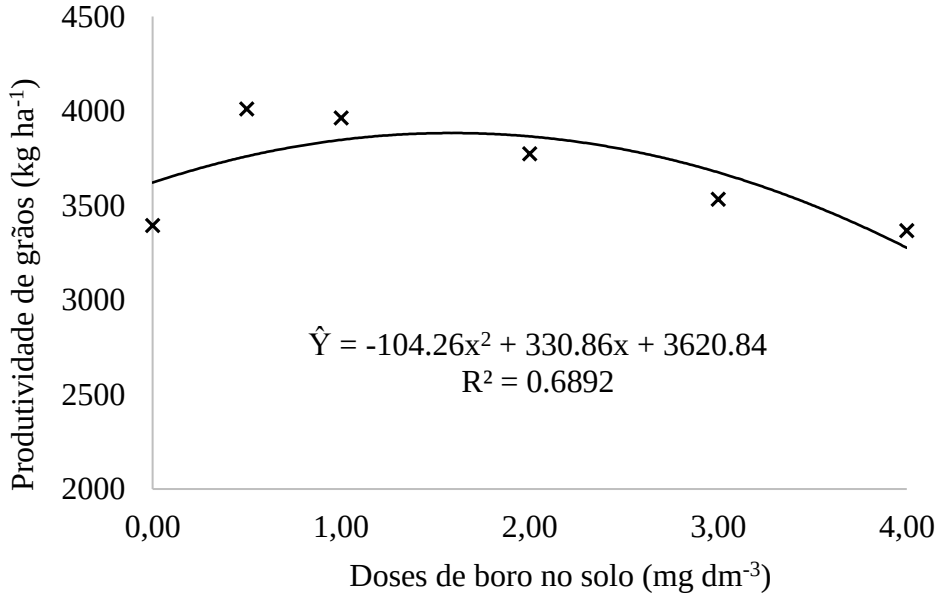

Figura 7. Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja cultivada em Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa.

O aumento na produtividade de grãos de soja em razão a adubação com B, pode ser explicado pelas funções que o mesmo realiza no metabolismo da planta, como o transporte de carboidratos a longa distancia na planta, através da formação de complexo açúcar–B, que resulta no ganho de peso de grãos. Dessa forma, ainda nessa mesma linha de raciocínio o adequado fornecimento de B pode ter diminuído a formação de calose nos tubos crivados do floema, facilitando o transporte de carboidratos, nesse sentido a contribuição foi de caráter físico e não bioquímico. Ainda, pode-se considerar que a participação do B na formação e crescimento do tubo polínico e o aumento da fertilidade da planta, devido sua relação com a viabilidade das anteras e do grão de pólen, contribuíram, diminuindo a incidência de grãos "chochos", má formação de flores e abortamento de vagens, resultando em maior quantidade de vagens por planta e maior quantidade de grãos por vagens (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; PRADO, 2008; MARSCHNER; RENGEL, 2012; FAGERIA et al., 2015; JEHANGIR et al., 2017).

CONCLUSÕES

Não houve efeito significativo entre as fontes de B utilizadas neste trabalho.

A dose visando elevar o teor de B no solo para 1,65 e 1,59 mg dm^{-3} promoveu a máxima produtividade 3.817 Kg ha^{-1} e 3.883 Kg ha^{-1} de grãos para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa e para Neossolo Quartzarênico de textura arenosa respectivamente.

Os teores de B foliar que relacionou com a máxima produtividade para o Latossolo Vermelho Distrófico de textura Argilosa e o Neossolo Quartzarênico de textura Arenosa foram 69,67 e 75,80 mg kg^{-1} respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5:25-32, 1999.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.V. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:25-31, 1990.

CERETTA, C.A. et al. Micronutrientes na soja: Produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**:576-581, 2005.

CORREA, A.E. et al. Aplicação de boro no solo e respostas do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20:177-181, 1985.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. **Nutrição mineral de plantas**:328-354, 2006.

DONAGEMA, G.K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos** (INFOTECA-E), 2011.

DOURADO NETO, D. et al. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. Semina: **Ciências Agrárias**, 33, 2012.

DUPAS, E. Nitrogênio, potássio e boro: Aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia. **Book Ttle**, Universidade de São Paulo, 2012.

EMBRAPA, S. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do brasil 1999/2000. Londrina: **Embrapa**, 1999.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão**-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2000.

FAGERIA, N.K. et al. Nutrição mineral do feijoeiro. **Embrapa**, Brasília, 394, 2015.

FAROOQ, M. et al. Boron nutrition of rice in different production systems. **A review**. Agronomy for sustainable development, 38:25, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

FURLANI, A.M. et al. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25, 2001.

