



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

PAULO AUGUSTO CAMPOS BASSOLI

**INTERAÇÃO CALCÁRIO E ZINCO NA SOJA E O EFEITO
RESIDUAL NO TRIGO**

Londrina
2018

PAULO AUGUSTO CAMPOS BASSOLI

**INTERAÇÃO CALCÁRIO E ZINCO NA SOJA E O EFEITO
RESIDUAL NO TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adonis Moreira

Londrina
2018

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

Bassoli, Paulo Augusto Campos.

Interação calcário e zinco na soja e o efeito residual no trigo / Paulo Augusto Campos Bassoli. - Londrina, 2018.
81 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Adonis Moreira.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, , 2018.

Inclui bibliografia.

1. Calagem - Tese. 2. Triticum aestivum - Tese. 3. Componentes de produção - Tese. 4. Componentes fisiológico - Tese. I. Moreira, Prof. Dr. Adonis. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. . III. Título.

PAULO AUGUSTO CAMPOS BASSOLI

**INTERAÇÃO CALCÁRIO E ZINCO NA SOJA E O EFEITO RESIDUAL
NO TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL
Empresa Brasileira de Pesquisa
Agropecuária – EMBRAPA SOJA

Prof. Dra Larissa Alexandra Cardoso Moraes
Empresa Brasileira de Pesquisa
Agropecuária – EMBRAPA SOJA

Dr. Elimar Voll
Empresa Brasileira de Pesquisa
Agropecuária – EMBRAPA SOJA

Londrina, 28 de fevereiro de 2018

Aos meus pais, Dércio Ocilo Bassoli e Célia de Oliveira Campos Bassoli, meus heróis, meus pilares, meus exemplos, meus amigos, meus verdadeiros amores. Aos meus irmãos Paulo Rodrigo Campos Bassoli (*in memorium* e anjo da guarda) e Paulo Eduardo Campos Bassoli responsáveis por romper todas as barreiras que outrora enfrentaria com o amadurecimento. Aos meus avós Ezequiel Ferreira Campos (*in memorium*), Alzira de Oliveira Campos (*in memorium*), Dimer Bassoli (*in memorium*) e em especial Anália Borghi Bassoli que me ensinou a amar, admirar e respeitar as plantas. Meu muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Londrina, a CAPES e a Embrapa que me deram todo o aporte e confiança para realização de todos os estudos, análises e experimentos científicos, além da bolsa de estudos.

Agradeço ao meu orientador não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade e confiança. Adônis Moreira foi o responsável pelo meu amadurecimento como Engenheiro Agrônomo e como formador de opinião. Agradeço a Deus por permitir conhecê-lo, pois além de muito querido por mim, tem meu respeito e minha enorme admiração.

À Dr. Lúcia Takahashi, que em muitas vezes foi como uma mãe para mim, me ouvindo e me orientando.

Ao Dr. Claudemir Zucarelli, por acreditar em mim, por estar sempre disposto a ensinar e compartilhar conhecimento e por sua amizade.

À Dra. Maria de Fátima Guimarães e a Dra. Marla Alessandra de Araújo pela participação na banca de qualificação.

À Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes e ao Dr. Elemar Voll, pelos ensinamentos e sugestões na melhoria da qualidade deste trabalho.

À Tatiana da Silva Manera que me apoiou durante todo esse tempo, sendo minha companheira e confidente.

Ao Dr. Luiz Henrique Campos de Almeida, que mais do que um ente, foi um grande amigo na luta e neste desafio que o mestrado é.

Ao Márcio Praxedes e ao João Machado, técnicos dos laboratórios de solos da Universidade Estadual de Londrina, pelo apoio, ajuda e paciência na realização das análises químicas.

Aos meus amigos Alex Figueiredo e Thadeu Rodrigues de Melo pelos auxílios prestados e pela amizade.

Sobretudo aos meus pais que me deram a vida.

*“Entregue o seu caminho ao
Senhor; confie nele, e ele agirá”.*

Salmos 37:5

BASSOLI, Paulo Augusto Campos. **Interação calcário e zinco na soja e o efeito residual no trigo**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

Alguns solos, quando recebem os corretivos para elevar o pH acima de 6,0 podem acarretar em deficiências de zinco (Zn) e outros nutrientes. A concentração pode diminuir 10 vezes para cada aumento na unidade de pH entre 5,0 e 7,0. O Zn atua como co-fator enzimático, sendo essencial para a atividade, regulação e estabilização da estrutura protéica, além de influenciar a síntese e conservação de auxinas, hormônios vegetais envolvidos no crescimento de plantas. Em contrapartida, efeitos benéficos da calagem no desenvolvimento das culturas são demonstrados pela elevação do pH do solo, redução do teor de alumínio (Al) trocável, elevação dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis e aumento da disponibilidade de fósforo (P) para as plantas, causando efeito direto no ganho de produção de matéria seca e de grãos. O objetivo deste trabalho foi de estudar os efeitos e as respostas da interação calcário e Zn aplicados ao Latossolo Vermelho eutroférico sobre a fertilidade do solo, estado nutricional e componentes fisiológicos e de produção da cultura de soja e com efeito residual na cultura de trigo. O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizado na Embrapa-soja de Londrina - PR. Vasos de barro com 3 litros de capacidade foram utilizados. O solo proveniente da cidade de Mauá da Serra-PR contém $674,84 \text{ g.kg}^{-1}$ de argila. Foi utilizado quatro doses de Zn (0, 5, 10, 20 mg.kg^{-1}) e duas doses de calcário (controle e elevação da saturação por base a 70%), em esquema fatorial 4 x 2 com três repetições. Os melhores resultados para número de vagens, espiguetas e grãos, peso de grãos, matéria seca e matéria seca total foram obtidos quando aplicou-se calcário junto da adubação com Zn.

