



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

JULIANA APARECIDA DE SOUZA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO, ZINCO E AMINOÁCIDOS  
NO TRIGO E NA SOJA**

---

Londrina  
2017

JULIANA APARECIDA DE SOUZA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO, ZINCO E AMINOÁCIDOS  
NO TRIGO E NA SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira  
Co-orientadora: Dra. Larissa Alexandra  
Cardoso Moraes

Londrina  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Souza, Juliana Aparecida de.

APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO, ZINCO E AMINOÁCIDOS NO TRIGO E NA SOJA /  
Juliana Aparecida de Souza. - Londrina, 2017.

82 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira.

Coorientador: Larissa Alexandra Cardoso Moraes.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, , 2017.

Inclui bibliografia.

1. Adubação foliar - Tese. 2. Micronutrientes - Tese. 3. Trigo - Tese. 4. Soja - Tese. I. Moreira, Adônis . II. Cardoso Moraes, Larissa Alexandra . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. . IV. Título.

JULIANA APARECIDA DE SOUZA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO, ZINCO E AMINOÁCIDOS NO TRIGO  
E NA SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira  
Embrapa Soja/UEL – Londrina – PR

---

Dr. Antonio Costa  
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

---

Prof. Dr. Cristóvão Gomes Plácido Júnior  
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

---

Dr. Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera  
Coodenadoria de Assistência Técnica  
Integral - CATI

---

Dr. Sérgio Luiz Gonçalves  
Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária - EMBRAPA

Londrina, 11 de Agosto de 2017.

*À Deus, aos meus pais Devanir José de Souza e Aparecida Sala de Souza e ao meu esposo, Leonardo Poltronieri Sampaio.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por esta oportunidade.

Aos meus pais, Devanir José de Souza e Aparecida Sala de Souza, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu esposo, Leonardo Poltronieri Sampaio, pelo amor, amizade, companheirismo e apoio.

Ao meu orientador Dr. Adônis Moreira, e co-orientadora Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes, pelos ensinamentos, aprendizado, orientação e pela amizade.

Aos membros da banca, Dr. Antonio Costa, Prof. Dr. Cristóvão Gomes Plácido Júnior, Dr. Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera e Dr. Sérgio Luiz Gonçalves pela presença e contribuições.

À Embrapa Soja, local onde foi desenvolvido os experimentos. Aos pesquisadores, funcionários e demais colaboradores, pela cooperação na execução das atividades de pesquisa.

Ao programa de Pós graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL),. Aos professores, funcionários e colaboradores. Aos funcionários do laboratório de Solos da UEL, Márcio Praxedes e João Machado e a secretária da Pós-graduação da Agronomia, Weda Aparecida Westin.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

Ao todos os amigos e colegas da UEL, em especial a minha querida amiga Brenda Tonon Debiasi.

Aos demais familiares, amigos, conhecidos e todos que me apoiaram.

Tudo que eu sinto neste momento se resume em uma só palavra, gratidão!

SOUZA, Juliana Aparecida. **Aplicação foliar de boro, zinco e aminoácidos no trigo e na soja**. 2017. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

## RESUMO

A adubação foliar com micronutrientes e aminoácidos (AAs) têm sido utilizado no aumento da produtividade das culturas. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de boro (B), zinco (Zn) e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes de produção e produtividade de grãos do trigo e da soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de B ou Zn (0, 1, 2, 4, e 8 kg ha<sup>-1</sup>) na presença de AAs (2L ha<sup>-1</sup>) e três tratamentos adicionais [controle (sem aplicação de B ou Zn e AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> de B ou Zn, 2 kg ha<sup>-1</sup> de B ou Zn + 1 L ha<sup>-1</sup> de AAs], pulverizados via foliar no estágio de crescimento V6 da soja e na fase final de alongamento e início de pré-espigamento do trigo, em dois anos de cultivo, em Latossolo Vermelho Escuro eutrófico textura argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila) com boa disponibilidade de B e Zn. Foram avaliadas as características fisiológicas (teor de clorofila, fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, taxa transpiratória e eficiência de uso da água), estado nutricional (teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Zn e Mn nas folhas e nos grãos), componentes de produção (massa de 100 ou 1000 grãos e peso do hectolitro) e a produtividade de grãos. A adubação foliar com Zn no trigo incrementou os teores do nutriente nos grãos, indicando ser importante na biofortificação agrônômica. A adubação foliar com B, Zn e AAs não influenciou os componentes de produção e a produtividade de grãos do trigo e da soja, cultivado em solo argiloso com boa disponibilidade de nutrientes, não sendo indicada a sua aplicação com o objetivo de aumentar a produtividade.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* *Triticum aestivum*. Micronutrientes. Estado nutricional. Componentes fisiológicos. Componentes de produção. Produtividade de grãos.

SOUZA, Juliana Aparecida. **Boron, zinc and amino acids foliar application in the wheat and soybean.** 2017. 82f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2017.

### ABSTRACT

The foliar fertilization with micronutrients and aminoacids (AAs) has been used in the increasing of yield crops. This study aimed to evaluate the foliar application effect with boron (B), zinc (Zn) and AAs in the physiological characteristics, nutritional state, yield components, and grain yield of wheat and soybean. The experimental design was a randomized blocks with eight treatments and four replicates. The treatments had five B or Zn rates (0, 1, 2, 4, and 8 kg ha<sup>-1</sup>) + 2 L ha<sup>-1</sup> AAs, and three additional treatments [control (without B or Zn and AAs applications), 2 kg ha<sup>-1</sup> of B or Zn and 2 kg ha<sup>-1</sup> of B or Zn + 1 L ha<sup>-1</sup> of AAs], applied by foliar spraying at the end of the elongation and spike beginning of wheat plants, and development growth stage (V5) of soybean for two growing seasons in loamy soil Kaolinitic Typic Eutrorthox loamy (860 g kg<sup>-1</sup> clay) with adequate B and Zn level. The physiological characteristics (chlorophyll level, content photosynthesis, stomatal conductance, intercellular carbon dioxide, transpiration rate, and intrinsic water use efficiency), nutritional state (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Zn and Mn concentration in leaves and grains), yield components (mass of 100 or 1000 grains and hectoliter weight) and the yields grain were evaluated. The foliar Zn application increased the nutrient content in wheat grains, recommended that it is important in agronomical biofortification. The foliar B, Zn and AAs application did not affect yields components and grain yield at wheat and soybean, its application aimed to increase the grain yield in soil with adequate levels nutrient is not recommended.

**Keywords:** *Glycine max.* *Triticum aestivum.* Micronutrients. Nutritional state. Physiological Components. Yield components. Grain yield.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Evolução da produtividade, área colhida e produção do trigo no Brasil, no período de 1980 a 2016. .... 14
- Figura 2.2 - Evolução da produtividade, área colhida e produção da soja no Brasil, no período de 1980 a 2016. .... 16

### ARTIGO A

- Figura 3.1 - Temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) no período de condução dos experimentos (2013/2014 e 2014/2015). Trigo [PW- plantio do trigo (08/05/2013 e 10/05/2014); 10.5.1 – início do florescimento, 11.4 - colheita do trigo (10/09/2013 e 13/09/2014) (LARGE, 1954)]. Soja [(PS- plantio da soja (08/10/2013 e 14/10/2014); R2-florescimento pleno, R8-maturação plena (10/02/2014 e 18/02/2015) (FEHR et al., 1971)]. .....41

### ARTIGO B

- Figura 4.1 - Temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) no período de condução dos experimentos (2015/2016 e 2016/2017). Trigo [PW- plantio do trigo (24/04/2015 e 03/05/2016); 10.5.1 – início do florescimento, 11.4 - colheita do trigo (31/08/2015 e 12/09/2016) (LARGE, 1954)]. Soja [(PS- plantio da soja (15/10/2015 e 04/11/2016); R2-florescimento pleno, R8- maturação plena (11/02/2016 e 07/03/2017) (FEHR et al., 1971)]. .....58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Teores de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) adequados para as culturas (análise de folhas). .....	22
Tabela 2.2 - Teores de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) adequados para as culturas (análise de folhas). .....	26
<b>ARTIGO A</b>	
Tabela 3.1 - Produtividade de grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). .....	45
Tabela 3.2 - Massa de 1000 grãos e peso do hectolitro (PH) do trigo e massa de 100 grãos da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). .....	46
Tabela 3.3 - Leitura SPAD, Teor de clorofila, Taxa fotossintética, condutância estomática (gs), concentração de $\text{CO}_2$ (Ci), taxa de transpiração ( $\text{Trmmol}$ ) e eficiência de uso da água ( $\text{EuH}_2\text{O}$ ) do trigo (T) e da soja (S) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013/14 e 2014/15). .....	47
Tabela 3.4 - Teor médio de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas folhas e nos grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). .....	49
Tabela 3.5 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas (F) e nos grãos (G) do trigo em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013 e 2014). .....	52
Tabela 3.6 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas (F) e nos grãos (G) da soja em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015). .....	53

## ARTIGO B

Tabela 4.1 -	Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de Zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). .....	62
Tabela 4.2 -	Massa de 1000 grãos e peso do hectolitro (PH) do trigo e massa de 100 grãos da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). .....	63
Tabela 4.3 -	Leitura SPAD, Teor de clorofila, Taxa fotossintética, condutância estomática (gs), concentração de $\text{CO}_2$ (Ci), taxa de transpiração ( $\text{Trmmol}$ ) e eficiência de uso da água ( $\text{EuH}_2\text{O}$ ) do trigo (T) e da soja (S) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015/16 e 2016/17). .....	64
Tabela 4.4 -	Teor médio de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas folhas e nos grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). .....	66
Tabela 4.5 -	Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nas folhas (F) e nos grãos (G) do trigo em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015 e 2016). .....	68
Tabela 4.6 -	Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nas folhas (F) e nos grãos (G) da soja em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017). .....	69

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1	CULTURA DO TRIGO .....	13
2.2	CULTURA DA SOJA .....	15
2.3	BORO .....	17
2.3.1	Boro no Solo.....	17
2.3.2	Boro na Planta.....	18
2.4	ZINCO .....	23
2.4.1	Zinco no Solo .....	23
2.4.2	Zinco na Planta .....	25
2.5	ADUBAÇÃO FOLIAR .....	27
2.5.1	Adubação Foliar com Boro.....	27
2.5.2	Adubação Foliar com Zinco.....	29
2.6	AMINOÁCIDOS.....	34
2.6.1	Adubação Foliar com Aminoácidos .....	35
<b>3</b>	<b>ARTIGO A: APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO E AMINOÁCIDOS NA SUCESSÃO TRIGO-SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO</b> .....	<b>37</b>
3.1	RESUMO .....	37
3.2	ABSTRACT.....	37
3.3	INTRODUÇÃO .....	38
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
3.5.1	Produtividade e Componentes de Produção do Trigo e da Soja.....	44
3.5.2	Componentes Fisiológicos do Trigo e da Soja .....	46
3.5.3	Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos do Trigo e da Soja.....	48
3.6	CONCLUSÕES .....	54

<b>4</b>	<b>ARTIGO B: APLICAÇÃO FOLIAR DE ZINCO E AMINOÁCIDOS NA SUCESSÃO TRIGO-SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO .....</b>	<b>55</b>
4.1	RESUMO .....	55
4.2	ABSTRACT.....	55
4.3	INTRODUÇÃO .....	56
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
4.5.1	Produtividade e Componentes de Produção do Trigo e da Soja.....	60
4.5.2	Componentes Fisiológicos do Trigo e da Soja .....	62
4.5.3	Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos do Trigo e da Soja.....	65
4.6	CONCLUSÕES .....	70
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os micronutrientes essenciais, o boro (B) e o zinco (Zn) merecem especial atenção por se tratar de elementos cujas deficiências aparecem em maior frequência nas culturas e por estarem diretamente relacionados à formação e à qualidade da colheita (MALAVOLTA, 2006). O B influi na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, aumenta o pegamento de flores e a granação e causa menor esterilidade masculina com menor chochamento de grãos, enquanto o Zn atua no alongamento das células, por meio da síntese do ácido indol acético (AIA), na redutase do nitrato e síntese dos aminoácidos (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

A adubação foliar constitui-se importante alternativa de adubação das culturas, visto que mesmo em situações nas quais a cultura encontra-se em solo com boas características físicas e químicas, pode haver aumento da produção com a adubação foliar (ROSOLEM, 1980; ROSOLEM; BOARETTO, 1989). No mercado existem inúmeros fertilizantes foliares contendo micronutrientes e a sua utilização tem aumentado nos últimos anos. Dessa forma, o interesse pelo fornecimento de micronutrientes com adubação foliar vem crescendo no Brasil. Aliado a isso, os aminoácidos (AAs) tem sido utilizados como coadjuvantes na adubação foliar, com o objetivo de potencializar a absorção dos nutrientes (MOREIRA et al., 2015a). No entanto, apesar da utilização de AAs na agricultura ter sido praticada por várias décadas em diversas culturas, poucos trabalhos científicos são encontrados demonstrando a eficácia ou não desses produtos (CASTRO; CARVALHO, 2014).

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) constitui-se numa das principais culturas da região sul do Brasil. O trigo (*Triticum aestivum* L.) e o milho (*Zea mays* L.) são alternativas para semeadura de inverno e safrinha em rotação (MOREIRA et al., 2015b). Os dados sobre a eficiência da aplicação foliar dos AAs na cultura do trigo e da soja são escassos na literatura, sendo necessários mais estudos para suprir a deficiência de informações sobre o assunto, principalmente quando associados à adubação foliar com micronutrientes. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação foliar com B, Zn e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes de produção e na produtividade de grãos do trigo e da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

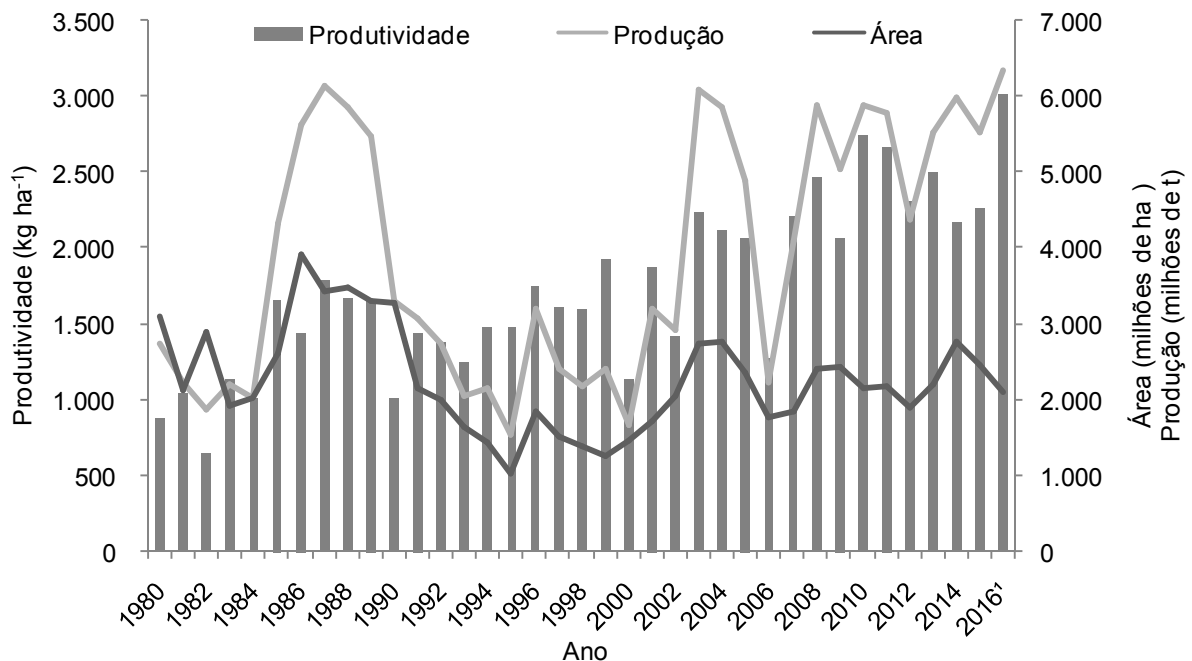
### 2.1 CULTURA DO TRIGO

O trigo foi uma das primeiras espécies cultivadas no mundo, sendo uma planta originária do cruzamento de gramíneas silvestres, que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates, na Ásia, por volta de 15.000 a 10.000 a.C (SILVA et al., 1996). A composição única de suas proteínas de reserva (gliadinas e gluteninas) permite a obtenção de vários produtos por meio do processo de panificação, fazendo do trigo um cereal mundialmente consumido (JOSHI et al., 2007). Sua diversidade de utilização, características nutricionais e facilidade de armazenamento caracterizam-no como alimento básico de, aproximadamente, um terço da população mundial (SLEPER; POEHLMAN, 2006).

Este cereal é o mais cultivado no mundo e estima-se que a produção mundial seja superior a 700 milhões de toneladas, com um rendimento médio de 3.280 kg ha<sup>-1</sup>, o trigo ocupa mais de 220 milhões de hectares e representa, aproximadamente, 30% da produção mundial de grãos (USDA, 2016). Sua produção concentra-se no hemisfério norte, em especial nos continentes asiático e europeu, sendo União Européia, China, Índia, Estados Unidos (EUA) e Rússia, os principais países produtores do cereal, responsáveis por mais de 60% da produção mundial.

A Figura 2.1 representa a evolução da área colhida, produção e produtividade de grãos do trigo no Brasil no período de 1980 a 2016 (CONAB, 2016a). Nas últimas décadas houve um aumento na produção, acompanhado por pequenas variações na área plantada e impulsionada pelo aumento na produtividade. A produção nacional oscila próximo a 6 milhões de toneladas, com cultivo nas regiões Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal) (CONAB, 2016b). A produção concentra-se na região Sul, a qual é responsável por 90% da produção nacional (4,9 milhões de toneladas), com área de cultivo de 2,3 milhões de hectares. O Estado do Paraná tem a maior área e produção (1,3 milhões de hectares e 3,4 milhões de toneladas), seguido pelo Rio Grande do Sul (861,3 mil hectares e 1,5 milhões de toneladas) e Santa Catarina (65 mil hectares e 117 mil toneladas) (CONAB, 2016b).

**Figura 2.1** - Evolução da produtividade, área colhida e produção do trigo no Brasil, no período de 1980 a 2016.



**Fonte:** Dados da Conab(2016a)

No Estado do Paraná, o trigo foi inicialmente cultivado por pequenos produtores da região sul, conhecida por zona colonial, caracterizada por áreas de mata recém desbravadas, com solos distróficos, apresentando teor elevado de alumínio ( $Al^{3+}$ ) tóxico e baixos níveis de nutrientes (BRUNETTA; DOTTO, 2000). Ainda segundo esses autores, a partir de 1970, iniciou-se a expansão para a região norte e oeste com solos de melhor fertilidade. A produtividade média do trigo no Brasil, na safra 2015, foi de  $2.260 \text{ kg ha}^{-1}$  e a produtividade média da região Sul foi menor, ficando em terceiro lugar com  $2.179 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto o Sudeste e o Centro-Oeste produziram  $3.247$  e  $3.363 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente (CONAB, 2016b).

A produção brasileira ocupa o segundo lugar na América do Sul, após a Argentina. Com uma produção anual que oscila próximo a 6 milhões de toneladas e uma demanda que se mantém inalterada nos últimos anos em 10 milhões de toneladas, o Brasil é um país importador desse cereal (CONAB, 2016b). Em razão desta produção insuficiente para a demanda do mercado interno, estudos visando elevar sua produção são necessários. Entende-se por potencial produtivo, a produção de grãos obtida quando a cultura não foi sujeita a limitações hídricas, nutricionais, fitossanitárias ou por plantas daninhas (FISHER, 2001). Além disso, a interação desses fatores, entre os quais se destacam o potencial genético da



cultivar, o manejo da cultura, o nível tecnológico adotado e as condições ambientais, podem restringir ou expandir o potencial de produção (TRINDADE et al., 2006).

De acordo com De Bona; Mori; Wietholter (2016), o trigo é uma excelente opção de cultivo para o período de inverno, pois agrega diversificação ao sistema de rotação de culturas e gera receita com a produção de grãos. Assim como nas demais culturas, como o milho e a soja, os seus custos de produção são dependentes do uso de fertilizantes, que por sua vez contribuem de forma efetiva no aumento da produtividade. Ressalta-se também a importância da busca do aumento da eficiência de uso dos nutrientes, por meio de estudos da demanda nutricional e práticas de manejo, destacando-se a adubação foliar com micronutrientes.

## 2.2 CULTURA DA SOJA

Estima-se que a soja foi domesticada no norte da China, tendo sido introduzida na Europa em 1740. Os primeiros relatos de cultivo nos Estados Unidos são de 1804. A primeira referência no Brasil foi de 1882, sendo que a produção comercial de grãos teve início no Rio Grande do Sul em torno de 1935, com a finalidade principal de alimentação de suínos. Em 1951 surgiu a primeira indústria para extração de óleo comestível no Brasil (MIYASAKA; MEDINA, 1981; SEDIYAMA, 2009).

A soja apresenta elevados teores de óleo e proteína nos grãos que podem ultrapassar 20% e 40%, respectivamente, sendo que os grãos podem fornecer óleo para alimentação humana, produção de biodiesel, desinfetantes, lubrificantes, sabões, dentre outros, enquanto o farelo é utilizado na alimentação humana e animal e, também, na manufatura de muitos produtos processados ou semiprocessados (SEDIYAMA, 2009).