GOLDBERG, S.; SUAREZ, D.L. Role of organic matter on boron adsorption-desorption hysteresis of soils. **Soil Science**, 177:417-423, 2012.

HASANUZZAMAN, M. et al. Plant nutrients and abiotic stress tolerance. **Springer**, 2018.

JEHANGIR, I.A. et al. Micronutrients for crop production: **Role of boron**. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 6:5347-5353, 2017.

LIMA, A.D. et al. Adubação borácica na cultura do girassol. **Revista Agro@ mbiente On-line**, 7:269-276, 2013.

MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. Nutrient availability in soils. **Book Ttle**, Elsevier, 2012. p. 315-330.

MASCARENHAS, H.A.A. et al. Micronutrientes em soja no estado de são paulo. **Nucleus**, 11, 2014.

PEGORARO, R.F. et al. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. **Ciência e agrotecnologia**, 32:1092-1098, 2008.

PRADO, R.D.M. et al. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**:305-309, 2006.

PRADO, R.D.M. **Nutrição de plantas**. editora UNESP, 2008.

RAIJ, B.V.; BATAGLIA, O.C. Análise química de solo. **Micronutrientes na agricultura**, 1991.

RAIJ, B.V. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.

ROSOLEM, C.A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em latossolo vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:1473-1478, 2007.

SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018.

SFREDO, G.J.; DE OLIVEIRA, M.C.N. Soja: Molibdênio e cobalto. **Embrapa Soja-Documentos** (INFOTECA-E), 2010.

SILVA, F.C.D.S. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa Informação Tecnológica**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos Brasília, 2009.

TRAUTMANN, R.R. et al. Soil water potencial and boron fertilization in growth and uptake of the nutrient for the soybean crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:240-251, 2014.

WASAYA, A. et al. Foliar application of zinc and boron improved the productivity and net returns of maize grown under rainfed conditions of pothwar plateau. **Journal of soil science and plant nutrition**, 17:33-45, 2017.

WIMMER, M.A.; EICHERT, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant science**, 203:25-32, 2013.

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

CAPÍTULO 2

SINTOMATOLOGIA DE TOXICIDADE DE BORO NA SOJA

RESUMO: O excesso de boro (B) ocasiona uma série de distúrbios fisiológicos que podem ser percebidos através de sintomas visuais característicos. Com isso, objetivou-se caracterizar a sintomatologia da toxicidade de B em plantas de soja através de fotografias e descrição dos sintomas visuais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis concentrações (0, (0; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3}), essas doses visavam elevar os teores de B que havia no solo para os teores citados anteriormente; e duas fontes de B (Ulexita e Ácido Bórico). Durante a condução do experimento, foi realizada a diagnose visual, caracterizando e fotografando os sintomas da toxicidade em função dos tratamentos. Foram avaliados os teores de B foliar e a produtividade. Os melhores resultados foram obtidos com a dose de 1,56 mg dm-^{3} de B, em função da produtividade correspondendo ao teor de 86,39 mg Kg^{-1} de B foliar. O efeito causado pelo excesso desse nutriente na soja foi visível a partir da dose 3,00 mg dm^{-3}, com isso, determinou-se os sintomas de toxicidade de B como clorose malhada, seguida de necrose, iniciando-se na borda das folhas mais velhas, acarretando em queda de produtividade.

Palavras-chave: *Glycine max.* Desordem nutricional. Estresse. Micronutriente.

ABSTRACT: Excessive boron (B) causes a number of physiological disturbances that can be perceived through characteristic visual symptoms. The objective of this study was to characterize the symptoms of B toxicity in soybean plants through photographs and description of the visual symptoms. The experimental design was a randomized complete block design, with three replicates, in a 6x2 factorial scheme. Six concentration (0, 0.5, 1, 2, 3 and 4 mg dm^{-3}) were used to increase the levels of B in the soil for the mentioned contents, and two sources of B (Ulexite and Boric Acid) .During the conduction of the experiment, the visual diagnosis was carried out, characterizing and photographing the toxicity symptoms according to the treatments. The best results were obtained with the dose of 1.56 mg dm^{-3} of B, as a function of the productivity corresponding to the content of 86.39 mg kg^{-1} of leaf B. nutrient in soybean was visible from the dose 3.00 mg dm^{-3}, with that, the toxicity symptoms of B as chewed chlorosis were determined, followed by necrosis, starting at the edge of the older leaves, causing a fall productivity.

Keywords: Glycine max. Nutritional disorder. Stress. Micronutrient.

INTRODUÇÃO

No cultivo da soja *Glycine max (L.) Merrill*, tem-se a necessidade de controlar alguns fatores de produção, destacando-se o fornecimento adequado de nutrientes visando suprir suas exigências nutricionais, obtendo dessa forma, altas produtividades.

