



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS DE GURUPI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**LARISSA URZÊDO RODRIGUES**

**MICRONUTRIENTES NA CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE E  
MORFOFISIOLOGIA DA SOJA NO CERRADO TOCANTINENSE**

**GURUPI-TO  
2018**

**LARISSA URZÊDO RODRIGUES**

**MICRONUTRIENTES NA CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE E  
MORFOFISIOLOGIA DA SOJA NO CERRADO TOCANTINENSE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Rubens Ribeiro da Silva  
Co-orientador: Dr. Joênes Mucci Peluzio

**GURUPI-TO  
2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- R696m Rodrigues, Larissa Urzêdo .  
Micronutrientes na construção da fertilidade e morfofisiologia da soja no Cerrado tocantinense. / Larissa Urzêdo Rodrigues. – Gurupi, TO, 2018.  
65 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2018.  
Orientador: Rubens Ribeiro da Silva  
Coorientador: Joênes Mucci Peluzio
1. Micronutrientes. 2. Fertilidade do solo. 3. Nutrição de plantas. 4. Fisiologia vegetal. I. Título

**CDD 635**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

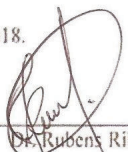
**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

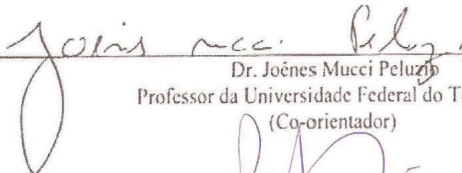
LARISSA URZÉDO RODRIGUES

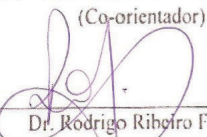
**MICRONUTRIENTES NA CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE E  
MORFOFISIOLOGIA DA SOJA NO CERRADO TOCANTINENSE**

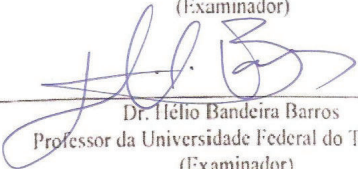
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Produção Vegetal. Foi avaliada para  
obtenção do título de Doutora em Produção  
Vegetal e aprovada em sua forma final pelo  
orientador e pela Banca Examinadora.

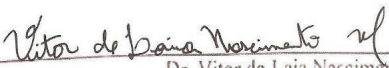
Data de aprovação: 18/12/2018.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rubens Ribeiro da Silva  
Professor da Universidade Federal do Tocantins  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Joênes Mucci Peluzzi  
Professor da Universidade Federal do Tocantins  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rodrigo Ribeiro Fidélis  
Professor da Universidade Federal do Tocantins  
(Examinador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Hélio Bandeira Barros  
Professor da Universidade Federal do Tocantins  
(Examinador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Vitor de Laia Nascimento  
Programa Nacional de Pós-Doutorado - Universidade Federal do Tocantins  
(Examinador)

GURUPI-TO  
2018

*Aos meus pais, Agnelo e Eliete, dedico esta conquista.*

*“Se não estivermos dispostos a pagar um preço por nossos valores, se não estivermos dispostos a fazer alguns sacrifícios para realizá-los, então deveríamos nos perguntar se realmente acreditamos neles.”*  
*(Barack Obama)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a força e coragem necessárias para enfrentar todas as dificuldades para a realização deste trabalho.

Aos meus pais e minha irmã Allynne, pelo amor, confiança, apoio e incentivo para concretização de mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pets, Melissa e Chanel  .

Aos meus amigos, por compreenderem a minha ausência em diversos momentos durante esta caminhada.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da Universidade Federal do Tocantins (UFT) pela oportunidade do curso de Doutorado.

Aos professores Dr. Joênes Mucci Peluzio e Dr. Rubens Ribeiro da Silva, pela orientação, dedicação e ensinamentos que levarei para a vida.

Ao Coordenador do PPGPV, professor Dr. Rodrigo Ribeiro Fidélis, pelos conselhos e credibilidade depositada.

À Secretária do PPGPV, Érika de Araújo Menezes Borba, pela atenção e carinho em todos os momentos.

Aos colegas do grupo de pesquisa NERO, em especial: Antônio Carlos, Álvaro, Marcelo e Jessiane, pela convivência e colaboração na condução dos experimentos.