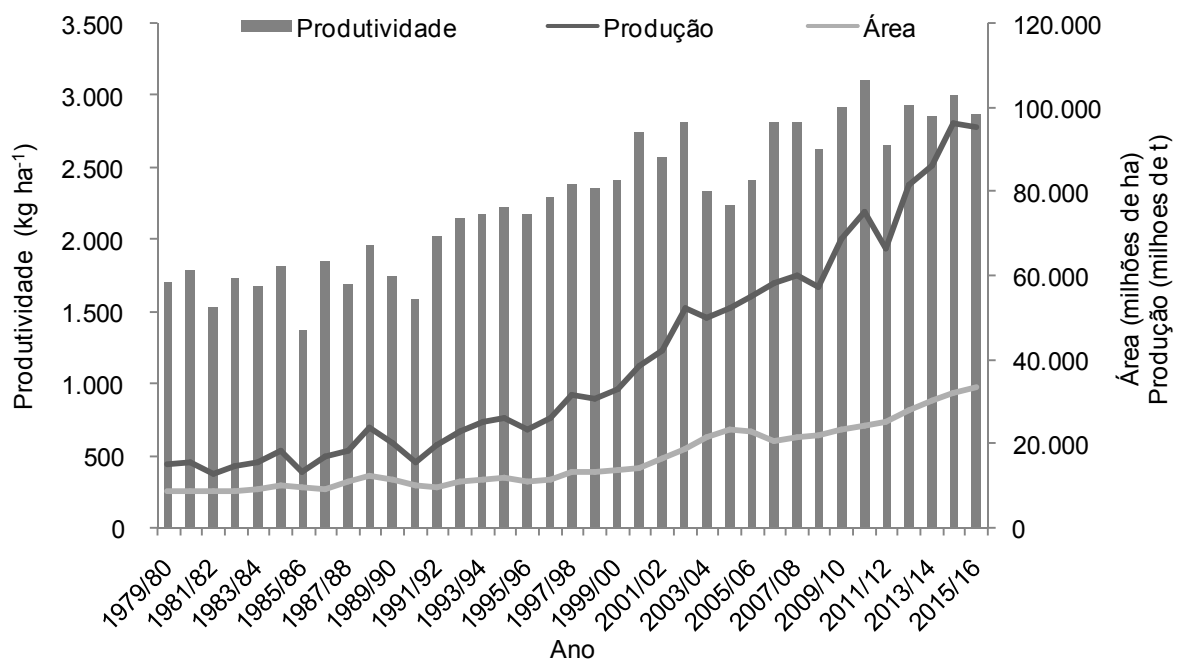
Hoje é uma das culturas mais importantes na economia mundial, com uma produção de 315,7 milhões de toneladas, sendo os EUA o maior produtor. No Brasil, tem grande importância do ponto de vista econômico, ocupa lugar de destaque no mercado de *commodities* e lidera o ranking mundial das exportações com 59,5 milhões de toneladas (CONAB, 2016b).

Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016b), a área brasileira ocupada pela soja na safra agrícola 2015/2016 foi de, aproximadamente 33,3 milhões de hectares, com produtividade média de 2.876

kg por hectare e produção total de cerca de 95,2 milhões de toneladas. O Estado do Mato Grosso lidera o ranking da produção nacional, com um volume estimado em 26,0 milhões de toneladas, em área estimada em 9,1 milhões de hectares, seguido de Paraná (17,0 milhões de toneladas) em uma área de 5,4 milhões de hectares e do Rio Grande do Sul, com uma produção de 16,2 milhões de toneladas em uma área de 5,4 milhões de hectares.

Em termos históricos, a partir da década de 1960, impulsionada pela política de subsídios ao trigo, visando auto-suficiência, a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante no Brasil (EMBRAPA, 2016). A Figura 2.2 representa a evolução da área colhida, produção e produtividade de grãos da soja no Brasil no período de 1979/1980 a 2015/2016 (CONAB, 2016a). Nas últimas décadas, a produção brasileira de soja apresentou um grande avanço, devido ao aumento de área, melhoramento genético, épocas de semeadura adequadas e técnicas de manejo, que permitiram o incremento na produtividade. Dentre as técnicas de manejo a serem estudadas na cultura da soja, no aumento da produtividade, encontra-se o uso da adubação foliar com micronutrientes.

**Figura 2.2** - Evolução da produtividade, área colhida e produção da soja no Brasil, no período de 1980 a 2016.



Fonte: Dados da Conab (2016a).

## 2.3 BORO

### 2.3.1 Boro no Solo

O B encontra-se na solução do solo, principalmente como  $H_3BO_3$ , que predomina na faixa de pH adequada para a agricultura, sendo esta a forma de B absorvida pelas plantas (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Segundo Yamada (2000), a absorção de B pelas plantas depende da sua atividade e concentração na solução do solo, e esta, por sua vez, das reações de adsorção entre o B e seus adsorventes existentes no solo, tais como os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), os minerais de argila, a matéria orgânica (MO), o hidróxido de magnésio (MgOH) e o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ).

Na fase sólida do solo, o B é encontrado nos minerais silicatados, adsorvidos em argilominerais, na matéria orgânica (MO) e nos hidróxidos de Fe e Al, e de modo geral, o B disponível encontra-se nas camadas superficiais dos solos bem drenados, ligados à MO (a mineralização da matéria orgânica constitui uma fonte importante de B para as plantas). Condições de seca dificultam sua absorção pelas plantas, enquanto que condições de excesso de calagem, principalmente em sistema de plantio direto (SPD), pode causar redução na sua disponibilidade (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A capacidade de adsorção depende da textura do solo, ou seja, quanto maior o teor de argila maior a fixação. Solos de texturas mais argilosas tendem a reter o B por períodos mais longos, o que também ocorre em solos com mais MO e maior capacidade de troca catiônica (CHAUDHARY; SHUKLA, 2004; ROSOLEM; BÍSCARO, 2007; LIMA et al. 2007). De acordo com Dechen; Nachtigall (2007), em solos de textura arenosa o B pode ser facilmente lixiviado, enquanto em solos de textura argilosa, sua mobilidade é pequena. Assim, aplicações de B em solo argilosos proporcionam perdas mínimas, já em solos arenosos as perdas podem ser importantes.

Dentre os fatores associados à sua disponibilidade e deficiência, o B apresenta baixa disponibilidade em reação ácida (falta de mineralização da matéria orgânica) e queda na disponibilidade em pH próximo da neutralidade (aumenta a lixiviação pelo aumento da CTC do solo e pelo aumento na relação Ca/B), ou seja, efeito quadrático em função do pH do solo (MALAVOLTA, 2006).

De acordo com os limites de interpretação do nutriente disponível no solo para diferentes condições edafoclimáticas, os teores de B disponível (água quente) são classificados em baixo ( $0 - 0,20 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,21 - 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e alto ( $> 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ) segundo Raij et al.(1997), ou muito baixo ( $\leq 0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ ), baixo ( $0,16 - 0,35 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,36 - 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ), bom ( $0,61 - 0,90 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e alto ( $> 0,90 \text{ mg dm}^{-3}$ ), de acordo com Alvarez et al. (1999).

Em estudo realizado por Fageria (2000a), os resultados mostraram que gramíneas, como arroz (*Oryza sativa L.*) e trigo são mais eficientes no uso do B que as leguminosas, como feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) e a soja. Por outro lado, de acordo com Rerkasem e Jamjod (2004), entre os principais cereais, o trigo é o mais suscetível a produzir perdas devido à deficiência de B em relação ao arroz e milho, sendo inclusive mais sensível do que algumas dicotiledôneas, incluindo a soja e o feijão. A deficiência tem efeito no seu processo de reprodução causando esterilidade e diminui o rendimento da cultura, e coloca o trigo entre os cultivos de maior risco em solos com baixo teor de B.

Fageria (2000a), em condições de casa de vegetação, determinou os teores de B, adequado e tóxico no solo, em relação à produção relativa da parte aérea das culturas do arroz, feijão, milho, soja e trigo. O teor de B considerado adequado no solo foi de 0,4, 0,9, 1,3, 2,6 e 0,4  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, enquanto o nível tóxico foi de 2,3, 2,8, 5,7, 5,2 e 4,3  $\text{mg kg}^{-1}$  nas mesmas culturas. No Estado do Paraná, os teores de B disponível no solo para o cultivo da soja é considerado baixo ( $< 0,30 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,30 - 0,49 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto ( $> 0,50 - 2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $> 2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) (TPS, 2013).

### 2.3.2 Boro na Planta

O B é do grupo dos elementos químicos conhecidos como ametais (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Sob condições fisiológicas normais e na ausência de interações com biomoléculas, o B está presente como ácido bórico  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ou ânion borato  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  (POWER; WOODS, 1997), sendo relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas, tais como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; lignificação; estrutura da parede celular; respiração; metabolismo de carboidratos; metabolismo do ácido ribonucleico (RNA); metabolismo de carboidratos, metabolismo de ácido indolacético (AIA); metabolismo de compostos

fenólicos; metabolismo de ascorbato, integridade da membrana plasmática e a fixação de nitrogênio (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; MARSCHNER, 2012).

Entre as suas diversas funções, duas estão muito bem definidas: síntese da parede celular e integridade da membrana plasmática (CAKMAK; RÖMHELD, 1997; MORAES et al., 2002). A principal função do B está relacionada às estruturas primárias da parede celular, mais especificamente na síntese de pectina, celulose e lignina (POWER; WOODS, 1997). O papel do B na integridade da membrana foi demonstrado por Cakmak et al. (1995), que comparando folhas de girassol (*Helianthus annuus*) deficientes em B com folhas normais (nível suficiente), observaram que o vazamento era 35 vezes maior para o K, 45 vezes maior para a sacarose e 7 vezes maior para os fenólicos e aminoácidos nas folhas deficientes em relação as normais.

No geral, a exigência nutricional das culturas torna se mais intensa com o início da fase reprodutiva. Essa maior exigência deve-se à sua essencialidade na formação e no desenvolvimento de novos órgãos de reserva (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). A fertilização masculina é a mais prejudicada pela deficiência de B, principalmente a microsporogênese e o crescimento do tubo polínico, e na pós-fertilização, podem ocorrer problemas na embriogênese, resultando em aborto da semente, formação de embriões incompletos ou danificados e frutos deformados (FURLANI et al., 2003). A carência de B foi identificada como a causa da esterilidade de flores na cultura do trigo (RERKASEM; JAMJOD, 2004). Além da melhor fecundação das flores e formação de grãos, o B aumenta a retenção das vagens recém-formadas, além de atuar no crescimento do meristema, diferenciação celular, maturação, divisão celular e crescimento das plantas (PRADO, 2008).

Por causa da rapidez e grande variedade de sintomas que se sucedem após a supressão do nutriente na cultura, definir a função primária do B parece ser um dos grandes desafios na nutrição mineral de plantas (BLEVINS; LUKASZEWSKY, 1998). Dessa forma, o B é o único elemento que não satisfaz o critério direto de essencialidade (MALAVOLTA, 2006). Os sintomas de deficiência estão relacionados a sua mobilidade dentro da planta. Espécies em que o B é relativamente imóvel, o sintoma inicial de deficiência é o desenvolvimento anormal dos pontos de crescimento e com o decorrer do tempo há morte das gemas apicais (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Admite-se, de modo geral, que o B é transportado somente no

xilema, sendo praticamente imóvel no floema. Porém, com o auxílio de traçadores isotópicos foi possível verificar que o B apresenta expressiva mobilidade no floema e reclassificá-lo como de mobilidade intermediária ou mobilidade condicional, dependendo de cada espécie (FURLANI, 2004). A concentração de B em folhas de diferentes idades dentro da mesma planta fornece evidências da mobilidade desse elemento, sendo que concentrações mais altas de B, em folhas mais jovens, evidenciam mobilidade de B, ao passo que a ocorrência de concentrações mais altas de B nas folhas velhas e maduras, quando comparadas à folhas jovens, evidenciam sua imobilidade (BROW; HU, 1996).

Existe um grande número de compostos biológicos que podem formar complexos com o B. Os compostos capazes de complexar o  $H_3BO_3$  incluem os açúcares e seus derivados polióis (FURLANI, 2004; BIELESKI; BRIGGS, 2005). Exemplos mais comuns de açúcares capazes de complexar o B são os álcoois de açúcares (polióis), como o sorbitol, manitol e dulcitol, que são encontrados em nespereira (*Eriobotrya japonica*), pessegueiro (*Prunus persica*), nectarina (*Prunus persica* var *nucipersica*), pereira (*Pyrus pyrifolia*), abacateiro (*Persea Americana*), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), cafeeiro (*Coffea* sp), oliveira (*Olea europaea*), macieira (*Malus domestica*), damasco (*Prunus armeniaca*) e aipo (*Apium graveolens*) (ZIMMERMANN; ZIEGLER, 1975; BROWN; HU, 1996; HU et al., 1997, BROWN; SHELPS, 1997, BROWN; HU, 1998, CANESIN et al., 2014). Nessas espécies ocorre a formação de complexos poliál-B-poliál nos tecidos fotossintéticos, que são transportados pelo floema até os drenos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (BROWN; HU, 1996, HU et al., 1997). Por outro lado, nas espécies que não produzem quantidades suficientes de polióis, uma vez transportado até a folha pelo fluxo respiratório, o B não pode entrar no floema, resultando na sua imobilidade nas folhas (BROWN; HU, 1998).

A mobilidade de B no floema apresenta variação entre as espécies. Estudos tem demonstrado a mobilidade de B em diversas espécies de plantas. Tendo sido observada significativa redistribuição de B em plantas de macieira, nectarina, e amendoeira (BROWN; HU, 1996), oliveira (BROWN; HU, 1998, PERICA et al., 2001a), cafeeiro (LEITE; BROW; ROSOLEM, 2007) pessegueiro (SOUZA, et al. 2012) e eucalipto (MATTIELLO, et al. 2009; SÃO JOSÉ et al. 2009). Já em plantas de figueira, pistaceira, noqueira, (BROWN; HU, 1996), citros (BOARETTO et al., 2008), soja (WILL et al., 2011, 2012), algodoeiro (BOGIANI et al., 2014) e cajueiro

(CANESIN et al. 2015) foi observada pouca ou nenhuma redistribuição de B.

Em plantas de trigo foi observada a presença de complexos borato no floema, o que fornece uma evidência da mobilidade de B (STANGOULIS et al., 2010), porém, essa mobilidade ainda não foi confirmada. No floema da soja, encontraram uma grande quantidade do açúcar álcool pinitol, mas a possibilidade de formação de complexo com B e a sua translocação permanece incerta (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998; BIELESKI; BRIGGS, 2005). Todavia, de acordo com Will et al. (2011), estudos realizados com a soja, cultivar "Oak Erin", sugeriram que o pinitol (poliol detectado em plantas de soja) não contribui significativamente para a mobilidade B. Com relação aos demais polióis, Will et al., (2011, 2012) verificaram que a adição de sorbitol pode aumentar a absorção de  $^{10}\text{B}$  aplicado via foliar na soja, mas não a sua redistribuição no floema, que foi menor em relação ao B aplicado sozinho. Segundo os autores, a adição de sorbitol como adjuvante aumentou significativamente a taxa de absorção B, mas não na translocação na planta.

O teor de B considerado adequado para o desenvolvimento das culturas é bastante variável, sendo que a diferença quanto à exigência é atribuída a diferenças na composição química das paredes celulares entre as diversas espécies (MARSCHNER, 2012). Os teores de B nas plantas podem variar de 5 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, conforme observado na Tabela 2.1. Os teores de B nas folhas considerados adequados situam-se na faixa de 5 a 20 mg kg<sup>-1</sup> para o trigo e de 21 a 55 mg kg<sup>-1</sup> para a soja (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ et al., 1997; BOARETTO et al., 2009).

Na fase inicial de desenvolvimento das culturas, Fageria (2000a) determinou que os níveis adequados de B na parte aérea das culturas obedeceram à seguinte ordem: soja > feijão > milho > trigo > arroz; sendo arroz (20 mg B kg<sup>-1</sup>), feijão (10 - 50 mg B kg<sup>-1</sup>); milho (7 - 25 mg B kg<sup>-1</sup>), soja (21 - 55 mg B kg<sup>-1</sup>) e trigo (6 - 10 mg B kg<sup>-1</sup>), significando que a soja acumula mais B que o trigo. Os níveis tóxicos de B foram de 144 mg kg<sup>-1</sup> para o trigo e 153 mg kg<sup>-1</sup> para a soja. De acordo com Furlani et al. (2001), os teores inferiores de B nas folhas de soja, para que ocorra a deficiência, variam de 25 a 30 mg kg<sup>-1</sup> e os sintomas iniciais de toxidez aparecem nas folhas para teores acima de 83 mg kg<sup>-1</sup> de B, podendo variar com a cultivar e as condições do ambiente. Os níveis críticos de B na soja sugeridos por Rerkasem et al., (1997) são de < 20 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas e <10 mg kg<sup>-1</sup> nos grãos. Os teores de B nos grãos são próximos de 2 mg kg<sup>-1</sup> no trigo (SIQUEIRA, 1989) e 20 mg kg<sup>-1</sup> na

soja (TPS, 2013).

**Tabela 2.1** - Teores de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) adequados para as culturas (análise de folhas).

Culturas	B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Trigo	5-20 <sup>2</sup>
Bananeira	10-25 <sup>1,2</sup>
Milho	10-25 <sup>2</sup>
Soja	20-55 <sup>1,2</sup>
Eucalipto	30-50 <sup>2</sup>
Feijão	30-60 <sup>1</sup>
Seringueira	20-70 <sup>1,2</sup>
Cafeeiro	50-80 <sup>1,2</sup>
Citros	36-100 <sup>1,2</sup>
Abacateiro	50-100 <sup>1,2</sup>

Fonte: Adaptado de <sup>1</sup>MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ et al., 1997; <sup>2</sup>BOARETTO et al. 2009).

O B participa de vários processos do metabolismo vegetal; portanto, a sua deficiência causa rápida inibição na formação de novos tecidos, em razão da função que exerce na composição da parede celular e na integridade da membrana plasmática (CAKMAK; RÖMHELD, 1997). A carência de B resulta em rápida inibição do crescimento das plantas (HU; BROWN, 1997). Também causa redução da alongação das raízes, devido a problemas observados durante a divisão celular e na alongação das células, tornando-as grossas e com as pontas necróticas (LOUÉ, 1993; MARSCHNER, 2012). O envolvimento do B no metabolismo de fenóis e do ácido indolacético (AIA) também pode causar a morte dos pontos de crescimento e necrose em folhas novas (RÖMHELD, 2001).

De acordo com De Bona; Mori; Wietholter (2016), a deficiência de B no trigo se caracteriza pela deformação e morte dos meristemas apicais, deformação das folhas novas (rasgadura próxima a nervura central associadas ao desenvolvimento de um efeito de dente de serra nas margens da bainha) e inflorescências pouco desenvolvidas ou deformadas (semelhante a deficiência de Cu), com alta esterilidade e grande número de grãos mal desenvolvidos ou chochos. Na soja, Rerkasem et al. (1993) demonstraram que cultivares de soja, diferem na susceptibilidade à deficiência de B e verificaram que as plantas com deficiência de B produziram sementes enrugadas e deformadas, o que é uma característica da



deficiência de B nas sementes de soja.

Em relação à interação de nutrientes, de acordo com Power; Woods (1997), o B tem papel importante na absorção de K e no transporte de P através das membranas e muitos casos de deficiência de K e P podem ser, na verdade, o reflexo da deficiência de B. Além disso, o B e Zn são essenciais para o funcionamento da ATPase e dos sistemas redox da membrana plasmática, ou seja, sem B pode haver redução da eficiência de Zn e vice-versa. Por fim, a enzima urease é inibida pelo  $H_3BO_3$ , um alerta ou explicação para casos de insucessos na aplicação foliar da ureia (45% de N) junto com ácido bórico (18% de B).

O B tem importante função na assimilação de N, já que é fundamental para a síntese de ácidos nucleicos e proteínas e para atividade fotossintética e metabolismo de carboidratos (MALAVOLTA, 2006). De acordo com Mantovani et al. (2013), nas leguminosas, devido ao elevado potencial de fixação simbiótica de N (FBN), a deficiência de B pode prejudicar a atividade dos microorganismos FBN, levando à deficiência de N. A deficiência de B induziu diminuição da taxa fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa de transpiração ( $T_{mmol}$ ) nas folhas de plantas laranja de umbigo (SHENG et al., 2009).

## 2.4 ZINCO

### 2.4.1 Zinco no Solo

O teor de Zn disponível pode ser influenciado pelo pH do solo, que faz com que o elemento se encontre mais disponível em solos mais ácidos, apresentando disponibilidade mínima em pH acima de 7,0, assim, a calagem excessiva pode ocasionar a sua deficiência, principalmente em solos arenosos. O uso de altas doses de fertilizantes fosfatados já demonstrou efeito antagônico entre Zn e P, devido à formação de fosfatos de Zn de baixa solubilidade (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). De acordo com Zoz et al. (2012), o sistema de semeadura direta predominante no cultivo do trigo no Brasil, torna o Zn potencialmente deficiente, em decorrência da aplicação excessiva de corretivos de acidez e fertilizantes fosfatados em superfície e/ou pequenas profundidades. Para De Bona; Mori; Wietholter (2016), a limitação de Zn nos solos com cultivo de trigo, ocorre especialmente em áreas de Cerrado com pH alto ou que receberam excesso de adubação fosfatada.