O boro (B) é um elemento essencial para as plantas (REID, 2013). Exerce papel importante no desenvolvimento vegetal, tendo em vista sua participação em diversas atividades metabólicas, como biossíntese da parede celular; divisão e diferenciação das células; integridade da membrana; transporte de carboidratos e formação de órgãos reprodutivos (DUPAS, 2012; LIMA et al., 2013; FAROOQ et al., 2018).

A exigência nutricional de B é considerada pequena, com isso, a faixa de deficiência e toxidez deste elemento é estreita, podendo facilmente ser detectado problemas de desordem nutricional ocasionando severas limitações no metabolismo vegetal, prejudicando o crescimento e desenvolvimento da planta, e, sucessivamente, a produtividade da cultura (ÇATAV et al., 2018).

Assim como a falta, o excesso de um nutriente promove alterações metabólicas na planta, que podem ocasionar sintomas visuais nos tecidos vegetais, no caso de deficiência os sintomas são típicos para cada nutriente faltante, já em caso de excesso de alguns nutrientes pode haver a indução de deficiência de outros, dificultando o aparecimento de sintomas isolados característicos.

Dentre os sintomas relatados na literatura, destaca-se a clorose na margem do limbo foliar seguida de sua necrose (CERVILLA et al., 2007; WANG et al., 2010), sintomas com ocorrência nas folhas mais velhas (ROESSNER et al., 2006; METWALLY et al., 2017). Além disso, vários processos metabólicos e fisiológicos, como o desenvolvimento da parede celular, divisão celular, condutância estomática e a fotossíntese são afetados pela toxicidade de B (PAPADAKIS et al., 2004; REID, 2007; LANDI et al., 2012).

A desordem nutricional pode ser causada pela deficiência ou excesso de algum nutriente. Assim, a diagnose visual aliada aos conhecimentos dos teores de nutrientes adequados, específicos para cada espécie vegetal, é um método de avaliação do estado

nutricional de plantas (PRADO; VIDAL, 2008). O conhecimento da sintomatologia causada pelo excesso de B torna-se fundamental para o uso desse método de avaliação nutricional de plantas, para tanto, a indução a toxidez de B se torna uma ferramenta importante nessa linha de pesquisa.

Estudos envolvendo toxidez de B em grandes culturas são incipientes na literatura, especificamente em soja, o que pode afetar a produtividade e a rentabilidade desta cultura, portanto, tem-se a necessidade de ampliar as pesquisas nesta área.

Diante disso, objetivou-se determinar qual o teor de B que causa toxicidade e caracterizar a sintomatologia da toxicidade de B em plantas de soja através de fotografias e descrição dos sintomas visuais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em solo de textura argilosa, conduzidos por duas safras 2017/18 e 2018/19 no município de Chapadão do Céu - GO, cujas coordenadas geográficas são 18º24'27" S de latitude, 52º32'56" W de longitude e com altitude de 720 m.

De acordo com a classificação de koppen, o clima predominante é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, precipitação e temperatura média anual de 1.627 mm e 22,5°C respectivamente.

As informações climáticas, referentes às médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação pluviométrica durante todo período experimental estão demonstradas na Figura 1. Durante o experimento a precipitação total acumulada, na safra 2017/2018, foi de 1.197,3 mm na safra 2018/2019, foi de 1.296,53 mm.

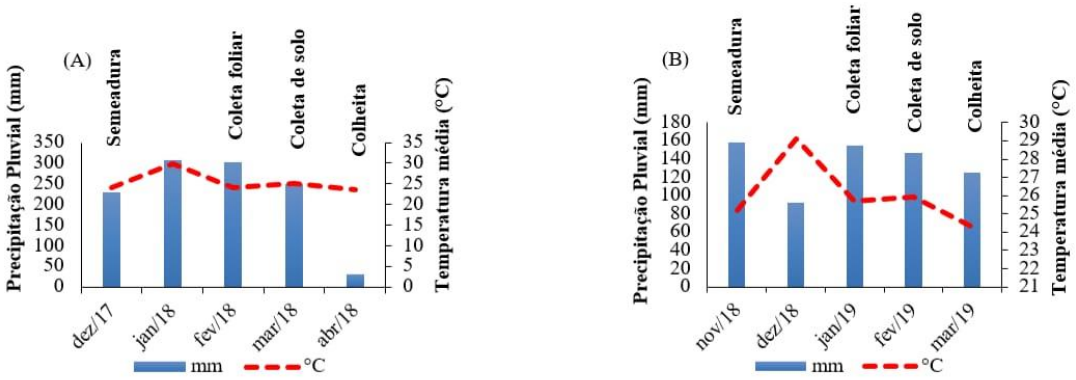

Figura 1: Valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas médias mensais durante o período de avaliação: (A) safra 2017/2018; (B) safra 2018/2019.