Aos técnicos do Laboratório de Solos da UFT: Ângela, Jaci e Túllio, pela ajuda valiosa para a realização deste trabalho.

Aos Doutores Gilson Araújo de Freitas e Vitor Laia Nascimento, por agregarem no conhecimento obtido.

Aos demais Professores e servidores da UFT, pela contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas da pós-graduação, pela troca de experiências.

À equipe de apoio de campo da UFT, pela gentileza.

E a todos que, de alguma forma, fizeram parte deste trabalho.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001**



## RESUMO

Com a expansão da atividade agropecuária no MATOPIBA, a construção da fertilidade dos solos em micronutrientes, especialmente o B, é importante devido ao seu papel na produção vegetal, sendo altamente exigido pela cultura da soja. Assim, é necessário um manejo preciso e eficiente da fertilização boratada, pois a prática - considerada de alto custo, é influenciada por fatores relacionados com o tipo de solo, a solubilidade das fontes, o modo de aplicação e a variedade genética. Objetivou-se com este trabalho: 1. Avaliar a disponibilidade de B no solo para a construção da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Neossolo Quartzarênico. Para isso, os tratamentos obtidos em fatorial 5x10 consistiram de cinco fontes (ácido bórico, octaborato de sódio, tetraborato de sódio, óxido e óxi-sulfato) e dez tempos de incubação (0, 5, 10, 15, 25, 40, 55, 70, 85 e 100 dias), com três repetições. A dose de B aplicada foi de 4,0 mg dm<sup>-3</sup> em amostras de solo de 0,5 dm<sup>3</sup> com pH corrigido para 6,0; 2. Avaliar os efeitos da adubação com H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> no solo e foliar sobre o desenvolvimento de plantas de soja cv. M8808Ipro. Para isso, os tratamentos obtidos em fatorial 3x2 consistiram de três doses de B no solo: 0 (controle); 0,62 e 3,4 kg ha<sup>-1</sup>, na ausência e presença de suplementação foliar, com quatro repetições; 3. Avaliar os efeitos da adubação com micronutrientes na forma de óxidos sobre a nutrição e morfofisiologia de plantas de soja cv. M8349Ipro. Para isso, os tratamentos consistiram da adubação com micronutrientes nas doses: 0,00 (testemunha), 56,67 e 211,11 kg ha<sup>-1</sup>, correspondentes a interpretação das classes de B no solo: muito baixo, ideal e alto. Os parâmetros fisiológicos foram quantificados nos estádios V6 e R2 da cultura. A disponibilidade de B nos solos foi menor com o uso das fontes mais solúveis e a eficiência da adubação com óxido e óxi-sulfato foi superior a 80%. A absorção de B pelas plantas aumentou gradativamente com o fornecimento de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> via solo e foliar, enquanto o aparato fisiológico foi mais eficiente na ausência de suplementação foliar. A adubação com doses crescentes de micronutrientes na forma de óxidos via solo influenciou de modos distintos a absorção de B, Cu, Mn e Zn pelas plantas, e reduziu o rendimento de biomassa e grãos de soja. Todavia, a dose 56,67 kg ha<sup>-1</sup> conferiu maior clorofila total em R2 e melhor condutância estomática e concentração interna de carbono em V6. A adubação com fontes boratadas mais solúveis não é eficiente para a construção da fertilidade dos solos em B. A adubação com H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> no solo e foliar não melhora a morfofisiologia e a produção de soja em solo argiloso com teor de B inicial de 0,30 mg dm<sup>-3</sup>, embora aumente o acúmulo de B foliar. A adubação com micronutrientes na forma de óxidos incorporados ao solo não aumenta o rendimento da soja, apesar da aplicação de 56,67 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante proporcionar teores foliares de B e Cu adequados e melhorar a atividade fotossintética das plantas.