A MO influencia a disponibilidade do Zn de formas antagônicas: aumentando a solubilidade através da formação de complexos orgânicos com ácidos orgânicos, aminoácidos e ácidos fúlvicos ou diminuindo-a devido à formação de complexos orgânicos insolúveis que reduzem a sua disponibilidade; liberação de exudados e ligantes pela raiz, os quais complexam o elemento na rizosfera; os microorganismos imobilizam o Zn na biomassa e depois o liberam na mineralização da MO (FAGERIA et al., 2002b). A formação de quelados estáveis dos micronutrientes metálicos com a MO, segue a seguinte ordem decrescente de estabilidade:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$  (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

De acordo com os limites de interpretação do nutriente disponível no solo para diferentes condições edafoclimáticas, os teores de Zn disponível são classificados em baixo ( $0 - 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,6 - 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e alto ( $> 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ), pelo extrator DTPA-TEA, segundo Raij et al. (1997), ou muito baixo ( $\leq 0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ), baixo ( $0,5 - 0,9 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $1,0 - 1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ), bom ( $1,6 - 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e alto ( $> 2,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ), pelo extrator Mehlich 1, de acordo com Alvarez et al. (1999). Para Borkert et al. (2006), os limites para a interpretação da disponibilidade de Zn no solo estão entre  $1,1$  a  $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$ , valores muito baixos se comparado aos teores normalmente encontrados na maioria dos solos do Estado do Paraná.

Fageria (2000b) determinou os teores de Zn adequado e tóxico no solo, pelo extrator Mehlich 1, estabelecido através de 90% do máximo da produção de massa seca das plantas de trigo e da soja. O teor de Zn adequado no solo foi de  $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$  para a cultura da soja e  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  para a cultura do trigo, enquanto o nível tóxico foi de  $53 \text{ mg kg}^{-1}$  para a soja e  $27 \text{ mg kg}^{-1}$  para o trigo. Borkert et al. (2006) obtiveram níveis críticos de Zn no solo para a cultura da soja no Estado do Paraná, estimados em  $1,5$  e  $1,1 \text{ mg dm}^{-3}$ , para os métodos Mehlich 1 e DTPA-TEA (pH 7,3), respectivamente. No Estado do Paraná, o teor de Zn no solo para o cultivo da soja é considerado baixo ( $< 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,8 - 1,49 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto ( $1,5 - 10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $> 10 \text{ mg dm}^{-3}$ ) pelo extrator Mehlich 1 e baixo ( $< 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio ( $0,5 - 1,09 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto ( $1,1 - 10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $> 10 \text{ mg dm}^{-3}$ ) pelo extrator DTPA-TEA, pH 7,3 (TPS, 2013).

#### 2.4.2 Zinco na Planta

O Zn é absorvido na forma de  $Zn^{2+}$  tanto via radicular como foliar. O Zn participa como componente de um grande número de enzimas, sendo que suas funções básicas na planta estão relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos. Além disso, participa na formação de estruturas das auxinas, RNA e ribossomos (PRADO et al., 2008). Sua função metabólica é baseada na sua forte tendência de formar complexos com o N, o oxigênio (O) e enxofre (S), conferindo um papel muito importante em relação à ativação de várias enzimas, além de uma função estrutural (MALAVOLTA, 2006). O Zn é essencial para a síntese do triptofano que, por sua vez, é o precursor do ácido indolacético (AIA), uma auxina responsável pelo alongamento das células (MARSCHNER, 2012).

Quanto à redistribuição do Zn nas plantas, de acordo como Dechen; Nachtigall (2006), estudos indicam que o Zn altamente móvel, enquanto outros o consideram de imobilidade intermediária. Segundo MALAVOLTA (2006), quando aplicado nas folhas o Zn pode chegar às regiões de crescimento e aos frutos, porém, nem sempre em quantidades suficientes, por apresentar baixa mobilidade na maioria das plantas. No entanto, estudos recentes indicaram que há retranslocação substancial de Zn no floema em folhas de trigo (HASLETT; REID; RENGEL, 2001, ERENOGLU et al., 2002).

Haslett; Reid; Rengel (2001) verificaram que o Zn é altamente móvel no floema, ao observarem que o Zn aplicado via foliar foi absorvido e translocado para outros órgãos e tecidos do trigo (24 a 48 horas após o tratamento), indicando a sua mobilidade no floema. Erenoglu et al. (2002) reportaram que o Zn aplicado nas folhas velhas podem facilmente ser translocado para partes jovens de rebentos e raízes sob condições deficientes de Zn ou não, indicando que a sua mobilidade no floema de trigo não é limitado, no entanto, essa translocação é facilitada sob deficiência de Zn.

Existem diferenças substanciais na susceptibilidade à deficiência de Zn entre espécies e cultivares de uma mesma espécie. De acordo com Teixeira et al. (2008), os teores de Zn nas plantas podem apresentar grande variação, especialmente em função dos fatores relacionados ao solo e a espécies e/ou cultivares e podem variar de 5 a 150  $mg\ kg^{-1}$ , conforme apresentado na tabela 2.2. Os teores adequados de Zn nas plantas, situam-se em torno de 20 a 70  $mg\ kg^{-1}$  no

trigo e 20 a 50 mg kg<sup>-1</sup> na soja, sendo que os sintomas de deficiência geralmente são encontrados quando estão abaixo de 20 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de matéria seca (RAIJ et al., 1997; MALAVOLTA, 2006; BOARETTO et al., 2009). Estudo realizado por Fageria (2000b) mostram que os níveis adequados de Zn na matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas, no estágio inicial de desenvolvimento, foram de 20 mg kg<sup>-1</sup> para a cultura da soja e 19 mg kg<sup>-1</sup> para a cultura do trigo. Os níveis tóxicos foram de 187 mg kg<sup>-1</sup> para a cultura da soja e 100 mg kg<sup>-1</sup> no trigo. Nas regiões produtoras de trigo no mundo, o teor de Zn nos grãos esta entre 20 e 30 mg kg<sup>-1</sup> (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERT, 2010). Nos grãos da soja, os teores de Zn são próximos de 40 mg kg<sup>-1</sup> (TPS, 2013).

**Tabela 2.2** - Teores de Zn (mg kg<sup>-1</sup>) adequados para as culturas (análise de folhas).

Culturas	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Araucária	5 <sup>1</sup>
Cafeeiro	10-20 <sup>2</sup>
Arroz	10-50 <sup>2</sup>
Seringueira	20-40 <sup>2</sup>
Videira	25-40 <sup>1</sup>
Bananeira	20-50 <sup>1,2</sup>
Soja	20-50 <sup>1,2</sup>
Trigo	20-70 <sup>2</sup>
Eucalipto	40-60 <sup>1</sup>
Citros	25-100 <sup>1,2</sup>
Abacateiro	30-150 <sup>1</sup>

Fonte: <sup>1</sup>MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ et al., 1997; <sup>2</sup>BOARETTO et al. 2009).

Em relação a concentração de Zn nos grãos, de acordo com Cakmak; Pfeiffer; McClafferty (2010), pesquisas sugerem a hipótese de uma diluição de micronutrientes nos cultivares de trigo ao longo do tempo, mas a variação genética entre os cultivares é muito estreita, sendo que nas condições dos trópicos, essa tendência é provavelmente exacerbada pela degradação do solo, sendo que, quando o trigo é cultivado em solos com baixa disponibilidade de Zn, devido a condições químicas adversas, como pH alto e baixo teor de MO, a concentração de Zn nos grãos é ainda mais reduzida.

A deficiência de Zn se manifesta no crescimento restrito da gema terminal, o que traduz num crescimento em forma de roseta ou pelo encurtamento dos entrenós. Os sintomas aparecem sempre nas folhas mais jovens, que apresentam zonas cloróticas que terminam necrosadas, elevados teores de Fe, Mn, nitratos e fosfatos e baixos teores de amidos nas folhas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Dentre os micronutrientes, a deficiência de Zn é a deficiência mais difundida em solos agrícolas ao redor do mundo, principalmente em solos cultivados com cereais, especialmente trigo (CAKMAK, 2008). De acordo com De Bona; Mori; Wietholter (2016), a deficiência de Zn prejudica severamente o trigo nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento, sendo que as plantas deficientes apresentam porte baixo devido ao encurtamento dos entrenós, caule fino e frágil e clorose internerval por toda a extensão da bainha foliar nas folhas novas e nas folhas mais maduras, a clorose internerval avança para a formação de lesões necróticas amarronzadas, com margens escuras.

## 2.5 ADUBAÇÃO FOLIAR

### 2.5.1 Adubação Foliar com Boro

As quantidades de B requeridas, para a fase reprodutiva, geralmente são maiores do que as necessárias ao crescimento vegetativo, sendo que a maior exigência de B durante a floração e formação das sementes foi demonstrada, mesmo quando os níveis de B nas folhas estão adequados (RERKASEM; JAMJOD, 2004, DORDAS, 2006). A maior exigência de B na fase reprodutiva em relação ao crescimento vegetativo foi demonstrada em oliveira (*Olea europaea*) (PERICA et al, 2001b), em canola (*Brassica napus*) e em girassol (*Helianthus annuus*) (ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2002). Os estudos demonstraram que o B pode ser deficiente e ter um efeito significativo sobre o rendimento das culturas, mesmo quando não há sintomas vegetativos de deficiência e a sua concentração nas folhas está na faixa adequada (PERICA et al., 2001b; ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2003; DORDAS, 2006).

Perica et al., 2001b e Asad; Blamey; Edwards (2003) verificaram aumento na frutificação e no rendimento da oliveira e do girassol, respectivamente,

com aplicações foliares de B. Dordas (2006) observou que a aplicação foliar de B na cultura da alfafa (*Medicago sativa* L.), aumentou em até 50% o rendimento de sementes em comparação com o tratamento controle. Além disso houve aumento do número de vagens formadas por inflorescência.

Na soja, os efeitos benéficos da adubação foliar com B ainda é controversa e apesar da aplicação foliar de B ser amplamente utilizada como estratégia para melhorar o rendimento e tolerância ao estresse, os resultados obtidos demonstraram grande variabilidade de resposta à sua aplicação (CERETTA, 2005; ROSS et al., 2006; WILL et al., 2012). A adubação foliar com B na soja foi estudada por diversos autores e alguns obtiveram efeitos positivos (BEVILAQUA et al., 2002; CERETTA et al., 2005; ROSS et al., 2006) enquanto outros não obtiveram nenhum efeito (KAPPES et al., 2008; CALONEGO et al., 2010; SEIDEL et al., 2012, ENDERSON et al., 2015).

Bevilaqua et al. (2002) obtiveram aumento no número de vagens por planta, número de grãos por vagem e no peso de grãos por planta com aplicação foliar de B ( $25 \text{ g ha}^{-1}$ ) e Ca ( $50 \text{ g ha}^{-1}$ ). Ceretta et al. (2005), estudando o uso de micronutrientes em SPD, verificaram que a aplicação foliar de  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B aos 60 DAE, não diferiu em relação ao controle na produtividade de grãos de soja. ROSS et al. (2006) verificaram que a adubação com B proporcionou aumento na produtividade da soja em três de quatro experimentos, em solos com baixa disponibilidade de B e sintomas visuais da deficiência de B nas plantas com ausência da aplicação de B.

Por outro lado, Kappes et al. (2008), em solo argiloso, com boa disponibilidade de B ( $0,21 \text{ mg dm}^{-3}$ ), não verificaram efeito do incremento das doses de B na produtividade de grãos da soja. Calonego et al. (2010) não observaram incremento na massa de 100 grãos e na produtividade de grãos da soja em função da aplicação foliar de doses de B, em Nitossolo Vermelho eutrófico argiloso, com boa disponibilidade B ( $0,43 \text{ mg dm}^{-3}$  de B). Assim como Seidel et al. (2012), verificaram que à aplicação do fertilizante foliar a base de Ca e B (10,0% Ca, 0,5% B) na dose de  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$  não influenciou a massa de 1000 grãos e a produtividade da soja. Segundo os autores, provavelmente isso ocorreu devido ao teor adequado dos mesmos no solo e à boa disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento da cultura. De acordo com Enderson et al. (2015), em estudos realizados em 42 locais, observaram que solos com teor adequado dos nutrientes, a fertilização foliar não

umenta a produtividade de grão da soja.

Lima; Andrade; Carvalho, (1999), em solo com textura argilosa e  $0,24 \text{ mg dm}^{-3}$  de B, não observaram resposta das doses de B aplicadas via foliar na produtividade do feijoeiro, o mesmo foi observado por Reis et al. (2008), cuja aplicação de B via foliar, parcelado metade aos 25 DAE e a outra metade aos 35 DAE, também não influenciou o número de vagens por planta, número de sementes por vagem e massa se 100 sementes do feijoeiro, porém, houve redução na produtividade na dose acima de  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Mantovani et al. (2013) verificaram efeito depressivo da adubação foliar com  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, na produtividade do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em solo com  $0,12 \text{ mg dm}^{-3}$  de B, no entanto, os teores de micronutrientes nas folhas não foram influenciados pela adubação foliar com B, bem como os teores foliares de P, K e Mg.

No caso do trigo, em estudos conduzidos no município de Maripá, Estado do Paraná, no cultivo do trigo em SPD, Zoz et al. (2016) verificaram que a aplicação foliar de Ca e B melhorou o crescimento, a fecundação das flores e o número de perfilhos férteis, resultando em rendimento de grãos superior (30%) em relação ao tratamento controle, em solo com  $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$  de B.

De acordo com Raimundi (2013), a adubação foliar tem apresentado resultados controversos, com aumento nos custos de produção, sendo necessárias várias aplicações para suprir, mesmo que em parte, a necessidade de B para os tecidos novos e órgãos de reprodução.

### 2.5.2 Adubação Foliar com Zinco

Diversos estudos demonstram que a aplicação foliar de Zn pode ter influencia no rendimento de grãos e na sua qualidade. As aplicações foliares de Zn têm sido estudada em diversas culturas como no arroz (CORREIA et al., 2008; ALVES et al., 2015a), no feijoeiro (TEIXEIRA et al., 2004a; TEIXEIRA et al., 2004b; TEIXEIRA et al., 2008; ALVES et al., 2015b) e na cultura do trigo (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010; CAKMAK et al., 2010; ZHANG et al., 2010; KARIM et al., 2012; ZOU et al., 2012; ZOZ et al., 2012; GHASEMI et al. 2013; PASCOALINO et al., 2015; GOMEZ-CORONADO et al., 2016).

Correia et al. (2008) estudando modos de aplicação de Zn na nutrição e no crescimento inicial da cultura do arroz, verificaram que a aplicação

foliar promoveu maior absorção do nutriente pelas plantas, e os maiores acúmulos de Zn na MSPA das plantas foram obtidos no tratamento com adubação foliar, refletindo em maior produção de MSPA em relação ao controle, no primeiro cultivo, em solo com baixo teor de Zn ( $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$  em DTPA-TEA, pH 7,3). Alves et al. (2015a), estudando modos de aplicação na biofortificação com Zn em dois cultivares de arroz e dois ambientes de produção, não verificaram efeito da aplicação foliar de Zn no aumento da concentração do nutriente nos grãos e na produtividade.

No feijoeiro, em solo com  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn (DTPA-TEA, pH 7,3), Teixeira et al. (2004b) não verificaram resposta da adubação foliar com Zn nos teores de clorofila. No entanto, Teixeira et al. (2004a) obtiveram resposta na altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. Já Teixeira et al. (2008), em solos com teor de Zn próximo a  $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$  (DTPA-TEA, pH 7,3), não verificaram aumento no teor de Zn foliar, componentes de produção e na produtividade de grãos do feijoeiro com a aplicação foliar de Zn. Alves et al. (2015b), estudando modos de aplicação na biofortificação com Zn em dois cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) e dois ambientes de produção, verificaram que a aplicação de Zn aumentou a concentração do nutriente nos grãos, sendo que as aplicações via foliar e via solo + via foliar foram mais eficientes neste aumento, no entanto, não houve aumento na produtividade de grãos.

Em relação ao trigo, diversos estudos demonstraram que a concentração de Zn nos grãos pode ser aumentada pelas aplicações foliares, principalmente em solos deficientes do nutriente (CAKMAK, 2008; ZHANG et al., 2010; ZOU et al., 2012). Além disso, os resultados indicam que a concentração de Zn nos grãos também pode ser aumentada mesmo em solo com teor suficiente de Zn. Uma possível explicação para isso é que o Zn fornecido pela aplicação foliar seria prontamente retranslocado dos órgãos vegetativos para o desenvolvimento dos grãos.

Para Cakmak (2008), a manutenção de um transporte adequado de Zn para os tecidos e sementes durante os estádios de crescimento reprodutivo pode ser uma estratégia importante na redução de variações na concentração de Zn nos grãos causada por flutuações ambientais e na produção de grãos. Assim, a aplicação de fertilizantes parece ser uma forma eficaz para melhorar a concentração de Zn no trigo. Para Cakmak et al. (2010), Zhang et al. (2010) e Zou et al. (2012),



manter quantidades elevadas de Zn no tecido vegetativo, pela aplicação foliar de Zn, pode contribuir para o incremento de Zn nos grãos, uma vez que os tecidos do caule e das folhas representam importantes reservas de Zn que são efetivamente utilizadas para a deposição nos grãos.

Cakmak; Pfeiffer; McClafferty (2010) relataram que plantas de trigo, cultivadas em solos com baixos teores de Zn disponível, apresentaram menores concentrações do nutriente do que plantas cultivadas em locais com maior disponibilidade, sendo que a aplicação foliar de Zn aumentou a produtividade de grãos do trigo e elevou os teores desse nutriente nos grãos. Esses autores, indicam que as estratégias de adubação com Zn pode proporcionar uma opção imediata e eficaz para aumentar a concentração de Zn nos grãos e a produtividade do trigo, particularmente em solos com deficiência do nutriente. No entanto, as estratégias de adubação devem ser práticas e economicamente viáveis.

Zhang et al. (2010) verificaram aumento de 58% na concentração de Zn nos grãos de trigo, sendo que na média dos cultivares, a concentração de Zn no grão aumentou de  $29,0 \text{ mg kg}^{-1}$  no tratamento controle para  $45,7 \text{ mg kg}^{-1}$  com aplicação foliar de citrato férrico e sulfato de Zn ( $\text{ZnSO}_4$ ). De acordo com os autores, devido à eficiente mobilidade de Zn no floema de trigo, a aplicação foliar de Zn é o método de aplicação mais eficiente para melhorar a concentração de Zn nos grãos de trigo, podendo aumentar a sua concentração no grão até 3 ou 4 vezes, dependendo do solo e das condições climáticas.

Zou et al. (2012) verificaram que a aplicação foliar de Zn aumentou significativamente as concentrações médias de Zn nos grãos de trigo, indo de  $27 \text{ mg kg}^{-1}$  (controle) para  $48 \text{ mg kg}^{-1}$ , resultando em um aumento de 83,5%, na média de 23 experimentos realizados em 14 locais e 7 países em dois anos de cultivo, em solos com pH acima de 7,0 e Zn (DTPA-TEA, pH 7,3)  $0,3$  a  $6,5 \text{ mg kg}^{-1}$ . Este efeito da adubação foliar com Zn ocorreu independentemente do solo e das condições ambientais, das práticas de manejo aplicadas e das cultivares. Karim et al. (2012), verificaram que a aplicação foliar de Zn aumentou significativamente os teores do nutriente nos grãos do trigo, independente do regime hídrico.

Ghasemi et al. (2013) estudando o efeito da aplicação foliar de Zn em trigo com diferentes fertilizantes, em duas cultivares, por dois anos, em solo deficiente de Zn, verificaram que a aplicação foliar aumentou significativamente a concentração de Zn nos grãos em relação ao controle. Ainda houve aumentos de

11,8 a 29,1%, respectivamente, na aplicação foliar de quelatos de Zn com AAs (Zn-AAs) em comparação com o tratamento com ZnSO<sub>4</sub>. Esses autores verificaram ainda que a aplicação foliar de Zn-AAs aumentou a concentração de Fe nos grãos de trigo.

Gomez-Coronado et al. (2016) concluíram que a aplicação de Zn no trigo, via foliar, sozinho ou combinado com Zn via solo, resultou em aumentos significativos no teor total de Zn nos grãos e que a aplicação foliar de Zn no trigo resultou em aumentos significativos de 56 e 147% no teor total de Zn nos grãos, nos dois anos de cultivo respectivamente. No entanto, não ocorreu aumento no rendimento de grãos e no peso do hectolitro do trigo, em solo com baixo teor de Zn (0,3 mg kg<sup>-1</sup> em DTPA-TEA, pH 7,3).

Existe uma relação inversa entre o rendimento de grãos e a concentração de Zn nos grãos, sendo que a maior concentração de Zn nos grãos é comumente associada com a menor capacidade de produção de grãos dos genótipos (McDONALD; GENC; GRAHAM, 2008). Pascoalino et al. (2015) e Gomez-Coronado et al. (2016) verificaram a presença do efeito diluição ocasionado pela relação inversa entre a produtividade de grãos e a concentração de Zn nos grãos de trigo. No entanto, devido à maior demanda nutricional, as concentrações de Zn nos grãos de cultivares de alto rendimento podem aumentar com a aplicação de Zn. E em alguns casos, a produtividade de grãos pode ser simultaneamente aumentada pela aplicação de Zn.

Zou et al. (2012) verificaram que a aplicação foliar de Zn resultou na biofortificação agrônômica de grãos de trigo com Zn, no entanto, a aplicação foliar não teve qualquer efeito positivo sobre o rendimento de grãos em 20 de 23 experimentos realizados em 14 locais e 7 países em dois anos de cultivo, em solos com pH acima de 7,0 e Zn (DTPA-TEA, pH 7,3) 0,3 a 6,5 mg kg<sup>-1</sup> e corrobora Pascoalino et al. (2015), em estudos conduzidos nos municípios de Cascavel e Palotina, Estado do Paraná, em solo com elevados teores de Zn disponível com extrator Mehlich 1 (5,2 e 4,8 mg kg<sup>-1</sup>), verificaram que a aplicação foliar de Zn aumentou a concentração do nutriente nos grãos de duas cultivares de trigo em Cascavel, no entanto, não teve efeito positivo na produtividade de grãos.