O solo onde foi instalado o experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa de acordo com Santos et al. (2018). As características químicas e granulométricas (areia, silte e argila) do solo foram determinadas pela metodologia proposta por Raij (2001) e Donagema et al. (2011), respectivamente.

O resultado das análises química de solo apresentaram os seguintes valores Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, safra 2017/2018: pH ($CaCl_2$) de 4,6; P (Mehlich) de 21,60 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,18; 2,30; 0,60; 5,9 e 9,00 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 12,6; 0,26; 0,50; 58,0; 11,30; 1,80 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 34,30. Para safra 2018/2019: pH ($CaCl^2$) de 4,80; P (Mehlich) de 22,11 mg dm^{-3}; K, Ca, Mg, H + Al e CTC de 0,11; 2,50; 0,60; 5,10 e 8,30 cmolc dm^{-3}, respectivamente e S, B, Cu, Fe, Mn, Zn de 6,90; 0,16; 0,40; 40,00; 7,70; 1,90 Mg dm^{-3}, respectivamente e V% = 38,60. Realizou-se ainda analise de textura: 500, 50 e 450 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, sendo seis doses (0; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3}), essas doses visavam elevar os teores de B que havia no solo para os teores citados. E duas fontes (ácido bórico) a qual apresenta a forma de cristais de ácido bórico (H_3BO_3), com teor de B de 17,5%, e outra fonte (Ulexita), com teor de B de 10%, sendo esta submetida ao processo de granulação com utilização de ácido sulfúrico, o qual proporcionou aumento na solubilidade, em torno de 95% em água da mesma. Houve três repetições totalizando 36 parcelas. As parcelas foram compostas por sete linhas espaçadas em 0,45m x 6m de comprimento, sendo a área útil constituída pelas três linhas centrais com 4m de comprimento, descartando 1,0 m de cada lado nas bordaduras.

Realizou-se a amostragem de solo, coletando-se 20 subamostras para compor a amostra composta. De acordo com os resultados da análise química, foi realizada a aplicação de material corretivo (33% de CaO, 12% de MgO e PRNT de 82%) com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%, cerca de 60 dias antes da semeadura da soja.

Na safra 2017/2018, a variedade utilizada foi intacta M7110 IPRO, Grupo de maturação: 6.8 (precoce), com uma densidade de 18 plantas por metro linear; semeadura realizada em 09 de novembro de 2017, com adubação de 400 kg ha^{-1} do formulado 00-20-20 no sulco de semeadura. As sementes foram tratadas em pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

Na safra 2018/2019, a variedade utilizada foi HO PARANAÍBA IPRO, Grupo de maturação: 7.4 (médio), com uma densidade de 18 plantas por metro linear; semeadura realizada em 20 de outubro de 2018, com adubação de 160 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (MAP) 11-52-00 no sulco de semeadura, e 150 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) 00-00-60, aplicado 20 dias após a emergência. As sementes foram tratadas em pré-semeadura com 0,5 g Fipronil + 0,05 g Piraclostrobina + 0,45 g Tiofanato-metílico por kg^{-1} de sementes.

A aplicação dos tratamentos foi realizada de forma manual, após a semeadura, em pré-emergência. Foi utilizado gesso agrícola como material de enchimento, para facilitar a aplicação dos tratamentos, calculado para fornecer uma dose de 500 kg ha^{-1}.

Durante a condução dos experimentos, para realização dos tratos fitossanitários, foi utilizado um pulverizador auto propelido. Os herbicidas, fungicidas e inseticidas foram aplicados igualmente em todos os tratamentos, sendo a taxa de aplicação de 100 L ha^{-1}.

Na safra 2017/2018 o controle de plantas daninhas foi realizado em dois momentos: em pré semeadura com aplicação de Glifosato 1.188,75 g ha^{-1} + Cletodim 84 g ha^{-1}; e no estagio V4 aplicando Glifosato 1.620 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando três aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Trifloxistrobina 60 g ha^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; e a terceira aplicação após outros 15 dias com uso Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas foi feito aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} no estágio R2 e Imidacloprido 100 g ha^{-1} no estágio R5.

Na safra 2018/2019 o controle de plantas daninhas foi realizado em dois momentos: ambos em pós emergência com aplicação de Glifosato 1.620 g ha^{-1} + Cletodim 72 g ha^{-1}; e no estágio V6 aplicando Glifosato 1.188,75 g ha^{-1}.