**Palavras-chaves:** Boro. Latossolo. Neossolo. *Glycine max* L.. Nutrição de plantas.

## ABSTRACT

With the expansion of agricultural activity in MATOPIBA, the construction of soil fertility in micronutrients, especially B, is important due to its role in plant production, being highly demanded by the soybean crop. Thus, it is necessary a precise and efficient management of borated fertilization, since the practice - considered of high cost, is influenced by factors related to the type of soil, the solubility of the sources, the mode of application and the genetic variety. The objective of this work was: 1. To evaluate the availability of B in the soil for the construction of the fertility of a Oxisol and Entisol. For this, treatments obtained in 5x10 factorial consisted of five sources (boric acid, sodium octaborate, sodium tetraborate, oxide and oxysulphate) and ten incubation times (0, 5, 10, 15, 25, 40, 55, 70, 85 and 100 days), with three replicates. The dose of B applied was  $4.0 \text{ mg dm}^{-3}$  in soil samples of  $0.5 \text{ dm}^3$  with pH corrected to 6.0; 2. To evaluate the effects of fertilization with  $\text{H}_3\text{BO}_3$  in the soil and leaf on the development of soybean plants cv. M8808Ipro. For this, the treatments obtained in factorial 3x2 consisted of three doses of B in the soil: 0 (control); 0.62 and  $3.4 \text{ kg ha}^{-1}$ , in the absence and presence of foliar supplementation, with four replications; 3. Evaluate the effects of fertilization with micronutrients in the form of oxides on nutrition and morphology of soybean plants cv. M8349Ipro. For this, treatments consisted of fertilization with micronutrients at the doses: 0.00 (control), 56.67 and  $211.11 \text{ kg ha}^{-1}$ , corresponding to the interpretation of B classes in the soil: very low, ideal and high. The physiological parameters were quantified in the V6 and R2 stages of the culture. The availability of B in the soils was lower with the use of the more soluble sources and the efficiency of the fertilization with oxide and oxysulphate was superior to 80%. The uptake of B by plants increased gradually with the supply of  $\text{H}_3\text{BO}_3$  via soil and foliar, while the physiological apparatus was more efficient in the absence of foliar supplementation. Fertilization with increasing doses of micronutrients in the form of oxides via soil influenced in different ways the absorption of B, Cu, Mn and Zn by plants, and reduced the yield of biomass and soybean grains. However, the dose  $56.67 \text{ kg ha}^{-1}$  conferred higher total chlorophyll in R2 and better stomatal conductance and internal carbon concentration in V6. Fertilization with more soluble borate sources is not efficient for the construction of soil fertility in B. Fertilization with  $\text{H}_3\text{BO}_3$  in the soil and foliar does not improve morphophysiology and soybean production in clayey soils with an initial B content of  $0.30 \text{ mg dm}^{-3}$ , although it increases leaf B accumulation. Fertilization with micronutrients in the form of oxides incorporated in the soil does not increase the yield of soybeans, despite the application of  $56.67 \text{ kg ha}^{-1}$  of the fertilizer to provide adequate B and Cu leaf contents and to improve the photosynthetic activity of the plants.