Zoz et al (2012), em estudos conduzidos no município de Maripá, Estado do Paraná, no cultivo do trigo em SPD, verificaram que a aplicação foliar de Zn aumentou a produtividade de grãos do trigo, mesmo com alto teor do nutriente no

solo ( $1,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e corrobora Ghasemi et al. (2013), cuja aplicação foliar de Zn, independentemente da fonte utilizada, melhorou significativamente a produtividade de grão de ambos os cultivares de trigo com um aumento médio de 15,2% no primeiro e 19,2% no segundo ano. As concentrações de Zn, ferro (Fe) e proteína nos grãos foram em média 14,3% maiores em plantas de trigo pulverizadas com os fertilizantes quelatos de Zn com AAs (Zn-AAs) do que aqueles pulverizados com  $\text{ZnSO}_4$ .

Karim et al. (2012) verificaram que as aplicações foliares de Zn não tiveram efeito significativo no rendimento de grãos de trigo em regimes de água adequados, porém, em condições de seca, aumentou significativamente o rendimento de grãos, no experimento de campo e em estufa, em solo com pH 7,5 e  $0,33 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn (DTPA-TEA, pH 7,3). A aplicação foliar de Zn aumentou significativamente os valores para unidade SPAD, área foliar, fotossíntese e condutância estomática no regime de chuvas, mas as taxas de transpiração não foram influenciadas pelas pulverizações foliares, independentemente do regime de irrigação, no experimento de campo. Na estufa, o estresse hídrico reduziu significativamente os valores de taxa de fotossíntese, taxa de transpiração e condutância estomática. A aplicação foliar de Zn aumentou significativamente estas variáveis sob estresse de seca. De acordo com esses autores, o Zn contribui significativamente para a tolerância ao estresse contra o dano oxidativo das membranas e a sua aplicação foliar aumenta o rendimento de grãos sob condições de seca.

De acordo com Cakmak et al. (2010) e Zhang et al. (2012), a adubação com Zn via solo proporcionou maior rendimento de grãos de trigo em relação à adubação foliar. No entanto, demonstrou menores aumentos nos teores de Zn nos grãos, enquanto a adubação complementar de Zn, via foliar, mostrou-se eficaz no aumento da concentração de Zn nos grãos de trigo, tanto em solos com teor suficiente de Zn quanto em solos deficientes. A adubação de Zn via solo + via foliar foi considerado o método mais eficaz para aumentar o rendimento de grãos do trigo e o teor de Zn nos grãos (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010; CAKMAK et al., 2010; ZHANG et al., 2012; ZOU et al., 2012). Pascoalino et al. (2015), notaram que a aplicação de Zn aumentou a concentração do nutrientes nos grãos, sendo que as aplicações via foliar e via solo + via foliar foram mais eficientes neste aumento.

## 2.6 AMINOÁCIDOS

Os aminoácidos (AAs) são unidades orgânicas que formam as proteínas. São moléculas de características estruturais em comum, constituídos de um C central, ligado a um grupamento carboxila (COOH), um grupamento amino (NH<sub>2</sub>) e um átomo de hidrogênio (H). Além destas três estruturas, os AAs apresentam um radical conhecido genericamente por “R” (CASTRO et al., 2008).

Os AAs destacam-se por serem os precursores de hormônios, enzimas e outras moléculas, estando presentes em todos os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, desde a germinação das sementes até a maturação dos frutos (FAGLIARI, 2007). Quando aplicados exogenamente, os AAs são absorvidos tanto pelas raízes, quanto pelas folhas, que apresentam maior permeabilidade da cutícula aos AAs (MILLER; PUSHNIK, 1983). Taiz; Zeiger (2004), relatam que os AAs podem ser transportados através da membrana plasmática da célula por meio de transportadores tipo simporte, penetrando na célula paralelamente à entrada de H<sup>+</sup>. Considera-se, a partir de algumas evidências que alguns AAs podem agir como protetores das plantas da ação de sais minerais e outros agroquímicos ou, ao contrário, incrementar a absorção e o efeito desses produtos (CASTRO et al., 2006).

Os AAs atuam principalmente na síntese de proteínas, sobre a resistência ao estresse, são precursores ou ativadores de fitormônios e atuam na abertura e fechamento de estômatos (TAIZ; ZIEGER, 2004; MARSCHNER, 2012). O estímulo do crescimento das plantas e a maior tolerância a fatores bióticos e abióticos foram relatados após a aplicação de uma variedade de produtos à base de proteínas. Estes produtos são divididos em: hidrolisados de proteínas, constituídos por uma mistura de péptidos e aminoácidos de origem animal ou vegetal e AAs individuais tais como alanina, arginina, glicina, prolina, glutamato, glutamina, valina e leucina, que incluem os vinte AAs estruturais envolvidos na síntese de proteínas, bem como os AAs não proteicos que são encontrados abundantemente em algumas espécies de plantas (CALVO; NELSON; KLOPPER, 2014).

### 2.6.1 Adubação Foliar com Aminoácidos

A aplicação foliar de AAs proporciona uma rápida incorporação ao metabolismo, como se fossem sintetizados pela planta, contribuindo para o processo de desenvolvimento e crescimento (LIMA et al., 2009; MENDES et al., 2016). Isso pode ocorrer através do aumento na taxa fotossíntese e impulsionar o crescimento, uma vez que os AAs, tais como glicina e ácido glutâmico, são metabolitos fundamentais no processo de formação dos tecidos e na síntese da clorofila, podendo aumentar a concentração dessa substância nas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Castro (2009) relata que as formulações organominerais, nas quais os nutrientes estão ligados a compostos orgânicos, tais como AAs e proteínas de origem vegetal, representam a última geração de fertilizantes foliares. No entanto, apesar da utilização de AAs na agricultura ter sido praticada por várias décadas em diversas culturas, poucos trabalhos científicos são encontrados demonstrando a eficácia ou não desses produtos (CASTRO; CARVALHO, 2014).

De acordo com Calvo; Nelson; Klopper (2014), estudos tem demonstrado evidências de que a aplicação exógena de AAs estruturais, dentre eles glutamato, histidina, prolina e glicina, podem proporcionar proteção ao stress. Os AAs não proteicos também têm demonstrado ter papéis na defesa das plantas. De acordo com os autores, foi demonstrado que os hidrolisados de proteínas estimulam o metabolismo do carbono (C) e N e aumentam a assimilação deste último, além disso, os AAs têm um papel na tolerância das plantas para uma gama de metais pesados.

Tanaka et al. (2000), estudando os efeitos da aplicação de um bioestimulante orgânico à base de AAs em couve-flor, concluíram que a adubação foliar com B em combinação com o bioestimulante aumentou a eficiência da absorção foliar. Assim como Bettoni et al. (2013), cujo efeito da aplicação de hidrolisado protéico contendo AAs na dose 8 mL L<sup>-1</sup> resultou em maior massa fresca da parte aérea, diâmetro de cabeça e produção de brócolis (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Conte e Castro; Boaretto (2001), ao estudarem os efeitos da adubação foliar com nutrientes, vitamina B1 e metionina, aplicada aos 30, 45 e 60 dias após a emergência, nos teores de macro (N, P, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos grãos e na produtividade do feijoeiro, não observaram diferenças

significativas entre os tratamentos.

Gazola et al. (2013), ao estudar o efeito da aplicação foliar de AAs (0, 10, 20, 30L ha<sup>-1</sup>), como suplemento a adubação nitrogenada (60 kg ha<sup>-1</sup>) no trigo, relataram que o produto a base de AAs aplicado via foliar não alterou o teor de clorofila, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos. Assim como Gazola et al. (2014), ao avaliarem a aplicação foliar de AAs (0, 8, 16 e 24 L ha<sup>-1</sup>) e N em cobertura (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) na cultura do milho safrinha, não foram constatados efeitos significativos para as doses de AAs aplicadas via foliar em nenhuma das características agronômicas. Moreira et al. (2015a) também não observaram efeitos significativos para as doses de AAs aplicadas via foliar em nenhuma das características agronômicas da alfafa (*Medicago sativa* L.).

Ghasemi et al. (2013) verificaram que o rendimento de grãos de trigo foi aumentado pela aplicação foliar de quelatos de Zn com AAs (Zn-AAs) sendo que a resposta positiva no rendimento em cultivares de trigo pode ser devido ao papel dos AAs em diferentes processos biológico das plantas. Esses autores também verificaram que a aplicação foliar de Zn-AAs aumentou a concentração de Fe nos grãos de trigo. Picolli et al. (2009) e Azimi et al. (2013), ao estudarem a aplicação de produtos a base de AAs na cultura do trigo, concluíram que esses produtos proporcionaram ganhos significativos na produtividade de grãos e também trouxeram benefícios a cultura em situações adversas do clima, como o déficit hídrico. Mendes et al. (2016) verificaram que aplicação foliar de AAs aumentou o diâmetro e comprimento dos frutos do pimentão (*Capsicum annuum* L.), porém, não houve efeito no número total de frutos e na produtividade da cultura.

### 3 ARTIGO A: APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO E AMINOÁCIDOS NA SUCESSÃO TRIGO-SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

#### 3.1 RESUMO

A adubação foliar com micronutrientes e aminoácidos (AAs) tem sido utilizada no aumento de produtividade das culturas. O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de B e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes de produção e na produtividade de grãos na sucessão trigo-soja em sistema de plantio direto (SPD). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de B (0, 1, 2, 4, e 8 kg ha<sup>-1</sup>) + 2 L ha<sup>-1</sup> AAs, e três tratamentos adicionais [controle (sem aplicação de B e AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> B, 2 L ha<sup>-1</sup> AAs e 2 kg ha<sup>-1</sup> B + 1 L ha<sup>-1</sup> AAs], pulverizados via foliar na fase final de alongamento e início de pré-espigamento (trigo) e no estágio de crescimento V6 (soja), em dois anos de cultivo, em Latossolo Vermelho Escuro eutrófico textura argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila), com boa disponibilidade de B. A aplicação foliar de B e AAs não influenciou os componentes fisiológicos, componentes de produção e não proporcionou aumento nos teores de B na folha e nos grãos do trigo e da soja. Independente da dose, a adubação foliar com B e AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) não aumentou a produtividade de grãos na sucessão trigo-soja, em solo argiloso com boa disponibilidade de B, não sendo indicado a sua aplicação.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, *Triticum aestivum*, Estado nutricional, Produção de grãos.

#### 3.2 ABSTRACT

#### BORON AND AMINOACIDS FOLIAR APPLICATION ON WHEAT-SOYBEAN INTERCROPPING IN A NON-TILLAGE SYSTEM

Micronutrients and aminoacids (AAs) foliar fertilization have generally been sprayed onto plants to increase the crop yield. The experiment had the aim of evaluating the foliar boron (B) and aminoacids (AAs) application on the grain yield (GY), physiological characteristics, nutritional status, and yield components in wheat and soybean intercropping in a non-tillage system (NTS). The experiment was set up as a randomized blocks design with four replicates. The treatments had five boron (B) rates (0, 1, 2, 4, and 8 kg ha<sup>-1</sup>) + 2 L ha<sup>-1</sup> AAs and three additional treatments [(Control - without B and AAs), B at 2 kg ha<sup>-1</sup>, AAs at 2 L ha<sup>-1</sup>; B at 2 kg ha<sup>-1</sup> + AAs at 1 L ha<sup>-1</sup>] applied by foliar spraying in the elongation and spike beginning of wheat plants, and development growth stage (V5) of soybean for two growing seasons in soil Kaolinitic Typic Eutrorthox loamy (860 g kg<sup>-1</sup> of clay) with adequate B levels. Boron and AAs had no influence on the physiological and yield components, and had no increases in the foliar and grain B content in wheat and soybean. No matter the dose, the foliar B + AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) application did not increase the grain yield in wheat-soybean under rotational non-tillage system in loamy soil with suitable available B, its application is not recommended.

**Keywords:** *Glycine max*, *Triticum aestivum*, Nutritional status, Grain yield.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Existem hoje no mercado inúmeros fertilizantes foliares, sendo que a sua utilização com apenas um nutriente ou vários, na mesma solução, tem aumentado nos últimos anos (FAGERIA et al., 2009). É verificado também a utilização de produtos coadjuvantes, como os aminoácidos (AAs), para o aumento da eficiência desses fertilizantes (MOREIRA et al., 2015a). Um dos motivos para o aumento do uso desses produtos é o aumento do preço dos grãos, o que tem motivado muitos produtores a utilizar adubação foliar. Entretanto, os resultados de pesquisa têm mostrado grande variabilidade de resposta, positiva ou não, à sua aplicação (CERETTA et al., 2005; ENDERSON et al., 2015; MOREIRA et al., 2015a).

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) constituiu-se numa das principais culturas na região Sul. Sendo que, o trigo (*Triticum aestivum* L.) e o milho (*Zea mays* L.) são alternativas para semeadura de inverno e safrinha em rotação (MOREIRA et al. 2015b). A utilização da adubação foliar tem sido mais frequente no Brasil Central. Os efeitos positivos dos fertilizantes foliares na produtividade têm dependido muito da combinação de vários fatores, entre eles, o horário de aplicação, o estágio vegetativo, a arquitetura das plantas e as condições climáticas (CERETTA et al., 2005; FAGERIA et al., 2009).

Dentre os nutrientes utilizados na adubação foliar, o boro (B) merece especial atenção por se tratar de um elemento cuja deficiência aparece em maior frequência nas culturas. Além disso, por estar diretamente relacionado à formação e à qualidade da colheita (MALAVOLTA, 2006). O B atua na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico aumentando o pegamento de flores e a granação causada pela menor esterilidade masculina e pelo menor chochamento de grãos (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Isto foi verificado por RERKASEM; JAMJOD (2004), em que a deficiência de B, no trigo, causou a esterilidade de flores e acarretou menor produtividade de grãos.

As quantidades de B requeridas para a fase reprodutiva geralmente são maiores do que as necessárias ao crescimento vegetativo, sendo que a maior exigência de B durante a floração e formação das sementes foi demonstrada, mesmo quando os níveis de B nas folhas estão adequados (RERKASEM; JAMJOD, 2004, DORDAS, 2006, MARSCHNER, 2012). No entanto, a adubação foliar complementar de B, na cultura da soja, pode não interferir na produtividade de grãos



quando o solo possuir teores adequados do nutriente (KAPES et al., 2008; ENDERSON et al., 2015).

A utilização dos AAs na adubação foliar tem a função de bioestimulante de plantas aumentando a eficiência de absorção dos nutrientes com maior aumento da permeabilidade da cutícula das folhas (LOUÉ, 1993; MOREIRA; MORAES, 2016), auxiliando crescimento, rendimento de matéria seca e grãos e diminuindo significativamente os efeitos causados por estresses abióticos (PICOLLI et al., 2009; AZIMI et al., 2013, GAZOLA et al. 2014, MOREIRA et al., 2015a, MENDES et al., 2016).

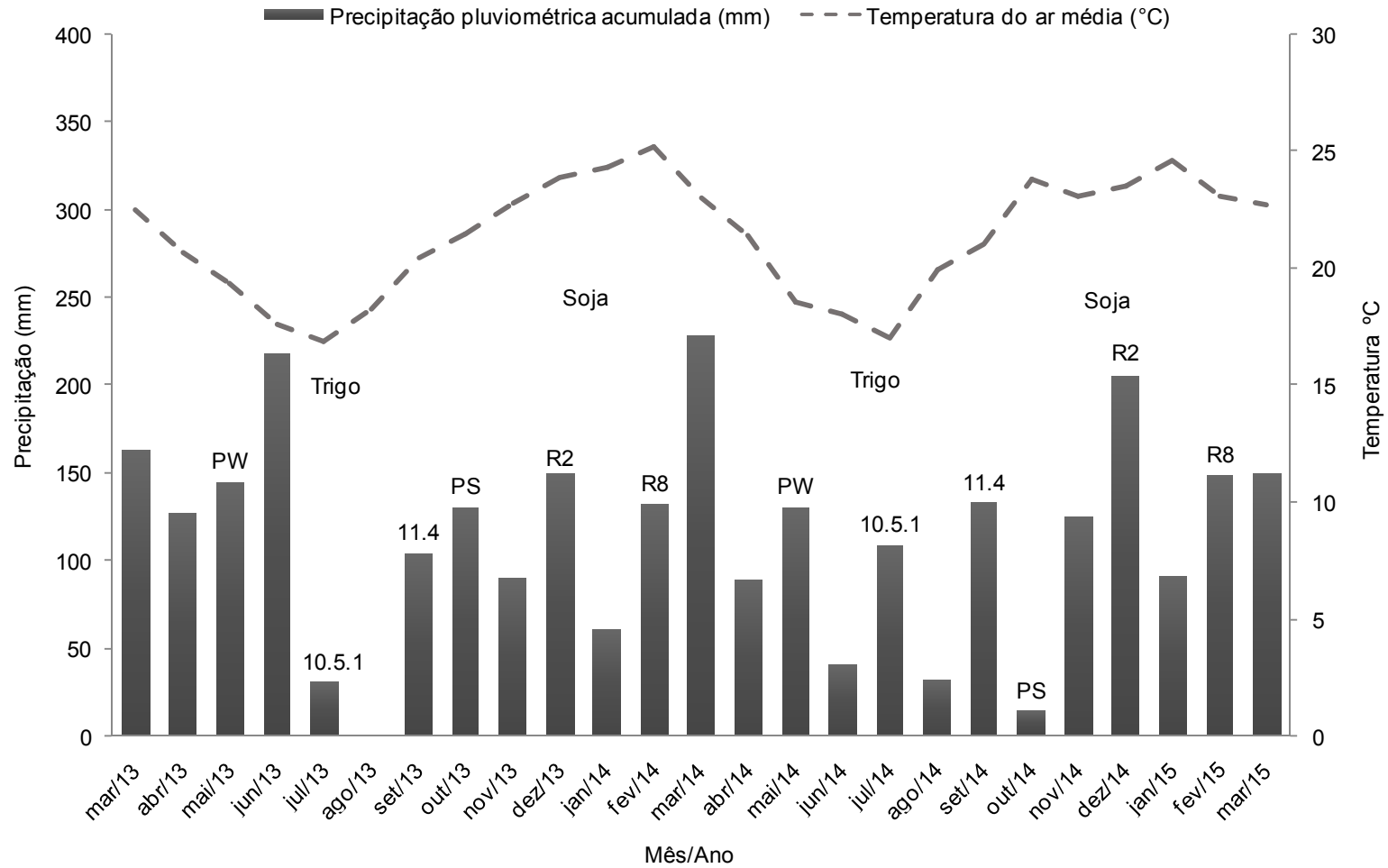
Estudos são necessários para verificar o efeito da adubação foliar com micronutrientes e AAs na produtividade das culturas, a fim de buscar respostas e contribuir na obtenção de argumentos que justifiquem ou não a sua recomendação. O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de B e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes da produção e na produtividade de grãos, da sucessão trigo-soja, em sistema de plantio (SPD).

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em sistema plantio direto (SPD) em sucessão trigo-soja consolidada de 10 anos. Foram avaliadas as safras 2013/14 e 2014/15 em Londrina, Estado do Paraná nas coordenadas 23°12' LS e 51°11' LW, e 560 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, porém sem estação seca definida (KÖPPEN, 1948). Os valores de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) no período de condução dos experimentos (2013/14 e 2014/15) constam na Figura 3.1. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro eutrófico, textura argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila) (EMBRAPA, 2013), com os seguintes atributos químicos na camada de 0-10 cm, antes do primeiro cultivo do trigo: pH (CaCl<sub>2</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>) = 5,0; C = 15,1 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) = 13,7 mg kg<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> = 0,95 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 3,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 4,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 8,0 mg kg<sup>-1</sup>; CTC= 10,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; V = 57,0%; B

(água quente) = 0,4 mg kg<sup>-1</sup>; Cu (Mehlich 1) = 22,3 mg kg<sup>-1</sup>; Fe (Mehlich 1) = 40,1 mg kg<sup>-1</sup>; Mn (Mehlich 1) = 151,1 mg kg<sup>-1</sup> e Zn (Mehlich 1) = 4,2 mg kg<sup>-1</sup> e após o primeiro cultivo de soja: pH (CaCl<sub>2</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>) = 5,2; C = 14,1 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) = 8,1 mg kg<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> = 1,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 4,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 16,1 mg kg<sup>-1</sup>; CTC= 12,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; V = 63,6%; B (água quente) = 0,4 mg kg<sup>-1</sup>; Cu (Mehlich 1) = 25,3 mg kg<sup>-1</sup>; Fe (Mehlich 1) = 35,0 mg kg<sup>-1</sup>; Mn (Mehlich 1) = 142,9 mg kg<sup>-1</sup> e Zn (Mehlich 1) = 5,3 mg kg<sup>-1</sup>.

**Figura 3.1** - Temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) no período de condução dos experimentos (2013/2014 e 2014/2015). Trigo [PW- plantio do trigo (08/05/2013 e 10/05/2014); 10.5.1 – início do florescimento, 11.4 - colheita do trigo (10/09/2013 e 13/09/2014) (LARGE, 1954)]. Soja [(PS-plantio da soja (08/10/2013 e 14/10/2014); R2-florescimento pleno, R8-maturação plena (10/02/2014 e 18/02/2015) (FEHR et al., 1971)].



O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de doses de B (0, 1, 2, 4, e 8 kg ha<sup>-1</sup>) na presença de AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) aplicados via foliar e os tratamentos adicionais [controle (sem aplicação de B e AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> de B e 2 kg ha<sup>-1</sup> B + 1 L ha<sup>-1</sup> AAs]. Foi utilizado o ácido bórico (17% de B) e uma combinação de AAs (6,8% de glicina, 4,4% de prolina, 3,3% de ácido glutâmico, 2,7% de alanina, 1,9% de arginina, 1,7% de ácido aspártico, 1,3% de lisina, 1,3% de histidina e 1,0% de leucina). A adubação foliar foi realizada na fase final de alongamento e início de pré-espigamento no trigo e no estágio de crescimento V6 na soja. As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO<sub>2</sub> constante, com vazão de calda de 600 L ha<sup>-1</sup>.