O manejo de controle de doenças foi realizado de maneira preventiva totalizando três aplicações, sendo a primeira realizada 50 dias após a semeadura com o uso de Trifloxistrobina 60 g ha^{-1}, Protioconazol 70 g ha^{-1}; após 15 dias foi realizado a segunda aplicação com Picoxistrobina 60 g ha^{-1}, Ciproconazole 24 g ha^{-1}; e a terceira aplicação após outros 15 dias com uso de Trifloxistrobina 75 g ha^{-1}, Ciproconazol 32 g ha^{-1}.

Para o manejo de pragas foi feito aplicação de Acetamiprido 50 g ha^{-1} + Clorpirifós 480 g ha^{-1} + Teflubenzurom 22,5 g ha^{-1} no estágio R1 e Imidacloprido 100 g ha^{-1} no estágio R5.

Durante todo o tempo experimental as plantas foram fotografadas, de modo a caracterizar a sintomatologia de toxicidade de B.

Para determinar o teor de B no tecido foliar foram coletadas 10 folhas de cada parcela, sendo amostrada a terceira folha a partir do ápice na haste principal, com pecíolo, durante o pleno florescimento (PRADO, 2008).

As folhas coletadas foram lavadas com agua corrente em seguida em solução de detergente neutro 0,1% em seguida solução de HCl 0,3% em seguida água destilada e, posteriormente, secas em estufa à 65± 5ºC com ventilação forçada por 72 h e, posteriormente, moídas em moinho tipo Wiley. Foi realizada a digestão seca em mufla à temperatura de 550 °C durante 3 horas até a obtenção de cinzas sendo estas solubilizadas em 10 mL HCl 0,1 ml L^{-1}, (RAIJ; BATAGLIA, 1991). E a determinação do teor de B estabelecida por espectrofotometria (com comprimento de onda de 420 nm) com azometina-H, segundo metodologia descrita em (SILVA, 2009).

A produtividade foi determinada por meio da colheita e trilha da área útil de cada parcela, realizada no estágio de plena maturação (R9). Para calcular a produtividade após a trilha, o teor de água dos grãos foi ajustado para 13,0%, efetuando também os descontos das impurezas, sendo o resultado expresso em kg ha^{-1}.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando o efeito de anos como aleatório no modelo e os demais como fixos. O fator qualitativo (fontes de B) foi submetido à comparação de média pelo teste de Tukey. O fator quantitativo (doses de B) foi submetido à análise de regressão polinomial, sendo testados os modelos linear e quadrático. Em todos os casos adotou-se 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta do experimento é demonstrada na Tabela 1. O efeito aleatório de Anos foi significativo ($p<0.05$) em todas as variáveis, o que pode ser atribuído aos diversos fatores climáticos que podem ter ocorrido em cada safra (Figura 1). Houve diferença entre as doses de B aplicadas no solo para todas as variáveis avaliadas. Para os demais efeitos e suas respectivas interações, não houve efeito significativo. Isso demonstra que independente da fonte de B utilizada e da safra, as doses aplicadas apresentaram o mesmo comportamento.

Tabela 1. Teor de boro foliar (BF) e produtividade de grãos (PROD) avaliadas no cultivo da soja nas safras 2017/2018 e 2018/2019.

FV	GL	BF	PROD
Bloco	2	75,44	258540,81
Anos (A)	1	4411,74*	13658325,34*
Fontes (F)	1	51,01^{ns}	244253,90^{ns}
Doses (D)	5	4520,00*	965426,36*
AxF	1	8,27^{ns}	68031,30^{ns}
AxD	5	56,90^{ns}	477656,98^{ns}
FxD	5	53,20^{ns}	48452,29^{ns}
AxFxD	5	77,25^{ns}	105250,25^{ns}
Resíduo	46	224148,74	73581,45
CV (%)		9,8	7,5

* e ns: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

O efeito de anos foi considerado aleatório na analise de variância conjunta. Isso foi estabelecido para que as mudanças que ocorreram de uma safra para outra como: clima, variedades e manejo fitossanitário não fossem considerados e que as equações geradas sejam mais generalistas, servindo para qualquer tipo de safra.

O efeito não significativo entre as fontes de B utilizadas nesse trabalho ocorreu devido a ulexita ter alta solubilidade em água (95%), fazendo com que a mesma tenha um comportamento semelhante ao ácido bórico.