**Key-words:** Boron. Oxisol. Entisol. *Glycine max* L.. Plant nutrition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Área compreendida por Latossolos e Neossolos na região do MATOPIBA.....	15
Figura 2- Disponibilidade de boro (A) e Eficiência da adubação (B) com fontes ao longo do tempo de incubação para a construção da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo.....	19Y
Figura 3- Disponibilidade de boro (A) e Eficiência da adubação (B) com fontes ao longo do tempo de incubação para a construção da fertilidade de um Neossolo Quartzarênico.....	20Y
Figura 4- Número de hastes por planta (A), Massa seca da parte aérea (B) e Área foliar (C) de plantas de soja submetidas à adubação com doses de boro no solo associado a ausência e presença de suplementação foliar utilizando $H_3BO_3$ .....	35
Figura 5- Acúmulo de B foliar em plantas de soja submetidas à adubação com doses de boro no solo associado a ausência e presença de suplementação foliar utilizando $H_3BO_3$ .....	36
Figura 6- Número de vagens por planta (A), Número de grãos por vagem (B), Número de grãos por planta (C) e Massa de grãos por planta (D) de soja submetidas a adubação com doses de boro no solo associado a ausência e presença de suplementação foliar utilizando $H_3BO_3$ .....	37
Figura 7- Clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B) e clorofila <i>total</i> (C) de soja submetidas a adubação com doses de boro no solo associado a ausência e presença de suplementação foliar utilizando $H_3BO_3$ .....	38
Figura 8- Assimilação líquida de $CO_2$ (A), Condutância estomática (B), Transpiração (C) e Eficiência do uso da água (D) de plantas de soja submetidas a adubação com doses de boro no solo associado a ausência e presença de suplementação foliar utilizando $H_3BO_3$ .....	39
Figura 9- Clorofila <i>a</i> (A), Clorofila <i>b</i> (B) e Clorofila total (C) de plantas de soja submetidas a adubação com micronutrientes na forma de óxidos via solo com avaliações nos estádios V6 e R2 da cultur	
Figura 10- Assimilação líquida de $CO_2$ (A), Condutância estomática (B), Transpiração (C), Eficiência do uso da água (D) e concentração interna de carbono (E) de plantas de soja submetidas a adubação com micronutrientes na forma de óxidos via solo com avaliações nos estádios V6 e R2 da cultura.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades físicas e atributos químicos do Latossolo Vermelho-amarelo e do Neossolo Quartzarênico.....	16
Tabela 2- Quadrados médios para Teor de boro disponível e Eficiência da adubação com fontes ao longo do tempo de incubação para a construção da fertilidade de um Latossolo Vermelho-amarelo e um Neossolo Quartzarênico.....	17
Tabela 3- <a href="#"><u>Teor de boro disponível e eficiência da adubação com fontes de diferentes solubilidades em um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Neossolo Quartzarênico</u></a> 18	
Tabela 4- Atributos químicos e propriedades físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo .....	30
Tabela 5- Formas de adubação com H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> na soja.....	31
Tabela 6- <a href="#"><u>Quadrados médios das características: Altura de plantas (AP), Número de hastes por planta (HP), Massa seca da parte aérea (MSPA), Área foliar (AF), Área foliar específica (AFE), Teor de boro foliar (B), Altura de inserção da primeira vagem (AIPV), Número de vagens por planta (VP), Número de grãos por vagem (GV), Número de grãos por planta (GP), Massa de grãos por planta (MGP), Massa de cem grãos (M100), Clorofila a (Clor a), Clorofila b (Clor b), Clorofila total (Clor total), Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), Condutância estomática (gs), Transpiração (E) e Eficiência do uso da água (EUA) de plantas de soja submetidas a formas de adubação com H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> no solo e foliar...</u></a> 33	
Tabela 7- <a href="#"><u>Altura de plantas, Área foliar específica, Altura de inserção da primeira vagem e Massa de cem grãos de plantas de soja submetidas a adubação com doses de boro no solo utilizando H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></u></a> ..34	
Tabela 8- <a href="#"><u>Concentração interna de carbono de plantas de soja submetidas à adubação com doses de boro no solo utilizando a fonte H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></u></a> ..39	
Tabela 9- Atributos químicos e propriedades físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo .....	50
Tabela 10- Doses de boro, cobre, manganês e zinco aplicadas ao solo através do fertilizante na forma de óxido.....	51
Tabela 11- <a href="#"><u>Quadrados médios para as características: Altura de plantas (AP), Diâmetro do caule (DC), Número de hastes por planta (HP), Massa seca da parte aérea (MSPA), Área foliar (AF), Área foliar específica (AFE), Teores foliares de Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Zinco (Zn); Número de flores por planta (FP), Número de vagens por planta (VP), Número de grãos por vagem (GV), Número de grãos por planta (GP), Massa de grãos por planta (MGP) e Massa de cem grãos (M100) de plantas de soja submetidas a adubação com micronutrientes na forma de óxidos incorporados ao solo..</u></a>	
Tabela 12- <a href="#"><u>Altura de plantas, Diâmetro do caule, Número de hastes por planta, Massa seca da parte aérea, Área foliar e Área foliar específica plantas de soja submetidas à adubação com micronutrientes na forma de óxidos via solo</u></a> ..54	
Tabela 13- <a href="#"><u>Teores foliares de Boro, Cobre, Manganês e Zinco de plantas de soja submetidas a adubação com micronutrientes na forma de óxidos via solo</u></a> ..55	
Tabela 14- <a href="#"><u>Número de flores por planta, Número de vagens por planta, Número de grãos por vagem, Número de grãos por planta, massa de grãos por planta e massa de cem grãos de soja submetidas à adubação com micronutrientes na forma de óxidos via solo</u></a> ..55	