A semeadura do trigo foi realizada nos dias 08/05/13 e 10/05/14, com espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Nos dois anos de cultivo foi utilizada a cultivar BRS Pardela (ciclo medio, tipo melhorador). Trinta dias antes do plantio foi aplicado o calcário (MgO > 12%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%. A adubação de semeadura foi realizada com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia, 44% de N), 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo, 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) + 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio - KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) + 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre, 24,5%), 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Mn (sulfato de manganês, 30%) e 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco, 21%). A adubação em cobertura foi realizada aos 40 dias após o plantio (Estádio E4) com 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (KCl) e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia).

No cultivo da soja em sucessão ao trigo não foi realizada adubação de plantio conforme indicação de Lantmann et al. (1996). Sessenta dias após a emergência foi aplicado, em cobertura, 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (TPS, 2013). Sementes da cultivar BRS 360 RR (hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação precoce, ciclo de 105 a 120 dias) foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587) + *B. japonicum* (SEMIA 5019) e tratadas com solução contendo Mo e Co (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). A semadura foi realizada nos dias 08/10/2013 e 14/10/2014, com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Foram avaliadas as características fisiológicas (teor de clorofila, fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, taxa transpiratória e eficiência intercelular de uso da água), estado nutricional, componentes de produção (massa de 1000 grãos e peso do hectolitro do trigo e

massa de 100 grãos da soja) e a produtividade de grãos na sucessão trigo-soja. Foi realizada a coleta de folhas para diagnóstico e determinação do estado nutricional das plantas. Coletou-se as folhas inteiras expandidas, de 20 plantas por parcela, na fase de início do florescimento do trigo 10.5.1 (LARGE, 1954), e as folhas com pecíolo (folhas 3 e 4 a contar do ápice) no estágio R2 da soja (FEHR et al., 1971). Após a coleta, as folhas foram secas em estufa de circulação forçada a  $65\pm 2^{\circ}\text{C}$  e, posteriormente, moídas para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

Antes da coleta das folhas, no período da manhã, foi realizada a leitura SPAD, nas folhas diagnósticos, medidas com o aparelho SPAD-502 (MINOLTA CAMERA COMPANY, 1989) e convertidas em teor de clorofila com a equação ( $\hat{y} = (0,0305 \times \exp^{(0,0545 \times \text{SPAD})}) \times 1000$ ), conforme descrito por Uddling et al. (2007) para a cultura do trigo e com a equação  $\hat{y} = 16,033 + (7,5774 \times \text{SPAD})$  proposta por Fritschi e Ray (2007) para a cultura da soja. Em seguida, nas mesmas folhas, foram determinadas os teores de fotossíntese ( $A$ ) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e taxa de transpiração ( $\text{Trmmol}$ ) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), com o medidor de fotossíntese (LI-6400XT; LI-COR, Lincoln, NE). A eficiência intercelular do uso de água foi definida pela relação  $A/\text{Trmmol}$ .

Os tratamentos culturais foram realizados conforme as indicações técnicas para as culturas do trigo e da soja (ITTT, 2013; TPS, 2013). A colheita do trigo foi realizada nos dias 10/09/13 e 13/09/14 e da soja em 10/02/2014 e 18/02/2015. Após a colheita, foram avaliados a produtividade de grãos e os componentes de produção. Nos grãos também foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

De acordo com o delineamento proposto, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F. As médias das doses de B na presença de AAs foram comparadas por análise de regressão e os tratamentos adicionais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram executadas por meio do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Produtividade e Componentes de Produção do Trigo e da Soja

As produtividades de grãos (PG) do trigo e da soja não foram influenciadas pela adubação foliar com B e AAs (Tabela 3.1). A falta de resposta da adubação foliar pode estar relacionada ao nível adequado de B disponível no solo ( $0,4 \text{ mg B kg}^{-1}$ ), considerado médio, tanto para o trigo quanto para a soja (RAIJ et al., 1997; ALVAREZ et al., 1999; TPS, 2013). O nível de B adequado e a ausência de resposta na PG, corrobora Enderson et al. (2015), em estudos realizados em 42 locais, ao verificarem que, quando o solo apresenta níveis adequados de nutrientes, a adubação foliar não interfere na PG. Resultados semelhantes foram obtidos por Kappes et. al (2008), ao verificarem ausência de efeito do incremento das doses de B na PG da soja.

Por outro lado, ROSS et al. (2006) verificaram que, em solos com baixa disponibilidade de B e plantas com sintomas visuais da deficiência de B no tratamento controle, a adubação com B proporcionou aumentos na produtividade da soja. Assim como Zoz et al. (2016), verificaram que a aplicação foliar conjunta de B e Ca no trigo, em solo com menor disponibilidade de B ( $0,25 \text{ mg B dm}^{-3}$ ) melhorou crescimento, fecundação das flores e número de perfilhos, resultando em maior rendimento de grãos em relação ao tratamento controle.

Em relação aos AAs, nas mesmas condições edafoclimáticas, Moreira; Moraes (2016) obtiveram incremento na produção de grãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com aplicação de um coquetel de AAs. Fatores como, horário de aplicação e idade das plantas (FAGERIA et al., 2009) podem ter influenciado estes resultados conflitantes sobre os efeitos positivos ou não da aplicação foliar de AAs.

Com relação à produtividade de grãos nos dois anos de cultivo, na safra 2014 não houve limitações hídricas para o cultivo do trigo, enquanto na safra 2013 foi observado estresse hídrico das plantas no início do florescimento (Figura 3.1), com redução significativa na PG. Frizzone; Olitta (1990) demonstraram que o a cultura do trigo é bastante sensível, obtendo-se as maiores reduções no rendimento de grãos quando o déficit de água ocorre entre o início do florescimento e a fase de grãos leitosos, fato esse verificado na safra 2013, com 42,5% de redução em relação

a 2014 (Tabela 3.1). Resultados semelhantes foram encontrados por Moreira et al. (2015b) nas mesmas condições edáficas, com variação de 35,8% no rendimento do trigo nas safras 2013 e 2014 (4177 kg ha<sup>-1</sup> e 2683 kg ha<sup>-1</sup>).

A produtividade média da soja também variou nos dois anos de cultivo, de 2762 kg ha<sup>-1</sup> em 2013/14 a 1628 kg ha<sup>-1</sup> em 2014/15, representando uma diferença de 41% na PG (Tabela 3.1). Semelhante ao trigo, a redução na produção em 2014/15 possivelmente ocorreu devido ao estresse hídrico no período inicial de desenvolvimento da cultura (Figura 3.1). E considerando-se que a semeadura da soja, nos dois anos de cultivo, foi realizada na mesma época (início de outubro), as flutuações anuais no rendimento são determinadas principalmente por fatores climáticos, especialmente chuva e temperatura (TPS, 2013).

**Tabela 3.1** - Produtividade de grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AA (L ha <sup>-1</sup> )	Trigo		Soja	
		2013	2014	2013/14	2014/15
0	2	2382,0	4130,6	2741,2	1600,3
1	2	2510,5	4260,5	2850,1	1670,3
2	2	2498,8	4363,0	2828,5	1733,3
4	2	2501,1	4216,5	2671,2	1698,6
8	2	2374,6	4359,5	2717,1	1438,2
Média		2453,4	4266,0	2761,6	1628,1
Teste F		ns	ns	ns	ns
CV (%)		3,4	4,4	9,1	16,1
0	0	2332,9	4375,4	2642,0	1569,4
0	2	2382,0	4130,6	2741,2	1600,3
2	0	2284,5	4350,1	2837,8	1707,3
2	1	2506,1	4160,1	2950,9	1938,7
Média		2376,4	4254,0	2793,0	1703,9
Teste F		ns	ns	ns	ns
CV (%)		6,9	3,5	8,9	15,5

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F

Apesar do B atuar na translocação de açúcares (LOUÉ, 1993; MORAES et al. 2002; MARSCHNER, 2012) para os órgãos propagativos, não foram observados resultados significativos em relação à massa de 1000 grãos e peso do hectolitro (PH) do trigo e na massa de 100 grãos da soja (Tabela 3.2). Assim como Reis et al. (2008), estudando a adubação foliar com B no feijoeiro, também não observaram resposta significativa no peso de 100 grãos.

**Tabela 3.2** - Massa de 1000 grãos e peso do hectolitro (PH) do trigo e massa de 100 grãos da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AA (L ha <sup>-1</sup> )	Trigo				Soja	
		1000 grãos (g)		PH kg 100 L <sup>-1</sup>		100 grãos (g)	
		2013	2014	2013	2014	2013/14	2014/15
0	2	28,1	30,0	83,7	78,8	14,6	10,1
1	2	26,7	30,2	82,9	79,3	14,3	9,7
2	2	26,9	30,2	82,6	80,0	14,7	9,7
4	2	28,7	29,3	83,2	79,2	14,3	10,0
8	2	27,3	31,0	83,1	79,9	14,4	10,2
Média		27,5	30,2	83,1	79,5	14,5	9,9
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		4,5	4,0	1,3	1,2	3,0	2,2
0	0	26,7	30,5	82,8	79,5	14,2	10,1
0	2	28,1	30,0	83,7	78,8	14,6	10,1
2	0	29,0	29,8	83,5	78,9	14,5	10,1
2	1	28,4	30,6	84,1	79,5	15,2	10,4
Média		28,0	30,2	83,5	79,2	14,6	10,2
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		4,4	3,8	1,5	1,0	2,9	3,7

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F

### 3.5.2 Componentes Fisiológicos do Trigo e da Soja

Não houve resposta das doses de B na presença de AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) nos componentes fisiológicos do trigo e da soja. Na comparação das médias, houve diferença significativa apenas na condutância estomática ( $g_s$ ), na leitura SPAD e no teor de clorofila da soja (Tabelas 3.3). O teor de clorofila foi maior no tratamento apenas com B (2 kg B ha<sup>-1</sup>) e a  $g_s$  foi maior no tratamento com B + AAs (2 kg + 1 L ha<sup>-1</sup>). Esses resultados corroboram em parte, Moreira et al. (2015a), cujas aplicações de AAs na alfafa não alteraram a taxa fotossintética, a condutância estomática, a concentração de CO<sub>2</sub> e a taxa transpiratória.

Os AAs atuam principalmente na síntese de proteínas, sobre a resistência ao estresse, como precursores ou ativadores de fitormônios e na abertura e fechamento de estômatos (TAIZ; ZIEGER, 2004; MARSCHNER, 2012). Estudos demonstraram que a deficiência B leva à diminuição da taxa fotossintética, condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa de transpiração (Trmmol) nas folhas de plantas de laranjeira (SHENG et al., 2009). Isto explica porque a adubação com B (2 kg + 1 L ha<sup>-1</sup>), na presença de AAs, aumentou a  $g_s$  na soja.



**Tabela 3.3** - Leitura SPAD, Teor de clorofila, Taxa fotossintética, condutância estomática (gs), concentração de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa de transpiração (Trmmol) e eficiência de uso da água (EuH<sub>2</sub>O) do trigo (T) e da soja (S) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013/14 e 2014/15).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	SPAD		Clorofila		Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		gs ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		Ci ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )		Trmmol ( $\text{mmol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		EuH <sub>2</sub> O ( $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ )	
		(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)
0	2	39,8	30,9	268,4	250,4	17,0	21,5	0,357	1,3	234,1	398,6	4,0	2,8	4,3	8,0
1	2	39,7	30,2	267,2	245,1	16,7	19,5	0,390	1,8	240,3	393,5	4,1	2,5	4,1	7,7
2	2	39,0	31,6	257,8	255,8	16,5	20,3	0,350	1,4	236,1	390,5	3,8	2,6	4,4	7,9
4	2	39,8	32,3	267,2	261,1	17,1	22,4	0,380	1,5	237,7	408,9	4,2	3,1	4,1	7,3
8	2	38,4	33,5	249,8	269,6	16,4	20,3	0,340	1,6	233,7	406,1	3,9	2,8	4,2	7,6
Média		39,3	31,7	262,1	256,4	16,7	20,8	0,364	1,5	236,4	399,5	4,0	2,8	4,2	7,7
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		3,4	6,8	7,5	6,4	8,4	10,7	14,0	26,8	2,5	2,5	5,4	14,3	7,3	11,0
0	0	39,8	29,5b	269,4	239,3b	16,0	20,0	0,355	1,4b	233,7	381,9	4,0	2,6	4,3	8,5
0	2	39,8	30,9b	268,4	250,4b	17,0	21,5	0,357	1,3b	234,1	398,6	4,0	2,8	4,3	8,0
2	0	37,3	35,7a	237,6	286,7a	16,7	18,5	0,337	0,9b	232,8	381,7	3,9	2,2	4,2	9,0
2	1	40,1	30,2b	271,2	244,6b	17,0	20,7	0,327	2,1a	231,0	404,2	3,8	2,7	4,2	8,2
Média		39,2	31,5	261,6	255,2	16,7	20,2	0,344	1,4	233,0	391,6	4,0	2,6	4,3	8,4
Teste F		ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		4,3	6,7	9,2	5,9	5,1	14,9	13,8	16,6	3,1	7,6	3,9	31,3	5,6	22,8

\*. ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

### 3.5.3 Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos do Trigo e da Soja

Houve resposta das doses de B na presença de AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ) nos teores de B nas folhas e nos grãos do trigo, fato esse não observado nas folhas e nos grãos da soja (Tabela 3.4). Resultados diferentes foram obtidos por Ross et al. (2006), cujas concentrações de B nas folhas e nos grãos da soja aumentaram com as doses de B, em solo com baixa disponibilidade do nutriente. No caso dos AAs, Moreira et al (2015a) observaram que a aplicação foliar de AAs reduziu em 14,3% o teor de B na matéria seca (MS) da alfafa.

Os teores foliares de B no trigo e na soja situam-se acima das faixas de 5 a 20  $\text{mg B kg}^{-1}$  e 21 a 55  $\text{mg B kg}^{-1}$  consideradas adequadas para o trigo e a soja (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ et al., 1997). Fatores, como cultivares com exigências nutricionais distintas das que definiram as faixas podem ter influenciado estes resultados, visto que fatores genéticos estão diretamente relacionadas à eficiência de utilização do nutriente pelas plantas (FAGERIA et al., 2009). Isto foi confirmado por Furlani et al. (2001), ao verificarem que nas mesmas condições edafoclimáticas, houve variação entre cultivares de soja de 24 e 87  $\text{mg B kg}^{-1}$  nos teores foliares. Os teores de B verificados, nas folhas da soja, foram maiores que os obtidos por Moreira et al. (2015b) para a cultivar BMX turbo RR (30  $\text{mg B kg}^{-1}$ ) e menores que os obtidos por Calonego et al. (2010) para a cultivar BRS 214 RR (114,8  $\text{mg B kg}^{-1}$ ). Na diagnose visual, não foram verificados sintomas visuais de deficiência ou excesso de B. Fageria (2000a) relata que os níveis tóxicos de B na folhas do trigo e da soja situam-se próximos de 140 e 150  $\text{mg B kg}^{-1}$ , respectivamente.

**Tabela 3.4** - Teor médio de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas folhas e nos grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015) em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs).

B ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	AAs ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Trigo				Soja			
		Folhas		Grãos		Folhas		Grãos	
		2013	2014	2013	2014	13/14	14/15	13/14	14/15
		-----mg $\text{kg}^{-1}$ -----							
0	2	65,7 <sup>(1)</sup>	58,3 <sup>(2)</sup>	3,2 <sup>(3)</sup>	1,8 <sup>(4)</sup>	60,0	59,5	32,4	31,6
1	2	72,4	83,4	2,9	1,6	70,1	66,4	33,9	30,9
2	2	75,7	82,8	2,5	1,9	61,0	62,4	36,3	34,6
4	2	60,9	79,0	1,9	1,7	63,1	63,6	34,6	33,0
8	2	45,4	54,8	2,1	1,1	60,0	62,6	32,3	37,6
Média		64,0	71,6	2,5	1,6	62,6	62,9	34,0	33,6
Teste F		*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)		6,8	9,5	18,0	12,6	8,4	7,1	5,5	11,2
0	0	70,0	68,2ab	2,7ab	2,1a	72,4	64,4	38,4	35,5
0	2	65,7	58,3b	3,2a	1,8a	60,0	59,5	32,4	31,6
2	0	56,0	64,5b	2,5b	0,8b	61,7	65,6	33,3	32,4
2	1	68,5	78,2a	2,3b	0,9b	73,0	66,2	32,7	33,3
Média		65,1	67,3	2,7	1,4	66,6	64,0	34,2	33,2
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)		13,2	8,6	10,2	11,4	11,2	7,6	8,1	10,3

\*. ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. <sup>(1)</sup> $69,4 + 1,44x - 0,57x^2$  ( $R^2=0,86$ ); <sup>(2)</sup> $65,0 + 11,1x - 1,56x^2$  ( $R^2=0,80$ ); <sup>(3)</sup> $3,25 - 0,5x + 0,04x^2$  ( $R^2=0,98$ ); <sup>(4)</sup> $1,7 + 0,07x - 0,02x^2$  ( $R^2=0,91$ ).

No trigo, não houve efeito das doses de B na presença de AAs (2 L  $\text{ha}^{-1}$ ) nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas e nos grãos (Tabela 3.5). Na comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, a adubação foliar no trigo influenciou significativamente os teores de N, Cu e Fe nas folhas e o de Cu nos grãos. O teor de Cu nas folhas foi menor no tratamento controle em relação aos demais tratamentos, o inverso foi verificado com o teor de Fe nas folhas. O teor de N nas folhas foi maior no tratamento com B + AAs (2 kg B  $\text{ha}^{-1}$  + 1 L  $\text{ha}^{-1}$ ), no entanto, não diferiu do tratamento controle. Com relação aos grãos, os teores de Cu nos tratamentos não diferiram do controle. Ou seja, a adubação foliar com B e AAs aumentou os teores de Cu e diminuiu os teores de Fe foliar no trigo, no entanto, não houve efeito das doses de B (Tabela 3.5).

Na soja, também não houve resposta das doses de B na presença de AAs (2 L  $\text{ha}^{-1}$ ) nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas e nos grãos (Tabela 3.6). Na comparação das médias dos tratamentos, a adubação foliar influenciou significativamente os teores de N, Cu e Mn nas folhas e o teor de Mn nos grãos (Tabela 3.6). Os teores de N nas folhas da soja foram maiores nos tratamentos com 2 kg B  $\text{ha}^{-1}$  + 1 L  $\text{ha}^{-1}$  AAs e diferiu do tratamento controle, enquanto os teores foliares de Cu e Mn e de Mn nos grãos foram maiores no

tratamento controle e diferiram dos demais tratamentos. Ou seja, a adubação foliar com B e AAs diminuiu os teores de Cu nas folhas e de Mn nas folhas e nos grãos da soja (Tabela 3.6). A falta de resposta da aplicação foliar de B e AAs nos teores de K, Ca e Mg nas folhas do trigo e da soja contradiz uma expectativa inicial, uma vez que o B interfere na absorção e no metabolismo dos cátions (LOUÉ, 1993; DECHEN; NACHTIGALL, 2006), como verificado por Power; Woods (1997), cujo incremento na absorção de K aumentou com o fornecimento de B. Esses resultados concordam com Furlani et al. (2001) e Moreira; Moraes (2016), que também não observaram variação significativa entre os tratamentos que receberam adubação com B sobre os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas da soja e Mantovani et al. (2013), que não observaram aumento nos teores de P e K em folhas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Em relação aos AAs, os resultados discordam dos obtidos por Moreira et al. (2015a), ao verificarem que a aplicação foliar de AAs reduziu as concentrações de P, K e Mg na MS da alfafa .

A aplicação foliar de B e AAs diminuiu os teores de Fe nas folhas do trigo, assim como diminui os teores de Cu nas folhas e de Mn nas folhas e nos grãos da soja. Resultado este diferente do esperado, pois os AAs atuam principalmente na síntese de proteínas, como precursores ou ativadores de fitormônios, na abertura e fechamento de estômatos e resistência ao estresse (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Mesmo o B atuando na assimilação de N, processo fundamental para a síntese de ácidos nucleicos e proteínas e para atividade fotossintética e metabolismo de carboidratos (MALAVOLTA, 2006) não houve resposta das doses de B na presença de AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) nos teores de N nas folhas da soja. No entanto, os teores de N nas folhas foram maiores no tratamento com 2 kg de B + 1 L ha<sup>-1</sup> AAs (Tabela 3.6). Estes resultados corroboram Calonego et al. (2010), que também não observaram incremento no teor de N nas folhas em função de doses de B aplicadas via foliar na soja cultivada em solo com teor adequado de B (0,4 mg B kg<sup>-1</sup>) e diferem dos resultados obtidos por Mantovani et al. (2013), que verificaram efeito quadrático das doses de B aplicada via foliar no teor de N nas folhas de amendoim, porém, em solo com baixo teor de B (0,12 mg B kg<sup>-1</sup>).

Os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn nas folhas do trigo (Tabela 3.5) e da soja (Tabela 3.6) estão de acordo com os valores indicados como adequados para o trigo e a soja (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; RAIJ et al., 1997). Os teores de Mn nas folhas do trigo e da soja situaram acima desses valores.

Assim como verificado por Moreira et al. (2015b), em cultivo de soja e trigo nas mesmas condições edafoclimáticas, também obtiveram elevados teores foliares de Mn (181 a 224 mg kg<sup>-1</sup>) na soja. Mesmo com a inoculação com *Bradyrhizobium* e aplicação de Co e Mo, os teores de N nas folhas e nos grãos da soja situaram abaixo dos valores de 45,0 a 55,0 g kg<sup>-1</sup> considerados adequados (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; TPS, 2013). Fatores como cultivar, tipo de solo, condições climáticas e adubação de plantio e cobertura podem ter influenciado estes resultados (FAGERIA et al., 2009).