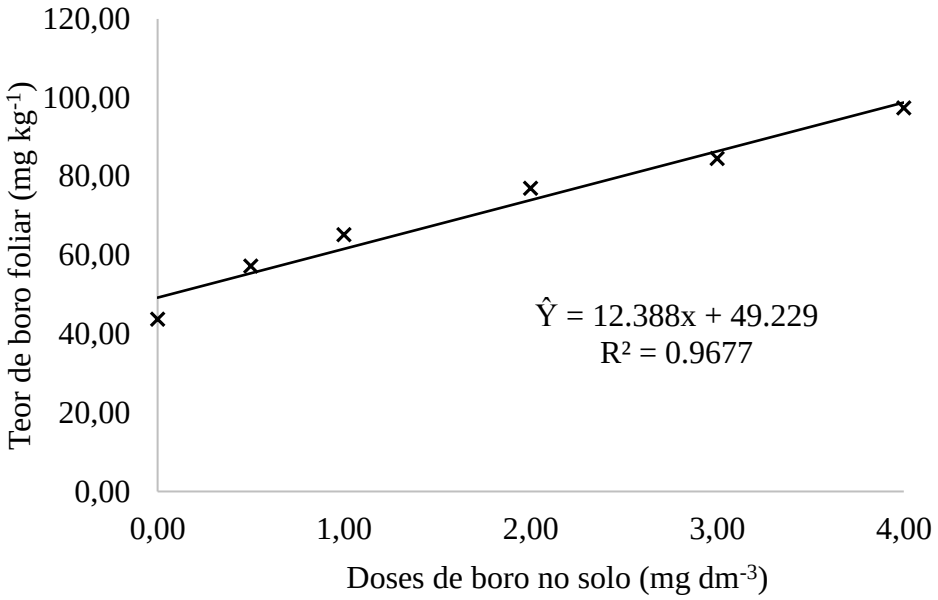

Figura 2. Efeito das doses de B (média das fontes de B) sobre o teor de B foliar na soja.

Houve aumento linear crescente nos teores de B foliar conforme as doses de B foram sendo elevadas no solo (Figura2). Sendo que, o teor foliar adequado, em função da produtividade, foi de 69,67 mg Kg^{-1}. Já em doses mais elevadas, cujo teor foliar apresentou-se acima de 85,00 mg Kg^{-1}, houve a manifestação dos sintomas visuais de toxicidade.

Problemas de toxicidade com B nas cultivares de soja começam a ocorrer quando os teores na folha diagnose estão acima de 83 mg kg^{-1} (FURLANI et al., 2001). No entanto, verificou-se que na dose de 3,00 mg dm^{-3} resultaram em sintomas típicos de toxicidade de B, conforme demonstrado na Figura 3.

Cabe ressaltar que neste trabalho, os sintomas de toxicidade de B a nível de tecido somente ocorreram a partir da dose mencionada anteriormente, onde os teores de B no tecido foliar da soja correspondiam a 86,39 mg kg^{-1}. Dados bem inferior aos encontrados por Trautmann et al. (2014), que observou toxicidade de B na soja com teor variando de 135 a 176 mg kg^{-1}.

Vale ressaltar que o teor foliar é influenciado pela constituição química da parede celular, havendo diferença entre as espécies, bem como entre cultivares de uma mesma espécie, conforme (MARSCHNER, 1995).

Figura 3. Sintomas de toxicidade de B em plantas de soja em resposta a dose de 3 mg dm^{-3}.

Os sintomas de toxicidade de B se manifestaram nas folhas velhas, isso pode ser justificado devido esses órgãos serem mais desenvolvidos e apresentar maior taxa transpiratória, fazendo com que este nutriente após absorvido, transportado via xilema, se acumule nesses tecidos. Pelo fato deste elemento não se redistribuir, via floema, acelera ainda mais o surgimento dos sintomas (MARSCHNER, 1995; MENGEL et al., 2001; FAGERIA et al., 2002; ROESSNER et al., 2006; METWALLY et al., 2017).

Como na maioria dos estresses ambientais, a toxicidade B induz à formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que causam dano oxidativo das membranas celulares, podendo chegar a morte celular resultando em necrose (CERVILLA et al., 2007; AFTAB et al., 2010; GIANSOLDATI et al., 2012; LANDI et al., 2014; TASSI et al., 2017).

Observando a Figura 4 e 5 o sintoma visual típico de toxicidade de B é caracterizado inicialmente por clorose nos bordos do limbo foliar, evoluindo para clorose assimétrica, seguida por necrose e encarquilhamento marginal do limbo das folhas mais velhas. Conforme houve o aumento das doses de B, os sintomas tornaram-se mais críticos.

Figura 4. Resposta da soja as doses de 0; 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.

Figura 5. Sintomas de toxicidade de B em plantas de soja (primeiro trifólio) em resposta as doses de 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.

Além disso, obeservando a Figura 6, percebe-se que as folhas novas apresentaram áreas cloróticas entre as nervuras, correspondendo a indícios de sintomas deficiência de Zinco (Zn). Tal sintomatologia deve-se ao fato de que, devido à interação entre B e Zn, o excesso do primeiro induz a deficiência do segundo (PRADO, 2008).

Figura 6. Sintomas de toxicidade de B (folha velha) induzindo a deficiência de Zn (folhas novas).

O trifólio intoxicado inicialmente tende a entrar em senescência precoce, ocasionando a abscisão deste e de seu pecíolo (Figura 7), bem como analisado por (GUPTA, 1983).

Figura 7. Planta sem o primeiro trifólio ocasionado pela toxicidade de B.

A manifestação dos sintomas nas raízes também foi visível, sendo esses caracterizados por deformações e tamanho reduzido, como também descrito por (REID, 2007), menor quantidade e tamanho das radicelas e menor produção de nódulos, quando comparado ao tratamento controle (Figura 8). Além disso, com o aumento das doses, tais sintomas tornaram-se mais evidentes.

Figura 8. Resposta do sistema radicular da soja á dose de 0; 1; 3 e 4 mg dm^{-3}.

As plantas intoxicadas conseguiram finalizar o seu ciclo, porém o estande final de plantas foi prejudicado ocorrendo falhas (Figura 9) e a produção foi comprometida apresentando comportamento quadrático em função das doses aplicadas via solo (Figura 10). Sendo que, houve incremento nesta até a dose de 1,65 mg dm^{-3} de B, com a produção de 3.817 Kg ha^{-1}. A partir disso, a produtividade diminuiu.

Figura 9. Estande final prejudicado devido a toxicidade de B.

Isso se deve ao fato que, em condições de excesso de B, caracterizadas por doses acima de 1,65 mg dm^{-3}, há ocorrência de distúrbios fisiológicos na planta, como a redução da divisão celular e dos teores de clorofila (REID, 2007), redução da fotossíntese (ARDIC et al., 2009; GUIDI et al., 2011; CHEN et al., 2012), aumento na formação de espécies reativas de oxigênio (LANDI et al., 2014) e, mais tarde, atrasa o desenvolvimento, inibe o crescimento das plantas e diminuindo o peso, número e tamanho dos grãos (HERRERA-RODRÍGUEZ et al., 2010; REID; FITZPATRICK, 2009), resultando em queda de produtividade (Figura 10). É importante destacar que as equações ajustadas consideraram o efeito aleatório de anos (duas safras agrícolas).

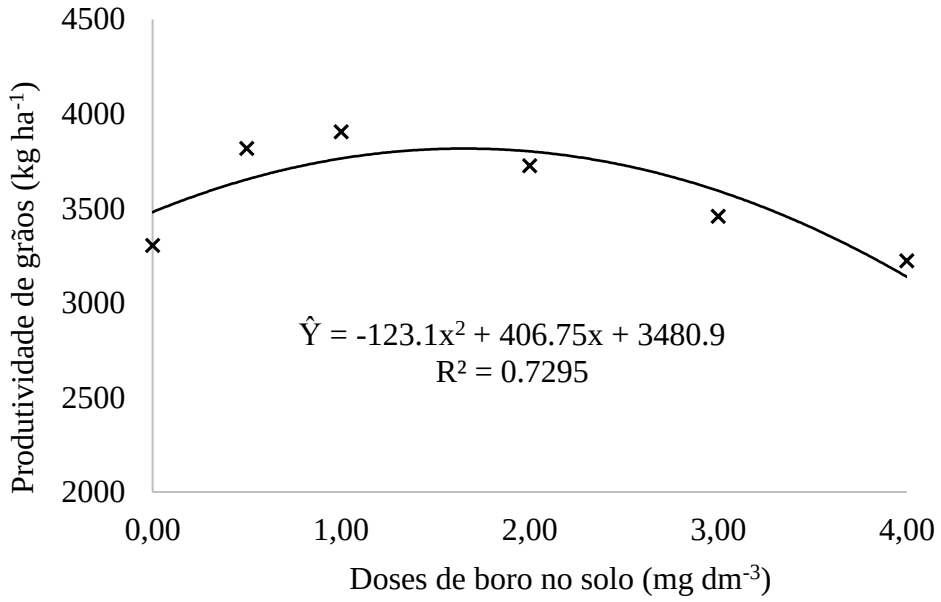

Figura 10. Efeito das doses de B (média das fontes) na produtividade de grãos de soja.

CONCLUSÕES

A toxicidade, causada pelo excesso de B na soja, foi visível a partir da dose 3,00 mg dm^{-3} correspondendo aos teores foliares de 86,39 mg kg^{-1}.

Os sintomas de toxicidade foram determinados como clorose malhada, seguida de necrose nas folhas mais velhas, iniciando-se nas bordas da folha. As plantas demonstraram encarquilhamento do limbo foliar e queda na produtividade.