**Tabela 3.5** - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas (F) e nos grãos (G) do trigo em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013 e 2014).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Fe		Mn		Zn	
		(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)
		g kg <sup>-1</sup>										mg kg <sup>-1</sup>							
0	2	25,6	14,4	3,6	3,1	23,7	2,0	6,5	0,9	1,6	0,9	11,8	2,1	192,7	120,1	217,1	77,5	25,8	26,4
1	2	30,5	16,0	3,5	2,9	21,8	2,4	6,3	0,9	1,5	0,9	13,1	2,9	284,1	108,8	198,6	85,6	29,7	32,1
2	2	33,1	15,3	3,5	3,5	25,5	1,9	6,6	1,0	1,5	1,0	13,5	3,2	209,5	133,4	204,2	79,4	26,5	32,9
4	2	26,1	16,6	3,6	3,1	25,7	2,0	6,0	1,1	1,6	0,9	13,4	3,4	294,0	106,3	202,7	74,5	29,2	29,5
8	2	33,8	15,0	3,8	3,0	21,9	1,9	6,0	0,9	1,5	0,9	13,0	3,3	214,6	114,9	225,0	83,1	27,9	31,7
Média		28,8	15,5	3,6	3,1	23,7	2,0	6,3	1,0	1,5	0,9	13,0	3,0	239,0	116,7	209,5	80,0	27,8	30,5
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		5,7	5,4	2,9	7,6	5,2	12,0	9,1	19,4	6,8	10,2	7,5	24,4	10,8	18,8	9,8	18,7	19,3	23,4
0	0	31,9a	17,1	3,6	3,2	20,9	2,3	6,1	0,9	1,4	0,9	6,3b	3,3ab	312,7a	116,4	203,0	66,7	27,3	40,5
0	2	25,6b	14,4	3,5	3,1	23,7	2,0	6,5	0,9	1,6	0,9	11,8a	2,1b	192,7b	120,1	217,1	77,5	25,8	26,4
2	0	28,0b	15,4	3,4	3,4	21,5	2,1	6,5	0,8	1,6	0,9	13,1a	3,3ab	214,2b	110,0	230,9	86,8	23,8	30,7
2	1	34,5a	15,4	3,8	3,4	20,2	2,5	6,5	0,7	1,5	0,9	13,9a	4,7a	175,6b	116,4	233,3	85,5	22,5	36,3
Média		30,0	15,6	3,6	3,3	21,6	2,2	6,4	0,8	1,5	0,9	11,3	3,3	223,8	106,6	221,1	79,1	24,8	32,9
Teste F		*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		4,5	12,3	4,5	4,6	6,6	16,2	12,2	16,1	8,9	6,9	17,8	20,2	8,3	8,0	13,7	13,7	9,7	20,8

\*, ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 3.6** - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas (F) e nos grãos (G) da soja em função da aplicação foliar de boro (B) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2013/2014 e 2014/2015).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Fe		Mn		Zn	
		(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)
0	2	33,1	44,4	3,7	6,8	17,0	25,1	13,3	2,8	4,3	1,8	9,7	9,7	104,7	374,9	218,6	115,8	43,3	46,7
1	2	36,6	47,8	3,7	6,5	18,9	26,9	10,4	2,9	3,8	1,8	12,9	12,7	97,0	418,4	213,8	107,8	41,8	47,2
2	2	34,0	46,1	3,6	6,9	18,7	26,5	11,9	2,9	4,2	1,8	13,6	10,5	103,4	346,7	231,3	110,9	39,3	47,9
4	2	36,4	46,4	3,7	6,7	17,5	25,6	12,8	3,1	4,5	1,9	13,8	10,7	110,5	382,8	216,8	116,3	41,8	48,3
8	2	31,8	44,6	3,5	6,7	18,9	24,2	12,6	2,9	4,4	1,8	9,9	8,0	81,0	403,5	200,0	114,0	36,4	45,0
Média		34,9	45,9	3,6	6,7	18,2	25,7	12,2	3,0	4,3	1,8	12,8	10,3	99,3	385,3	219,7	112,9	40,5	47,0
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		5,5	6,3	6,9	3,4	7,3	2,3	5,5	13,6	5,5	5,1	9,0	9,7	11,1	6,4	4,9	6,7	9,9	5,0
0	0	33,9b	44,5	3,6	6,4	19,0	26,8	10,3	3,2	3,7	1,8	13,6a	10,2	100,7	358,8	242,4a	142,4a	45,0	47,9
0	2	33,1b	44,4	3,7	6,8	17,0	25,1	13,3	2,8	4,3	1,8	9,7b	9,7	104,7	374,9	218,6b	115,8b	43,3	46,7
2	0	35,4ab	47,2	3,5	6,8	17,0	24,8	12,8	3,2	4,3	1,9	8,2b	8,0	100,3	432,2	214,4b	109,1b	38,2	45,1
2	1	38,8a	47,9	3,5	6,5	16,9	25,1	12,4	2,7	4,2	1,8	9,7b	8,4	90,2	371,4	208,4b	102,1b	38,5	44,4
Média		35,3	46,0	3,6	6,6	17,6	25,5	12,2	3,0	4,1	1,8	10,3	9,1a	99,0	384,3	201,0	117,3	41,3	46,0
Teste F		*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
CV (%)		5,1	7,5	6,9	5,7	5,0	3,7	7,7	7,4	7,8	4,6	10,9	10,1	13,7	16,1	4,8	11,0	10,8	5,1

\*, ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

### 3.6 CONCLUSÕES

A adubação foliar com B e AAs não influenciou os componentes fisiológicos, componentes de produção, e não proporcionou aumento nos teores de B na folha e nos grãos do trigo e da soja.

Independente da dose, a adubação foliar com B na presença de AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ) não incrementou a produtividade de grãos da sucessão trigo-soja em solo argiloso com boa disponibilidade de B ( $> 0,4 \text{ mg B kg}^{-1}$ ), não sendo indicado a sua aplicação.



## 4 ARTIGO B: APLICAÇÃO FOLIAR DE ZINCO E AMINOÁCIDOS NA SUCESSÃO TRIGO-SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

### 4.1 RESUMO

A adubação foliar com zinco e aminoácidos (AAs) tem sido utilizada no aumento da produtividade e qualidade dos grãos. O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de Zn e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes de produção e produtividade de grãos da sucessão trigo-soja em sistema de plantio direto (SPD). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de Zn (0, 1, 2, 4, e 8 kg ha<sup>-1</sup>) na presença de AAs (2 L ha<sup>-1</sup>) e três tratamentos adicionais [controle (sem aplicação de Zn e AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn + 1 L AAs], pulverizados via foliar na fase final de alongamento e início de pré-espigamento (trigo) e no estágio de crescimento V6 (soja), em dois anos de cultivo, em Latossolo Vermelho Escuro eutrófico, textura argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila), com boa disponibilidade de Zn. Em condições de baixa disponibilidade hídrica, a adubação foliar com Zn aumentou os teores do nutriente nos grãos do trigo, indicando ser importante na biofortificação agrônômica. A adubação foliar com Zn e AAs não influenciou os componentes fisiológicos, componentes de produção e a produtividade de grãos da sucessão trigo-soja, não sendo indicada a sua aplicação, em solos com níveis adequados do nutriente, com o objetivo de aumentar a produtividade.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* *Triticum aestivum.* Eficiência de uso de Zn.

### 4.2 ABSTRACT

#### ZINC AND AMINOACIDS FOLIAR APPLICATION ON WHEAT-SOYBEAN INTERCROPPING IN A NON-TILLAGE SYSTEM

Micronutrients and aminoacids (AAs) foliar fertilization with have been used in the increase productivity and grain quality. This study aimed to evaluate the effect of foliar application of zinc (Zn) and AAs in the physiological characteristics, yield components, nutritional state (leaf and grain), and grain yield in the succession of wheat-soybean in non-tillage system. The experimental design was in randomized blocks with four replicates. The treatments had five Zn rates (0, 1, 2, 4 and 8 kg ha<sup>-1</sup>) + 2 L ha<sup>-1</sup> AAs and three additional treatments [control (without Zn application and AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> of Zn and 2 kg ha<sup>-1</sup> of Zn + 1 L AAs], applied by foliar spraying at the end of the elongation and spike beginning of wheat plants, and development growth stage (V5) of soybean for two growing seasons in soil Kaolinitic Typic Eutrorthox loamy (860 g kg<sup>-1</sup> clay) with adequate Zn levels. The zinc foliar application increased the nutrient content in wheat grains, with hydric limitations, recommended that it is important in agronomical biofortification. The Zn and AAs foliar application did not affect the physiological components, yields components and grain yield in the intercropping of wheat-soybean, its application aimed to increase the grain yield in soil with adequate Zn levels is not recommended.

**Keywords:** *Glycine max.* *Triticum aestivum.* Zn-use efficiency.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) constituiu uma das principais culturas plantadas na região sul do Brasil e o trigo (*Triticum aestivum* L.) e o milho (*Zea mays* L.) as principais alternativas para semeadura no período de inverno em rotação (MOREIRA et al. 2015b). O aumento na produtividade e o preço da soja têm motivado produtores a utilizar adubação foliar com micronutrientes, entretanto, os resultados têm mostrado grande variabilidade de resposta à sua aplicação (CERETTA et al., 2005, ENDERSON et al., 2015, MOREIRA et al., 2015a). A utilização da adubação foliar com micronutrientes tem sido mais frequentes nas condições de Cerrado, enquanto na região sul do Brasil, os efeitos na produtividade depende muito da combinação de uma série de fatores, entre eles, horário de aplicação, estágio vegetativo, arquitetura das plantas e condições climáticas (CERETTA et al., 2005; FAGERIA et al., 2009).

Dentre os micronutrientes, o zinco (Zn) merece especial atenção por se tratar de um elemento cujas deficiências aparecem em maior frequência nas culturas e por estar diretamente relacionado à formação e à qualidade da colheita (MALAVOLTA, 2006). O Zn atua no alongamento das células por meio da síntese do ácido indol acético (AIA), na redução do nitrato e síntese dos aminoácidos (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). A adubação com Zn na cultura do trigo tem sido estudada por diversos autores (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010, CAKMAK et al., 2010; ZHANG et al., 2010; KARIM et al., 2012; ZOU et al., 2012, ZOZ et al., 2012; GHASEMI et al., 2013; GOMEZ-CORONADO et al., 2016) e os resultados demonstram que a aplicação foliar de Zn pode influenciar o rendimento de grãos e sua qualidade.

Os aminoácidos têm sido amplamente utilizados como coadjuvantes no aumento da eficiência na adubação foliar (MOREIRA et al. 2015a). A utilização dos AAs na adubação foliar tem a função de bioestimulantes de plantas aumentando a eficiência de absorção dos nutrientes com maior aumento da permeabilidade da cutícula das folhas (LOUÉ, 1993; MOREIRA; MORAES, 2016), auxiliando no crescimento, rendimento de matéria seca e grãos e diminuindo significativamente os efeitos causados por estresses abióticos (PICOLLI et al., 2009; AZIMI et al., 2013, GAZOLA et al., 2014, MOREIRA et al., 2015a).

No entanto, mais estudos são necessários para verificar o efeito da

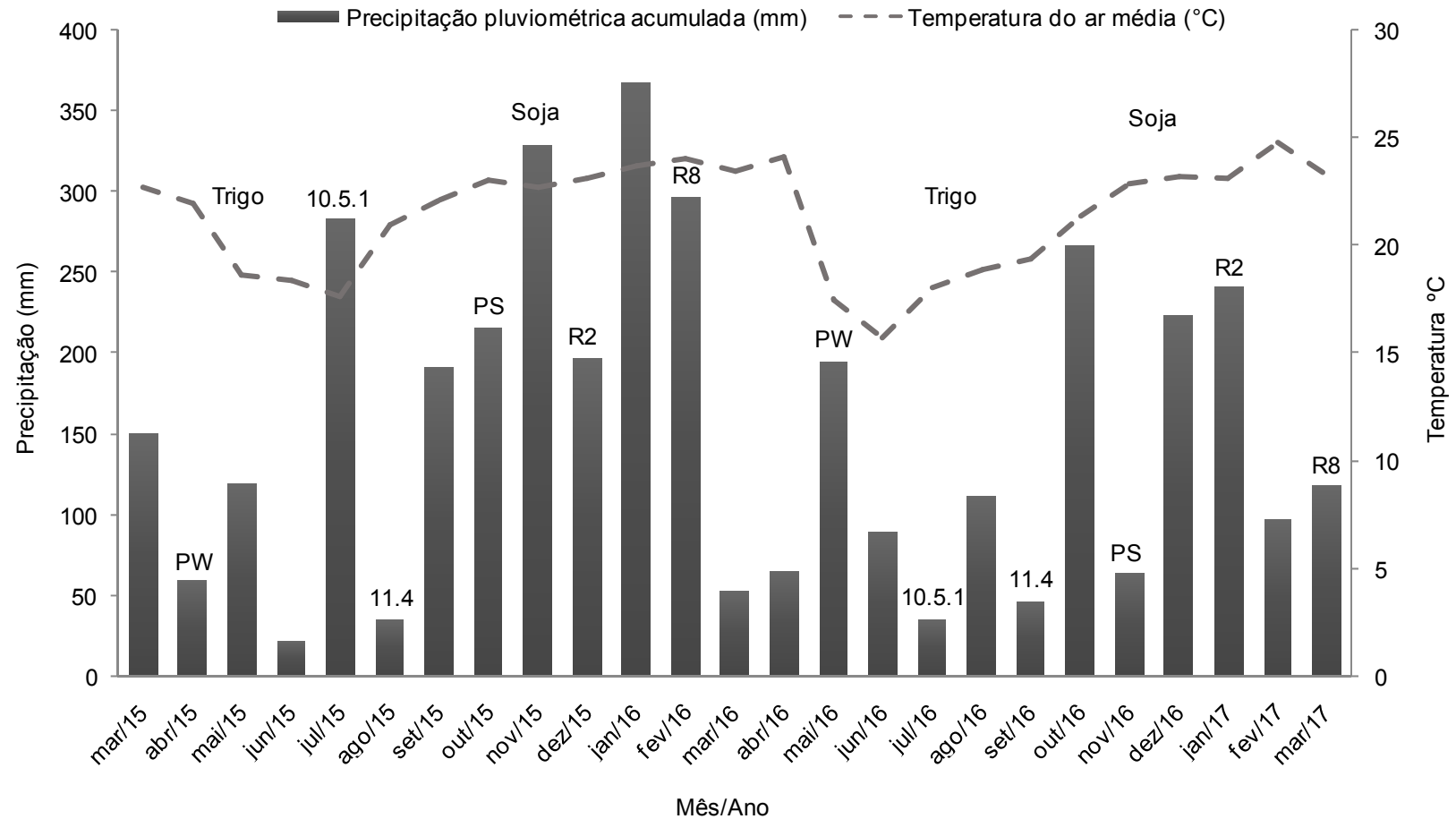
adubação foliar com micronutrientes e o uso de AAs na produtividade das culturas, a fim de buscar respostas e contribuir na obtenção de argumentos que justifiquem ou não a sua recomendação. O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de Zn e AAs nas características fisiológicas, estado nutricional, componentes da produção e na produtividade de grãos do trigo e da soja cultivada em SPD consolidado.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em sistema plantio direto (SPD), consolidado de 10 anos, com sucessão trigo-soja nas safras 2015/16 e 2016/17 na Embrapa Soja, em Londrina, Estado do Paraná (23°11' LS e 51°11' LW), a 630 m de altitude. O clima da região é descrito como clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, porém sem estação seca definida (KÖPPEN, 1948). Os valores de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) no período de condução dos experimentos (2015/2016 e 2016/2017) constam na figura 4.1.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro eutrófico, textura argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila) (EMBRAPA, 2013), com os seguintes atributos químicos na camada de 0 - 10 cm, antes do primeiro cultivo do trigo: pH (CaCl<sub>2</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>) = 4,8; C = 13,9 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) = 20,8 mg kg<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> = 0,80 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 5,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 26,6 mg kg<sup>-1</sup>; CTC = 12,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; V = 53,8%; B (água quente) = 0,4 mg kg<sup>-1</sup>; Cu (Mehlich 1) = 23,5 mg kg<sup>-1</sup>; Fe (Mehlich 1) = 30,2 mg kg<sup>-1</sup>; Mn (Mehlich 1) = 148,2 mg kg<sup>-1</sup>; Zn (Mehlich 1) = 4,0 mg kg<sup>-1</sup>; Zn (DTPA-TEA, pH 7,3) = 1,6 mg kg<sup>-1</sup> e após o primeiro cultivo de soja: pH (CaCl<sub>2</sub> 0,1 mol L<sup>-1</sup>) = 4,8; C = 14,3 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) = 10,6 mg kg<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> = 0,6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 5,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 20,0 mg kg<sup>-1</sup>; CTC = 11,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; V = 53,4%; B (água quente) = 0,4 mg kg<sup>-1</sup>; Cu (Mehlich 1) = 20,8 mg kg<sup>-1</sup>; Fe (Mehlich 1) = 28,6 mg kg<sup>-1</sup>; Mn (Mehlich 1) = 122,3 mg kg<sup>-1</sup>; Zn (Mehlich 1) = 4,1 mg kg<sup>-1</sup> e Zn (DTPA-TEA, pH 7,3) = 2,2 mg kg<sup>-1</sup>.

**Figura 4.1** - Temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) no período de condução dos experimentos (2015/2016 e 2016/2017). Trigo [PW- plantio do trigo (24/04/2015 e 03/05/2016); 10.5.1 – início do florescimento, 11.4 - colheita do trigo (31/08/2015 e 12/09/2016) (LARGE, 1954)]. Soja [(PS- plantio da soja (15/10/2015 e 04/11/2016); R2-florescimento pleno, R8-maturação plena (11/02/2016 e 07/03/2017) (FEHR et al., 1971)].



O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de Zn [0, 1, 2, 4, e 8 kg ha<sup>-1</sup> – fonte sulfato de Zn (20% Zn)] aplicadas via foliar na presença de 2 L ha<sup>-1</sup> de AAs (6,8% de glicina, 4,4% de prolina, 3,3% de ácido glutâmico, 2,7% de alanina, 1,9% de arginina, 1,7% de ácido aspártico, 1,3% de lisina, 1,3% de histidina e 1,0% de leucina) e três tratamentos adicionais [controle (sem aplicação de Zn e AAs), 2 kg ha<sup>-1</sup> de B e 2 kg ha<sup>-1</sup> de B + 1 L AAs]. A adubação foliar foi realizada na fase final de alongamento e início de pré-espigamento no trigo e no estágio de crescimento V6 na soja. As aplicações foram feitas com pulverizador com pressão de CO<sub>2</sub> constante, com vazão de calda de 600 L ha<sup>-1</sup>.

A semeadura do trigo foi realizada nos dias 24/04/15 e 03/05/16, com espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Nos dois anos de cultivo foi utilizada a cultivar BRS Pardela (ciclo de 122 dias). A adubação de semeadura foi realizada com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia, 44% de N), 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo, 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) + 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio - KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) + 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre, 24,5%) e 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Mn (sulfato de manganês, 30%). A adubação em cobertura foi realizada aos 40 dias após o plantio (Estádio E4) com 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (KCl) e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia).

Na soja em sucessão ao trigo não foi realizada adubação de plantio conforme indicação de Lantmann et al. (1996) e sessenta dias após a emergência foi aplicado em cobertura 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (TPS, 2013). Sementes da cultivar BRS 360 RR (hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação precoce, com ciclo de 105 a 120 dias) foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkani* (SEMIA 587) + *B. japonicum* (SEMIA 5019) e tratadas com solução contendo Mo e Co (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). A semadura foi realizada nos dias 15/10/2015 e 04/11/2016, com espaçamento entre linhas de 50 cm e densidade de 250.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Foram avaliadas as características fisiológicas [teor de clorofila, fotossíntese (A), condutância estomática (g<sub>s</sub>), concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), taxa transpiratória (Trmmol) e eficiência intercelular de uso da água (EuH<sub>2</sub>O)], estado nutricional, componentes de produção (massa de 1000 grãos e peso do hectolitro do trigo e massa de 100 grãos da soja) e a produtividade de grãos na sucessão trigo-soja. Foi realizada a coleta das folhas diagnóstico para determinação do estado nutricional das plantas. As folhas coletadas foram as folhas inteiras expandidas de 20 plantas por parcela na fase de início do florescimento do trigo 10.5.1 (LARGE,

1954), e no estagio R2 (FEHR et al., 1971) a folha diagnostico da soja com peciolo (folhas 3 e 4 a contar do ápice). Após a coleta, as folhas foram secas em estufa de circulação forçada a  $65\pm 2^{\circ}\text{C}$  e, posteriormente, moídas para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

Antes da coleta das folhas, no período da manhã, foi realizada a leitura SPAD nas folhas diagnósticos medida com o aparelho SPAD-502 (Minolta Camera Company, 1989) e convertidas em teor de clorofila com a equação ( $\hat{y} = (0,0305 \times \exp^{(0,0545 \times \text{SPAD})}) \times 1000$ ), conforme descrito por Uddling et al. (2007) para a cultura do trigo e a equação  $\hat{y} = 16,033 + (7,5774 \times \text{SPAD})$  proposto por Fritschi e Ray (2007) para a cultura da soja. Em seguida nas mesmas folhas, foram determinadas  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e  $\text{Trmmol}$  ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) com medidor de fotossíntese (LI-6400XT; LI-COR, Lincoln, NE), A eficiência intercelular do uso de água foi definida pela relação  $A/\text{Trmmol}$ .