REFERÊNCIAS

AFTAB, T. et al. Salicylic acid acts as potent enhancer of growth, photosynthesis and artemisinin production in artemisia annua l. **Journal of crop science and biotechnology**, 13:183-188, 2010.

ARDIC, M. et al. Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. **Plant Biology**, 11:328-338, 2009.

ÇATAV, Ş.S. et al. Effect of boron toxicity on oxidative stress and genotoxicity in wheat (triticum aestivum l.). **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, 100:502-508, 2018.

CERVILLA, L.M. et al. Oxidative stress and antioxidants in tomato (solanum lycopersicum) plants subjected to boron toxicity. **Annals of Botany**, 100:747-756, 2007.

CHEN, L.S. et al. Boron stresses and tolerance in citrus. **African Journal of Biotechnology**, 11:5961-5969, 2012.

DONAGEMA, G.K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos** (INFOTECA-E), 2011.

DUPAS, E. Nitrogênio, potássio e boro: Aspectos produtivos, morfológicos, nutricionais e frações fibrosas e proteicas do capim-tanzânia. **Book Ttle**, Universidade de São Paulo, 2012.

FAGERIA, N. et al. Micronutrients in crop production. **Book Ttle**, Elsevier, 2002. p. 185-268.

FAROOQ, M. et al. Boron nutrition of rice in different production systems. **A review.** Agronomy for sustainable development, 38:25, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

FURLANI, A.M. et al. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25, 2001.

GIANSOLDATI, V. et al. Nitrogen fertilizer improves boron phytoextraction by brassica juncea grown in contaminated sediments and alleviates plant stress. **Chemosphere**, 87:1119-1125, 2012.

GUIDI, L. et al. Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato grown with saline water. **Environmental and experimental botany**, 73:57-63, 2011.

GUPTA, U.C. Boron deficiency and toxicity symptoms for several crops as related to tissue boron levels. **Journal of plant nutrition**, 6:387-395, 1983.

HERRERA-RODRÍGUEZ, M.B. et al. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. **Plant Stress**, 4:115-122, 2010.

LANDI, M. et al. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: **A review**. Am J Agric Biol Sci, 7:255-270, 2012.

LANDI, M. et al. Photoprotection by foliar anthocyanins mitigates effects of boron toxicity in sweet basil (ocimum basilicum). **Planta**, 240:941-953, 2014.

LIMA, A.D. et al. Adubação borácica na cultura do girassol. **Revista Agro@ mbiente On-line**, 7:269-276, 2013.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. Edn. Academic Pres, 1995

MENGEL, K. et al. Boron. **Book Ttle**, Springer, 2001. p. 621-638.

METWALLY, A.M. et al. Physiological responses to excess boron in wheat cultivars. **European Journal of Biological Research**, 7:1-8, 2017.

PAPADAKIS, I.E. et al. Boron toxicity in 'clementine'mandarin plants grafted on two rootstocks. **Plant Science**, 166:539-547, 2004.

PRADO, R.D.M.; VIDAL A.D.A. Efeitos da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milheto. Pesquisa Agropecuária Tropical, 38, 2008.

PRADO, R.D.M. **Nutrição de plantas**. editora UNESP, 2008.

RAIJ, B.V. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agronômico**, 2001.

RAIJ B.V.; BATAGLIA O.C. Análise química de solo. **Micronutrientes na agricultura**, 1991.

REID, R. Update on boron toxicity and tolerance in plants. **Advances in Plant and Animal Boron Nutrition**:83-90, 2007.

REID, R. Identification of boron transporter genes likely to be responsible for tolerance to boron toxicity in wheat and barley. **Plant and cell physiology**, 48:1673-1678, 2007b.

REID, R.; FITZPATRICK K. Influence of leaf tolerance mechanisms and rain on boron toxicity in barley and wheat. **Plant physiology**, 151:413-420, 2009.

REID, R.J. Boron toxicity and tolerance in crop plants. **Book Ttle**, Springer, 2013. p. 333-346.

ROESSNER, U. et al. An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. **Plant physiology**, 142:1087-1101, 2006.

SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018.

SILVA, F.C.D.S. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa Informação Tecnológica**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos Brasília, 2009.

TASSI, E. et al. Physiological and biochemical responses of sunflower (helianthus annuus l.) exposed to nano-ceo2 and excess boron: Modulation of boron phytotoxicity. **Plant physiology and biochemistry**, 110:50-58, 2017.

TRAUTMANN, R.R. et al. Soil water potencial and boron fertilization in growth and uptake of the nutrient for the soybean crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:240-251, 2014.

WANG, J. et al. Recent advancements in boron nitride nanotubes. **Nanoscale**, 2:2028-2034, 2010.