Os tratos culturais foram realizados conforme as indicações técnicas para as culturas do trigo e da soja (ITTT, 2013; TPS, 2013). A colheita do trigo foi realizada nos dias 31/08/15 e 12/09/16 e da soja em 11/02/2016 e 07/03/2017. Após a colheita, foi avaliado a produtividade de grãos e os componentes de produção. Nos grãos foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

De acordo com o delineamento proposto, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F. As médias das doses de B na presença de AAs foram comparadas pela análise de regressão e os tratamentos adicionais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram executadas por meio do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Produtividade e Componentes de Produção do Trigo e da Soja

A produtividade de grãos (PG) do trigo e da soja não foram influenciadas pela aplicação foliar de Zn e AAs (Tabela 4.1). A falta de resposta da adubação foliar pode estar relacionada aos níveis adequados do nutriente solo ( $4,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e corrobora Enderson et al. (2015), em estudos realizado em 42 locais, que

quando o solo apresenta teores adequados dos nutrientes, a adubação foliar não interfere na produtividade de grãos. De acordo com Fageria et al. (2000b), solos com teor de Zn disponível acima de 0,5 e 0,8 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich 1), podem ser considerados adequados para a cultura do trigo e da soja, respectivamente.

Os resultados obtidos estão de acordo com Teixeira et al. (2008), que também não observaram respostas das doses de Zn aplicadas via foliar no rendimento de grãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solo com teor adequado de Zn (2,1 mg dm<sup>-3</sup>). E diferem dos resultados obtidos por Zoz et al. (2012), que verificaram respostas da adubação foliar com Zn na PG do trigo em SPD em solo com 1,8 mg kg<sup>-1</sup> de Zn em Maripá, Estado do Paraná. Já em solos com baixos teores de Zn, Teixeira et al. (2004a) encontraram efeito da adubação foliar com Zn na PG do feijoeiro (0,5 mg dm<sup>-3</sup> de Zn) e Moreira et al. (2015a), também observaram resposta da aplicação foliar de Zn na matéria seca da alfafa (*Medicago sativa* L.) em solo com 0,3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, sendo que a dose de 4,0 mg kg<sup>-1</sup> de Zn foi suficiente para obter a produtividade máxima estimada. Já Gomez-Coronado et al. (2016), não verificaram resposta na PG do trigo nos dois anos de cultivo em solos com 0,3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

Cakmak et al. (2010) reportaram que a adubação foliar com Zn não aumentou a PG do trigo cultivado tanto em solos com teor adequado quanto em solos deficientes de Zn. O mesmo foi verificado por Zhang et al. (2012), cuja adubação foliar com Zn também não aumentou a PG do trigo. De acordo com Zou et al. (2012), a resposta do trigo para o Zn é baixa, visto que a aplicação foliar de Zn no trigo em 23 locais com teores de Zn no solo variando de 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,8; 1,3; 2,2 e 6,5 mg kg<sup>-1</sup>, a resposta na PG ocorreu em apenas três locais.

No caso dos AAs, não foi observado efeito positivo da aplicação foliar na produtividade de grãos do trigo e da soja (Tabela 4.1). Estes resultados corroboram Moreira et al. (2015a), que também não observaram efeitos significativos da aplicação foliar de AAs na matéria seca da alfafa e discordam dos resultados de Ghasemi et al. (2013), que verificaram aumento médio de 15,2% no primeiro ano e de 19,2% no segundo ano na PG do trigo, pela aplicação foliar de quelatos de Zn com AAs (Zn-AAs) em relação a adubação foliar com ZnSO<sub>4</sub>. Respostas à aplicação de produtos a base de AAs na cultura do trigo em situações adversas de clima, como o déficit hídrico foram observadas por Picolli et al. (2009) e Azimi et al. (2013). Além disso, fatores, como fertilidade do solo, horário de aplicação e idade das

plantas (FAGERIA et al., 2009) podem ter influenciado os efeitos positivos ou não da aplicação foliar de AAs.

**Tabela 4.1** - Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de Zinco (Zn) e aminoácidos (AAs).

Zn ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	AAs ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Trigo		Soja	
		2015	2016	2015/16	2016/17
0	2	2620,1	2431,7	2236,3	2895,9
1	2	2607,9	2621,7	2255,2	2607,0
2	2	2652,7	2612,6	2078,3	2704,3
4	2	2595,3	2481,0	1957,2	2757,6
8	2	2697,6	2813,3	2516,2	2675,5
Média		2634,7	2592,0	2208,6	2724,5
Teste F		ns	ns	ns	ns
CV (%)		7,4	8,1	18,0	8,6
0	0	2628,5	2725,6	2431,2	2776,6
0	2	2620,1	2431,7	2236,3	2895,9
2	0	2687,3	2754,3	2308,1	2654,5
2	1	2630,1	2683,2	2885,6	2726,2
Média		2641,5	2648,7	2465,3	2763,3
Teste F		ns	ns	ns	ns
CV (%)		8,4	7,4	16,4	7,1

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F

Em relação aos componentes de produção do trigo e da soja, também não foi observado efeito significativo da adubação foliar com Zn e AAs (Tabela 4.2). Esses resultados corroboram Gomez-Coronado et al. (2016), ao verificarem que a aplicação foliar de Zn não influenciou o peso do hectolitro (PH) do trigo e Teixeira et al. (2008), que também não observaram resposta das doses de Zn aplicadas via foliar na massa de 100 grãos do feijoeiro em solo com teor adequado de Zn. No caso da ausência de resposta das plantas aos AAs, Gazola et al. (2014) também não verificaram efeitos significativos da aplicação foliar de AAs nos componentes de produção do milho (*Zea mays* L.).

#### 4.5.2 Componentes Fisiológicos do Trigo e da Soja

Não houve efeito da aplicação foliar de Zn e AAs nos componentes fisiológicos do trigo e da soja (Tabela 4.3). Os resultados estão de acordo com Teixeira et al. (2004b), em que os teores de clorofila não foram influenciados pelas doses de Zn aplicadas via foliar e discordam de Moreira et al. (2015a), que verificaram resposta da aplicação foliar de Zn, sendo que a fotossíntese foi



positivamente correlacionada com produção de matéria seca da alfafa. Fatores, como condições climáticas podem interferir nestes resultados, como verificado por Karim et al. (2012), ao estudar os efeitos da adubação foliar no trigo em condições hídricas, verificaram em condições de campo, que a aplicação foliar de Zn aumentou significativamente os valores para SPAD, fotossíntese e condutância estomática, já a taxa de transpiração não foi influenciada. Em condições controladas, o estresse pela seca reduziu os valores da taxa de fotossíntese e transpiratória, eficiência no uso de água e condutância estomática, sendo que a aplicação foliar de Zn aumentaram significativamente essas variáveis.

**Tabela 4.2** - Massa de 1000 grãos e peso do hectolitro (PH) do trigo e massa de 100 grãos da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs).

Zn (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	Trigo				Soja	
		1000 grãos (g)		PH kg 100 L <sup>-1</sup>		100 grãos (g)	
		2015	2016	2015	2016	2015/16	2016/17
0	2	30,8	32,0	78,0	81,1	11,8	12,2
1	2	29,3	32,1	77,8	82,6	11,8	12,1
2	2	30,9	32,0	78,4	81,7	11,8	12,0
4	2	30,1	31,8	78,5	82,7	11,5	12,1
8	2	30,8	32,6	78,5	81,2	12,1	12,2
Média		30,4	32,1	78,2	81,8	11,8	12,1
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2,5	2,7	0,8	1,3	3,7	2,5
0	0	30,1	32,0	78,0	81,8	11,8	12,3
0	2	30,8	32,0	78,0	81,1	11,8	12,2
2	0	30,4	32,6	78,4	82,0	12,1	12,1
2	1	31,0	32,8	78,0	81,4	12,7	12,2
Média		30,5	32,3	78,1	81,5	12,1	12,2
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2,9	3,1	0,8	1,3	3,8	2,6

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F

Em relação aos AAs, de acordo com Taiz; Zeiger (2004), a aplicação de AAs pode aumentar a fotossíntese impulsionando o seu crescimento, uma vez que a glicina e o ácido glutâmico são metabólitos fundamentais no processo de formação de tecido vegetal e síntese de clorofila, ajudando a aumentar a concentração dessa substância na planta. A ausência de resposta contraria esta afirmação e corroboram Moreira et al. (2015a), ao verificaram ausência de efeito das aplicações de AAs na taxa fotossintética, condutância estomática, concentração de CO<sub>2</sub> e taxa de respiratória da alfafa.

**Tabela 4.3** - Leitura SPAD, Teor de clorofila, Taxa fotossintética, condutância estomática (gs), concentração de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa de transpiração (Trmmol) e eficiência de uso da água (EuH<sub>2</sub>O) do trigo (T) e da soja (S) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015/16 e 2016/17).

B (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	SPAD		Clorofila		Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		gs ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		Ci ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )		Trmmol ( $\text{mmol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		EuH <sub>2</sub> O ( $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ )	
		(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)	(T)	(S)
0	2	43,7	28,5	339,4	231,7	13,9	14,1	0,296	0,160	261,8	205,2	3,9	2,7	3,5	5,4
1	2	44,1	29,9	347,9	242,2	13,9	11,5	0,306	0,138	267,2	187,9	4,1	1,9	3,4	6,2
2	2	43,9	29,0	338,7	235,9	14,4	11,8	0,305	0,130	265,4	202,9	3,9	2,3	3,6	5,2
4	2	43,2	28,1	328,5	228,8	15,2	14,5	0,310	0,178	254,1	213,8	4,1	3,1	3,7	4,7
8	2	44,5	28,9	352,0	234,8	14,0	13,5	0,298	0,170	263,0	187,1	3,9	2,9	3,7	4,8
Média		43,9	28,9	341,3	234,7	14,3	12,6	0,303	0,155	262,3	199,4	4,0	2,5	3,6	5,2
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		3,9	5,4	9,3	5,0	10,3	13,9	13,9	23,2	3,4	12,2	8,6	24,7	6,3	16,9
0	0	44,1	30,8	348,4	249,7	15,1	12,8	0,310	0,120	259,4	177,7	4,0	1,8	3,8	7,4
0	2	43,7	28,5	339,4	231,7	13,9	14,1	0,296	0,160	261,8	205,2	3,9	2,5	3,5	5,8
2	0	43,2	29,6	330,7	240,1	13,9	13,5	0,296	0,165	264,3	206,1	4,0	2,3	3,5	6,0
2	1	43,9	30,8	349,4	249,2	14,4	12,1	0,295	0,172	260,6	210,4	4,1	2,3	3,5	5,3
Média		43,7	29,9	342,0	242,6	14,3	13,1	0,299	0,154	261,5	199,8	4,0	2,2	3,6	6,1
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		2,4	5,4	5,5	5,0	5,4	19,7	13,0	19,4	2,8	10,6	11,2	23,5	9,5	23,7

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F

#### 4.5.3 Teores de Nutrientes nas Folhas e nos Grãos do Trigo e da Soja

Não houve resposta das doses de Zn na presença de AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ) nos teores de Zn nas folhas do trigo e da soja (Tabela 4.4). Os teores adequados de Zn, situam-se em torno de  $20$  a  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  no trigo e  $20$  a  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  na soja, sendo que os sintomas de deficiência geralmente são encontrados quando os teores estão abaixo de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca (MALAVOLTA, 2006; RAIJ et al., 1997; BOARETTO et al., 2009). Logo, os teores foliares de Zn no trigo e na soja, enquadraram-se no intervalo de suficiência e esses resultados estão de acordo com os da disponibilidade do nutriente no solo.

Nos grãos de trigo, houve resposta quadrática da aplicação foliar de Zn na presença de AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ) apenas no cultivo 2016 (Tabela 4.4), em que a dose estimada para o mínimo teor de Zn nos grãos foi de  $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ . E na comparação das médias dos tratamentos, o teor de Zn nos grãos foi maior no tratamento apenas com Zn ( $2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e menor no tratamento com AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ), que não diferiu do controle e da aplicação de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn +  $1 \text{ L ha}^{-1}$  de AAs. Este resultado demonstra um efeito prejudicial da presença dos AAs ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ) nas doses de Zn no teor do nutriente nos grãos de trigo.

Os resultados corroboram Moreira et al. (2015), ao verificarem que independente do uso de AAs, os teores de Zn na matéria seca foram significativamente influenciados pelas doses de Zn, em que o rendimento máximo da alfafa ocorreu na presença de  $29,0$  e  $34,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn, respectivamente com e sem aplicação de AAs, a uma dose de Zn de  $4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ . Em contrapartida, Ghasemi et al. (2013) verificaram que as concentrações de Zn nos grãos foram maiores em plantas de trigo pulverizadas com os fertilizantes a base de quelados de Zn com AAs (Zn-AAs) em relação aquelas pulverizados com  $\text{ZnSO}_4$ .

A adubação foliar com  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn proporcionou aumento de 30% nos teores de Zn nos grãos de trigo no cultivo 2016, em relação ao controle. De acordo com Zhang et al. (2010), a aplicação foliar de Zn é o método de aplicação mais eficiente para aumentar a concentração de Zn nos grãos de trigo, podendo o incremento ser de até 3 ou 4 vezes, dependendo do solo e das condições climáticas. De acordo com Cakmak et al. (2010) e Zou et al. (2012), a adubação complementar de Zn via foliar mostrou-se eficaz no aumento da concentração de Zn nos grãos de trigo, tanto em solos com teor suficiente quanto em solos deficientes de Zn. E

Pascoalino et al. (2015), verificaram que a aplicação de Zn aumentou a concentração do nutrientes nos grãos do trigo em solo com elevado teor do nutriente, sendo que as aplicações via foliar e via solo + via foliar foram mais eficientes neste aumento.

**Tabela 4.4** - Teor médio de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas folhas e nos grãos do trigo e da soja em dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017) em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs).

Zn ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	AAs ( $\text{L ha}^{-1}$ )	Trigo				Soja			
		Folhas		Grãos		Folhas		Grãos	
		2015	2016	2015	2016	15/16	16/17	15/16	16/17
		$\text{mg kg}^{-1}$							
0	2	36,3	35,9	31,6	66,8	45,5	57,9	50,2	55,8
1	2	38,5	37,7	32,9	56,4	50,0	66,5	46,9	57,9
2	2	37,7	39,8	43,2	58,7	47,4	63,5	47,4	58,1
4	2	38,8	37,6	35,5	66,7	50,4	62,1	49,4	61,4
8	2	39,6	41,8	35,0	74,8	51,0	62,2	51,9	62,5
Média		38,2	38,5	35,7	64,7	48,9	62,4	49,1	59,1
Teste F		ns	ns	ns	(1)	ns	ns	ns	ns
CV (%)		9,0	13,0	11,8	7,6	16,2	7,8	6,6	7,6
0	0	40,2	31,6	36,5	61,7c	46,6	64,6	44,6	56,4
0	2	36,3	35,9	31,6	66,8bc	45,5	57,9	49,4	55,8
2	0	35,3	33,4	37,0	80,3a	50,0	58,5	49,2	55,7
2	1	37,7	37,4	36,7	75,0ab	48,7	56,3	48,1	55,0
Média		37,4	34,6	35,4	71,0	47,7	59,3	47,9	55,7
Teste F		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)		10,6	14,5	16,5	6,7	9,3	10,1	4,8	3,7

\*, ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. (1)  $0,40x^2 - 1,58x + 62,6$  ( $R^2=0,70$ ).

Em relação aos teores de Zn nos grãos do trigo, os valores foram diferentes nos dois anos de cultivo (Tabela 4.4), sendo que os teores nos grãos no tratamento controle foram de  $36,5 \text{ mg kg}^{-1}$  em 2015 e  $61,7 \text{ mg kg}^{-1}$  em 2016, com variação de 69%. Isso demonstra variação nos teores de Zn nos grãos de trigo em função dos anos de cultivo, sendo que a concentração de Zn nos grãos em determinados genótipos podem variar muito no mesmo local (MOREIRA et al., 2016), com efeito pronunciado das condições climáticas. E corrobora estudo realizado por Gomez-Coronado et al. (2016), em que os teores de Zn nos grãos do trigo no tratamento controle variou de 12 a  $46 \text{ mg kg}^{-1}$  em função dos cultivares e anos de cultivo, com valores de 31 a  $46 \text{ mg kg}^{-1}$  em 2010-2011 e de 12 a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  em 2012-2013.

A resposta positiva da adubação foliar nos teores de Zn nos grãos de trigo apenas no cultivo 2016 possivelmente esta relacionada às condições

climáticas, com déficit hídrico no início do florescimento do trigo (Figura 4.1). Esses resultados discordam de Zou et al. (2012), que verificaram aumento na concentração de Zn nos grãos de trigo e observaram que o efeito da adubação foliar com Zn ocorreu independente das condições ambientais e Karim et al. (2012), ao verificarem que a aplicação foliar de Zn aumentou significativamente os teores do nutriente nos grãos do trigo, independente do regime hídrico.

Não houve resposta das doses de Zn nos teores de nutrientes nas folhas e nos grãos do trigo (Tabela 4.5). Na comparação das médias dos tratamentos, houve efeito significativo nos teores de K e Fe nas folhas e Cu, Fe e Mn nos grãos do trigo, sendo que a adubação foliar com Zn e AAs proporcionaram efeito negativo nos teores de Fe nas folhas do trigo, enquanto as diferenças significativas nos teores de K nas folhas e Cu, Fe e Mn nos grãos do trigo não foram conclusivas. Diferentes dos resultados de Ghasemi et al. (2013), em que o efeito dos AAs e quelatos de Zn com AAs (Zn-AAs) aumentou a concentração de Fe nos grãos de trigo em relação ao ZnSO<sub>4</sub>. Na soja, não houve resposta da adubação foliar com Zn e AAs nos teores de nutrientes nas folhas e nos grãos (Tabela 4.6), exceto no teor de Cu nas folhas, que foi maior na dose de 2,4 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, porém, não diferiu do controle e não houve efeito significativo dos AAs.

**Tabela 4.5** - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nas folhas (F) e nos grãos (G) do trigo em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015 e 2016).

Zn (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Fe		Mn	
		(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)
		g kg <sup>-1</sup>										mg kg <sup>-1</sup>					
0	2	43,0	18,8	2,5	2,5	18,5	3,1	6,1	1,2	1,8	1,2	9,5	4,1	185,8	115,4	254,6	134,5
1	2	39,3	18,7	2,5	2,3	17,1	2,5	6,7	2,3	2,1	1,3	11,2	7,2	215,9	137,1	217,4	103,5
2	2	40,2	19,3	2,5	2,6	17,7	3,5	7,0	1,8	2,1	1,6	7,7	6,5	199,7	145,5	235,7	132,1
4	2	44,0	17,5	2,5	2,8	18,2	4,0	6,2	1,4	1,9	1,2	7,8	5,6	201,8	146,4	237,4	129,7
8	2	43,3	18,1	2,5	2,5	17,2	3,7	6,1	1,1	1,5	1,3	7,9	5,3	170,6	124,1	254,4	148,4
Média		42,0	18,5	2,5	2,5	17,7	3,4	6,4	1,6	1,9	1,3	8,8	5,7	194,8	133,7	240,0	129,6
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		7,6	10,9	7,1	9,1	3,2	22,0	9,0	17,0	6,5	9,1	21,9	27,4	7,4	16,2	8,0	8,5
0	0	41,6	16,7	2,4	2,6	16,8ab	2,9	6,0	2,0	1,8	1,3	10,1	7,2a	237,1a	175,9a	236,6	123,2b
0	2	43,0	18,8	2,5	2,5	18,5a	3,1	6,1	1,2	1,9	1,2	9,5	4,1b	185,8b	115,4b	254,6	134,5ab
2	0	40,2	18,0	2,4	2,9	15,1b	3,8	6,3	1,2	1,7	1,4	11,5	4,3b	159,6b	143,3ab	245,3	154,1a
2	1	42,5	16,5	2,5	2,8	17,5ab	3,8	6,4	1,2	1,8	1,3	8,2	5,9ab	177,5b	117,8b	254,7	147,3a
Média		41,8	17,5	2,5	2,7	17,0a	3,4	6,2	1,4	1,8	1,3	9,8	5,4	190,0	138,1	247,8	139,8
Teste F		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*
CV (%)		9,5	11,0	7,1	7,1	7,3	12,9	11,6	27,7	9,5	6,8	15,9	19,1	6,7	16,6	12,6	7,5

\*, ns significativo e não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 4.6** - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nas folhas (F) e nos grãos (G) da soja em função da aplicação foliar de zinco (Zn) e aminoácidos (AAs). Os valores são médias de dois anos de cultivo (2015/2016 e 2016/2017).

Zn (kg ha <sup>-1</sup> )	AAs (L ha <sup>-1</sup> )	N		P		K		Ca		Mg		Cu		Fe		Mn	
		(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)	(F)	(G)		
		g kg <sup>-1</sup>										mg kg <sup>-1</sup>					
0	2	52,6	48,4	3,6	5,8	21,7	15,3	8,1	4,3	3,5	2,3	8,8	25,2	261,0	160,3	193,5	90,0
1	2	49,9	48,8	3,3	5,7	21,2	14,7	9,0	4,3	3,5	2,3	12,3	23,6	260,0	142,0	179,3	88,5
2	2	53,4	48,1	3,4	5,8	21,1	15,1	8,4	4,4	3,5	2,3	10,6	24,7	288,2	150,8	198,8	86,2
4	2	48,9	48,5	3,4	5,7	21,3	15,9	8,3	4,4	3,5	2,2	14,0	25,8	307,4	162,9	192,5	92,9
8	2	51,5	48,3	3,3	5,5	22,9	15,5	7,9	4,3	3,4	2,4	10,8	24,9	252,3	148,9	177,1	88,8
Média		51,3	48,4	3,4	5,7	21,7	15,3	8,4	4,3	3,5	2,3	11,3	24,8	273,8	153,0	188,2	89,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(1)	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		10,0	3,2	5,9	2,2	7,1	4,6	6,1	5,9	6,4	6,8	18,8	9,2	17,4	5,7	10,7	11,2
0	0	50,6	46,4	3,7	5,9	22,9	15,2	8,6	4,5	3,5	2,4	13,6	23,9	260,8	157,6	186,9	86,3
0	2	52,6	48,4	3,6	5,8	21,7	15,3	8,1	4,3	3,5	2,3	8,8	25,2	261,0	160,3	193,5	90,0
2	0	50,5	49,0	3,4	5,7	22,6	15,9	8,3	4,5	3,5	2,4	12,6	27,2	269,2	162,2	193,8	83,0
2	1	59,5	50,9	3,4	5,5	21,8	15,0	7,7	4,2	3,3	2,3	9,7	25,1	256,4	146,4	199,0	90,0
Média		53,4	48,7	3,5	5,7	22,3	15,4	8,2	4,4	3,4	2,4	11,2	25,4	261,9	156,6	193,3	83,7
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		10,2	4,2	6,4	1,5	5,5	3,5	5,7	5,8	8,3	2,0	19,7	10,0	10,2	6,9	7,5	12,3

<sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. <sup>(1)</sup> -  $0,22x^2 + 1,95x + 9,12$  ( $R^2=0,68$ )

#### 4.6 CONCLUSÕES

A adubação foliar com Zn proporcionou incremento nos teores do nutriente nos grãos do trigo, em condições de baixa disponibilidade hídrica, indicando ser importante na biofortificação agrônômica, mesmo em solo com boa disponibilidade do nutriente.

A adubação foliar com Zn e AAs não influenciou os componentes fisiológicos, componentes de produção e a produtividade de grãos da sucessão trigo-soja, em solo argiloso com boa disponibilidade de Zn, não sendo indicada a sua aplicação no incremento da produtividade.



## **5 CONCLUSÕES GERAIS**

A adubação foliar com Zn incrementou os teores do nutriente nos grãos do trigo, indicando ser importante na biofortificação agronômica.

A adubação foliar com B, Zn e AAs não influenciou os componentes de produção e a produtividade de grãos do trigo e da soja, cultivado em solo argiloso com boa disponibilidade de nutrientes, não sendo indicada a sua aplicação com o objetivo de aumentar a produtividade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- ALVES, S. J. F.; PASCOALINO, J. A. L.; MORAES, M. F.; CARVALHO, J. L. V.; NEVES, P. C. F. Biofortificação com zinco em arroz de terras altas. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5, 2015, São Paulo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015a. p. 21-23.
- ALVES, S. J. F.; PASCOALINO, J. A. L.; MORAES, M. F.; ROCHA, M. M.; ORSO, G.; VILLETTI, H. L. Biofortificação agrônômica com zinco em feijão-caupi. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5, 2015, São Paulo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015b. p. 24-26.
- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. **Plant and Soil**, v.243, p. 243-252, 2002.
- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. **Annals of Botany**, v.92, p. 565-570, 2003.
- AZIMI, M. S.; DANESHIAN, J.; SAYFZADEH, S.; ZARE, S. Evaluation of Amino Acid and Salicylic Acid application on yield and growth of wheat under water deficit. **International Journal of Agriculture Crop Sciences**, v. 5, n.8, p. 816-819, 2013.
- 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.
- BETTONI, M. M.; FABBRIN, E. G. S.; OLINIK, J. R.; MÓGOR, A. F. Efeito da aplicação foliar de hidrolisado protéico sob a produtividade de cultivares de brócolis. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 179-183, 2013.
- BIELESKI, R. L.; BRIGGS, B. G. Taxonomic patterns in the distribution of polyols within the proteaceae. **Australian Journal of Botany**, v. 53, n.3, p.205-217, 2005.
- BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 49, p. 481-500, 1998.

BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; GINE, M. F.; BOARETTO, A. E. Absorption and mobility of boron in young citrus plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 39, p. 2501-2514, 2008.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. van; SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, 2009. p.59-86.

BOGIANI, J. C.; SAMPAIO, T. F.; ABREU-JUNIOR, C. H.; ROSOLEM, C. A. Boron uptake and translocation in some cotton cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.375, p. 241-253, 2014.

BORKET, C. M.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Cálculo do nível crítico de zinco trocável em solos do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. CD-ROM.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent. Evidence for phloem mobility in sorbitol rich species. **Annals of Botany**, v.77, p.497-505, 1996.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Botanica Acta**, Stuttgart, v. 111, p. 331-335, 1998.

BROWN, P. H.; SHELPS, B.J. Boron mobility in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W., eds. Boron in soil and plants: Review. Symposium. Chiang Mai. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1-2, p.85-101, 1997.

BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R. Trigo no Paraná: visão histórica, situação atual e perspectivas. In: Cunha G. R. **Trigo no Brasil Rumo ao Século XXI**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, p. 129-135.

CAKMAK, I. KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v.95, p.11-18, 1995.

CAKMAK., I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Dordrecht, v.302, n.1, p 1-17, 2008.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 87, n. 1, p. 10-20, 2010.

CAKMAK., I.; KALAYCI, M., KAYA, Y, TORUN, A. A, AYDIN, N., WANG, Y, ARISOY, Z., ERDEM, H., YAZICI, A., GOKMEN, O., OZTURK, L., HORST, W. J. Biofortification and localization of zinc in Wheat Grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.9092-9102, 2010.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W., eds. Boron in soil and

plants: Review. Symposium. Chiang Mai. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, p.71-83,1997.

CALONEGO, J.C., OCANI, K.P., OCANI, M.P.; SANTOS, C.H. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.6, n.2, p. 20-26, 2010.

CALVO, P., NELSON, L., KLOPPER, J. W. Agricultural use of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p.3-41, 2014.

CANESIN, R. C. F. S.; ISIQUE, W. D.; BUZETTI, S.; SOUZA, J. A. Derivation Method for Determining Sorbitol in Fruit Trees. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n.23, p.3457 - 3463, 2014.

CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S.; SOUZA, J. A. Redistribution of <sup>10</sup>B Absorbed by Leaves and Roots of Cashew Seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.38, p.639 - 646, 2015.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CONTE E CASTRO, A. M.; BOARETTO, A. E. Adubação foliar do feijoeiro com nutrientes, vitamina B1 e metionina. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n.1-2, p.117-121, 2001.

CASTRO, P. R. C.; GONÇALVES, M. R.; CATO, S. C. Efeitos da aplicação foliar de Codamin e de Brassinolide em feijoeiro. **Revista da Agricultura**, Piracicaba. v. 81, n. 1, p. 24-30, 2006.

CASTRO, P. R. C.; SERCILOTO, C. M.; PEREIRA, M. A.; RODRIGUES, J. L. M. **Utilização de fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ, DIBD, 2008. 71 p.

CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal: FUNEP, 2009. 42 p.

CASTRO, P. R. C; CARVALHO; M. E. A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba, 2014, 58p. (Boletim Série Produtor Rural, nº 57)

CERETTA, C. A.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S; MOREIRA, I. C. L. M; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. F. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.576-581, 2005.

CHAUDHARY, D. R.; SHUKLA, L. M. Boron adsorption and desorption in arid soils of India. **Agrochimica**, Pacini,v.48, n.3-4, p.141-152, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção relativa as safras de grãos de 1976/77 a 2015/16**. Disponível em : <

[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_o\\_bjcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=3#A_o_bjcmsconteudos)>. Acesso em: 10 de Out. 2016a.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 3 - Safra 2015/16, n. 10 – Décimo levantamento, julho 2016.** Disponível em : <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso em: 0 de Maio 2016b.

CORREIA, M. A. R.; PRADO, R. M.; COLLIER, L. S.; ROSANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Modos de aplicação de zinco na nutrição e no crescimento inicial da cultura do arroz. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 1-7, 2008.

DE BONA, F. D. de; MORI, C.; WIETHOLTER, S. **Manejo nutricional da cultura do trigo.** Encarte Técnico. Informações Agronômicas, n.154, p.1-16, 2016.  
[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/47520FE3CAA3AEF183257FE70048CC16/\\$FILE/Page1-16-154.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/47520FE3CAA3AEF183257FE70048CC16/$FILE/Page1-16-154.pdf)

DECHEN, R. A.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 327-354.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N.F.; FONTES, R. L. F; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (eds). **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DORDAS C. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n.4, p. 907- 913, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2013. 353p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2004** Disponível em:<<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

ENDERSON, J. T.; MALLARINO, A. P.; HAQ, M. U. Soybean yield response to foliar-applied micronutrients and relationships among soil and tissue test. **Agronomy Journal**, Madison, v.107, p.2143-2161, 2015.

ERENOGLU, B.; NIKOLIC, M.; RÖMHELD, V.; CAKMAK, I. Uptake and transport of foliar applied zinc (<sup>65</sup>Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 241, p. 251-257, 2002.

FAGLIARI, J.R., Aminoácidos: energia para o milho safrinha. **Revista Agrolatina.** Londrina, n.10, p.58, 2007.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 57-62, 2000a.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000b.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.32, n.6, p.1044-1064, 2009.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycyne max* L. Merril. **Crop Science**, Madison, v.11,n.6, p.929-931, 1971.

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

FRIZZONE, J. A.; OLITTA, A. F. L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento e na produção do trigo. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, n.1, p.23-36; 1990.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T. TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 929-937, 2001.

FURLANI, A. M. C.; CARVALHO, C. P.; FREITAS, J. G.; VERDIAL, M. F. V. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.359-370, 2003.

FURLANI, A. M. C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004.

GAZOLA, D. **Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura nas culturas do milho e do trigo**. 2013.103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; FONSECA, I. D. de B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.7, p.700-707, 2014.

GHASEMI, S. KHOSHGOFTARMANESH, A. H., AFYUNI, M. HADADZADEH, H. The effectiveness of foliar applications of synthesized zinc-amino acid chelates in comparison with zinc sulfate to increase yield and grain nutritional quality of wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 68–74, 2013.

GOMEZ-CORONADO, F.; POBLACIONES, M. J.; ALMEIDA, A. S.; CAKMAK, I. Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.401, p.331–346, 2016.

HASLETT, B. S. REID, R. J. RENGEL, Z. Zinc Mobility in Wheat: Uptake and Distribution of Zinc Applied to Leaves or Roots. **Annals of Botany**, v.87, p. 379–386, 2001.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, n.1-2, p. 49-58, 1997.

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.

JOSHI, A. K.; KUMARI, M.; SINGH, V. P.; REDDY, C. M.; KUMAR, S. ; RANE, J.; CHAND, R. Stay green trait: variation, inheritance and its association with spot blotch resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, Dordrecht, v. 153, n. 1, p. 59-71, 2007.

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.

KARIM M. R.; ZHANG Y. Q.; ZHAO R. R.; CHEN X. P.; ZHANG F. S.; ZOU C. Q. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, v.175, p.175, 142-151, 2012.

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Ciudad del Mexico, Mexico: Fondo de Cultura Econômica. 478p.

ITTT. **Informações Técnicas para Trigo e Triticale –safra 2014**. Londrina: Fundação Meridional, 2014. 235p.

LANTMANN, A. F.; ROESING, A. C.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Adução fosfatada e potássica para a sucessão soja-trigo em Latossolo roxo distrófico sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 44p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 15).

LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the feeks scale. **Plant Pathology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 128-129, 1954.

LEITE, V. M.; BROWN, P. H.; ROSOLEM, C. A. Boron translocation in coffee trees. **Plant and Soil**, v. 290, p. 221-229, 2007.

LIMA, S. F.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G. Resposta do feijoeiro à adução foliar de boro, molibdênio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p.462-467, 1999.

LIMA, J. C. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J.G. C.; LIRA JUNIOR, M. A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.73-79, 2007.

LIMA, M. G. S.; MENDES, C. R., NASCIMENTO, R.; LOPES, N. F.; CARVALHO, M. A. P. Avaliação bioquímica de plantas de milho pulverizadas com uréia isolada e em associação com aminoácidos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, p. 358-363, 2009.

LOUÉ, A. **Oligoéléments en Agriculture**. Antibes: SCPA-Nathan. 1993. 577p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALAVOLTA E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres. 2006. 631p.

MANTOVANI, J. P. M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.2, p.270-278, 2013

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. New York: Academic Press, 2012, 651p.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; SARKIS, J. E. S.; NEVES, J. C. L.; PUCCI, M. M. Phloem mobility of boron in two eucalypt clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1695-1704, 2009.

McDONALD, G. K., GENC, Y., GRAHAM, R. D. A simple method to evaluate genetic variation in grain zinc concentration by correcting for differences in grain yield. **Plant and Soil**, V.306, p.49-55, 2008.

MENDES, R. T.; RESENDE, R. C.; PEREIRA, M. A. M.; BENTO, R. U.; SILVA, R. C. D.; CRUZ, S. J. S.; PELÁ, A. Foliar application of urea and bell pepper amino acids. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.19, p. 1674-1678, 2016.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 859p.

MILLER, G. W.; PUSHNIK, J. C. **Iron chlorosis**. Utah Science, v.4, p.99, 1983.

MINOLTA CAMERA COMPANY. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka, 1989. 22p.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. 1062 p.

MORAES, L.A.C.; MORAES, V. H. F.; MOREIRA, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.10, p.1431-1436, 2002.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; FAGERIA, N. K. Zinc and amino-acids on the yield and nutritional state of alfalfa grown in the tropical soil. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 38, p.780-794, 2015a.



- MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; SCHROTH, G.; MANDARINO, J. M. G. Effect of Nitrogen, Row Spacing, and Plant Density on Yield, Yield Components, and Plant Physiology in Soybean – Wheat Intercropping. **Agronomy Journal**, Madison, v.107, p.2162-2170, 2015b.
- MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Yield, nutritional status and soil fertility cultivated with common bean in response to amino-acids foliar application. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.39:1-10, 2016.
- MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. ; MORETTI, L. G.; BRUNO, I. P. Bioavailability of nutrients in seeds from tropical and subtropical soybean varieties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, p. 888-898, 2016.
- PASCOALINO, J. A. L.; MORAES, M. F.; SANTOS, C. L. R.; REIS, A. R.; SCHEEREN, P. L.; FRANCO, F. A.; EVANGELISTA, A. Biofortificação agrônômica com zinco em trigo. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5., 2015, São Paulo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 18-20.
- PICOLLI, E. S.; MARCHIORO, V. S.; BELLAVER, A.; BELLAVER, A. Aplicação de produtos a base de aminoácidos na cultura do trigo. Cascavel: **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.4, p.141-148, 2009.
- PERICA, S., BELLALLOUI, N.; GREVE, C.; HU, H.; BROWN, P. H. Boron transport and soluble carbohydrate concentrations in olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.126, n.3, p.291-296, 2001a.
- PERICA, S.; BROWN, P. H.; CONNELL, J.H.; NYOMORA, A. M. S.; DORDAS, C.; HU, H. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. **HortScience**, v.36, n.4, p.714-716, 2001b.
- POWER, P. P.; WOODS, W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. (Eds). **Boron in Soils and Plants: review**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. v.193, p. 1-13.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Capes/Fundes, 2008. p. 221-240.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p.
- RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.6, n.2, p.112-121, 2013.
- REIS, C. J.; SORATTO, R. P.; BISCARO, G. A.; KULCZYNSKI, S. M.; FENANDES, D. S. Doses e modos de aplicação de boro na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão em solo de cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.4, p.258-264, 2008.

RERKASEM, B., BELL, R. W.; LOEDKAEW, S.; LONERAGAN, J. F. Boron deficiency in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.], peanut (*Arachis hypogaea* L.) and black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper]: Symptoms in seeds and differences among soybean cultivars in susceptibility to boron deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 150, p. 289 -294, 1993.

RERKASEM, B., BELL, R. W.; LODKAEW, S.; LONERGAN, J. F. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.48, p. 217-223, 1997.

RERKASEM, B.; JAMJOD, S. Boron deficiency in wheat: a review. **Field Crops Research**, v. 89, p.173-186, 2004.

RÖMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.van; ABREU, C.A., eds. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ/FAPESP/Potafos, 2001. p.71-88.

ROSS, J. R.; SLATON, N. A.; BRYE, K. R.; DELONG, R. E. Boron fertilization influences on soybean yield and leaf and seed boron concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n.1, p. 198 - 205, 2006.

ROSOLEM, C. A. **Nutrição mineral e adubação de soja**. Piracicaba: Instituto da potassa, 1980. 80p.

ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E. A adubação foliar em soja. In: BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A. **Adubação foliar**. Campinas, SP : Fundação Cargill. 1989. 500p.

ROSOLEM, C. A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1473-1478, 2007.

SEIDEL, E. P.; BASSO, W. L. Adubação foliar a base de cálcio e boro no cultivo da soja (*Glycine max*). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.11, n. 2, p. 75-81, 2012.

SÃO JOSÉ, J. F. B.; SILVA, I. R., BARROS, N. F.; NOVAIS R. F.; SILVA, E. F.; SMYTH, T. J.; LEITE, F. P.; NUNES F. N.; GEBRIM F. O. Boron mobility in eucalyptus clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1733-1744, 2009.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009, 314 p.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: Molibdênio e cobalto**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 36p.

SHENG, O., SONG, S. , PENG, S., DENG, X.. The effects of low boron on growth, gas exchange, boron concentration and distribution of 'Newhall' navel orange (*Citrus*

*sinensis* Osb.) plants grafted on two rootstocks. **Science Horticulturae**. v.121, p. 278 – 283, 2009.

SILVA, D. B.; GUERRA, A. F.; REIN, T. A.; ANJOS, J. R. N.; ALVES, R. T.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, I. A. C. **Trigo para o abastecimento familiar: do plantio à mesa**. Brasília: Embrapa-SPI, Planaltina: Embrapa-CPA, 1996. 176p.

SLEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops**. Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006. 424 p.

SIQUEIRA, O. J. F. Adubação foliar em triço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, Botucatu. **Adubação Foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. v.2, p.587-616.

SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, p.930 - 935, 2012.

STANGOULIS, J.; TATE, M.; GRAHAM, R. BUCKNALL, M.; PALMER, L.; BOUGHTON, B.; REID, R. The Mechanism of Boron Mobility in Wheat and Canola Phloem. **Plant Physiology**, v. 153, n. 2: p.876–881, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANAKA, M. T.; SENGIK, E.; SCAPIM, C. A.; SANTOS, H. S.; PINTRO, J. C. Influência de bioestimulantes orgânicos e uréia na absorção foliar de boro em couve-flor. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.22, n.4, p. 1115-1118, 2000.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ANDRADE, M. J. B., GIÚDICE, M. P. D.; CECON, P. R. Teores de clorofila em plantas de feijoeiros influenciadas pela adubação com manganês e zinco. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 147-152, 2004a.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A; FONTES, R. L. F. Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a “cerrado” soil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 77-81, 2004b.

TEIXEIRA, I. R., BORÉM, A.; SILVA, A. G.; KIKUTI, H. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 255-259, 2008.

TPS. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014**. Londina: Embrapa Soja, 2013. 265p.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; ABELARDO, D. C.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.24-29, 2006.

USDA. United States Department of Agriculture. **Production, supply and distribution online**. Disponível em: < [http:// apps.fas.usda.gov/psdonline/](http://apps.fas.usda.gov/psdonline/)>. Acesso em: 10 de Set. 2016.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J.; PIIKKI, K.; PLEIJEL, H. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Photosynthetic Research**, v.91, p.37- 46, 2007.

WILL, S., EICHERT, T., FERNÁNDEZ, V., MÖHRING, J., MÜLLER, T., RÖMHELD, V. Absorption and mobility of foliar-applied boron in soybean as affected by plant boron status and application as polyol complex. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.344, p. 283–293, 2011.

WILL, S., EICHERT, T., FERNÁNDEZ, V., MÜLLER, T., RÖMHELD, V. Boron foliar fertilization of soybean and lychee: Effects of side of application and formulation adjuvants. **Journal of Plant Nutrition Soil Science**, v.175, p. 180–188, 2012.

YAMADA, T. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas?. POTAFOS: **Informações agrônômicas**, Piracicaba, n. 90, p.1-5, 2000.

ZIMMERMANN, M. H.; ZIEGLER, H. **List of Sugar and Sugar Alcohols in Sieve-Tube Exudates**. In: ZIMMERMANN, M.H., MILBURN, J. A., eds. Encyclopedia of Plant Physiology, v. 1, Transport in Plants, I. Phloem Transport, New York, 1975. p.480-503.

ZHANG, Y. SHI, R., REZAUL, K. M., ZHANG, F., ZOU, C. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v.58, pg.12268-12274, 2010.

ZOU, C. Q.; ZHANG, Y. Q.; RASHID, A.; RAM, H.; SAVASLI, E.; ARISOY, R. Z.; ORTIZMONASTERIO, I.; SIMUNJI, S.; WANG, Z. H.; SOHU, V.; HASSAN, M.; KAYA, Y.; ONDER, O.; LUNGU, O.; YAQUB MUJAHID, M.; JOSHI, A.K.; ZELENSKIY, Y.; ZHANG, F.S.; CAKMAK, I. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 361, n. 1-2, p. 119-130, 2012.

ZOZ, T.; STEINER, F.; FEY, R.; CASTAGNARA, D. D.; SEIDE, E. P. Response of wheat to foliar application of zinc. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.784-787, 2012.

ZOZ, T.; STEINER, F.; SEIDEL, E. P; CASTAGNARA; D. D ; SOUZA, G. E. Foliar application of calcium and boron improves the Spike fertility and yield of wheat. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 32, n. 4, p. 873-880, 2016.