Palavras-chave: Calagem. *Glycine max*. *Triticum aestivum*. Componentes de produção. Componentes fisiológicos.

BASSOLI, Paulo Augusto Campos. **Calcareous and zinc interaction in soybean and the residual effect on wheat grown**. 2018. 81 p. Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

Some soils, when given the correctives to raise the pH above 6.0 can lead to deficiencies of zinc (Zn) and other nutrients. The concentration may decrease 10-fold for each increase in pH unit between 5.0 and 7.0. Zn acts as an enzymatic cofactor, being essential for the activity, regulation and stabilization of the protein structure, besides influencing the synthesis and conservation of auxins, plant hormones involved in plant growth. On the other hand, beneficial effects of liming on crop development are demonstrated by the elevation of soil pH, reduction of exchangeable aluminum (Al), elevation of available calcium (Ca) and magnesium (Mg) contents and increased availability of phosphorus (P) for the plants, causing direct effect on the gain of dry matter and grain yield. The objective of this work was to study the effects and the responses of the limestone and Zn interaction applied to Red Eutrophic Latosol on soil fertility, nutritional status and physiological and production components of soybean crop and residual effect on wheat crop. The experiment was carried out in a greenhouse, located at Embrapa-soja in Londrina - PR. Clay vessels with 3 liters of capacity were used. Soil from the city of Mauá in Serra-PR contains 674.84 g.kg⁻¹ of clay. Four doses of Zn (0, 5, 10, 20 mg.kg⁻¹) and two doses of limestone (control and saturation increase by base at 70%) were used in a 4 x 2 factorial scheme with three replicates. The best results for number of pods, spikelets and grains, grain weight, dry matter and total dry matter were obtained when applying calcareous fertilization with Zn.

Key words: Liming. *Glycine max*. *Triticum aestivum*. Production components. Physiological components.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho eutroférico na ocasião da coleta	37
Tabela 2 – Leitura SPAD, Fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWH ₂ O) na soja	43
Tabela 3 – Leitura SPAD, Fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWH ₂ O) no trigo.....	44
Tabela 4 – Número de vagens por vaso, número de grãos por vaso, peso de grãos e vagens por vaso, peso de grãos por vaso, matéria seca por vaso, matéria seca total por vaso da cultura da soja.....	47
Tabela 5 – Número de espiguetas por vaso, número de grãos por vaso, peso de grãos e espiguetas por vaso, peso de grãos por vaso, matéria seca por vaso, matéria seca total por vaso da cultura do trigo	48
Tabela 6 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg ⁻¹), fósforo (P, g kg ⁻¹), potássio (K, g kg ⁻¹), cálcio (Ca, g kg ⁻¹), magnésio (Mg, g kg ⁻¹), ferro (Fe, mg kg ⁻¹), cobre (Cu, mg kg ⁻¹), manganês (Mn, mg kg ⁻¹) e zinco (Zn, mg kg ⁻¹) nas folhas da soja	50
Tabela 7 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg ⁻¹), fósforo (P, g kg ⁻¹), potássio (K, g kg ⁻¹), cálcio (Ca, g kg ⁻¹), magnésio (Mg, g kg ⁻¹), ferro (Fe, mg kg ⁻¹), cobre (Cu, mg kg ⁻¹), manganês (Mn, mg kg ⁻¹) e zinco (Zn, mg kg ⁻¹) nas folhas do trigo	51
Tabela 8 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg ⁻¹), fósforo (P, g kg ⁻¹), potássio (K, g kg ⁻¹), cálcio (Ca, g kg ⁻¹), magnésio (Mg, g kg ⁻¹), ferro (Fe, mg kg ⁻¹), cobre (Cu, mg kg ⁻¹), manganês (Mn, mg kg ⁻¹) e zinco (Zn, mg kg ⁻¹) no grão da soja.....	53
Tabela 9 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg ⁻¹), fósforo (P, g kg ⁻¹), potássio (K, g kg ⁻¹), cálcio (Ca, g kg ⁻¹), magnésio (Mg, g kg ⁻¹), ferro (Fe, mg kg ⁻¹), cobre (Cu, mg kg ⁻¹), manganês (Mn, mg kg ⁻¹) e zinco (Zn, mg kg ⁻¹) nos grãos do trigo.....	55

Tabela 10 – Média das leituras de pH (H ₂ O), Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³), H ⁺ + Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³), fósforo (mg dm ⁻³), potássio (mg dm ⁻³), cálcio (cmolc dm ⁻³), magnésio (cmolc dm ⁻³), ferro (mg dm ⁻³), cobre (mg dm ⁻³), manganês (mg dm ⁻³), zinco (mg dm ⁻³) e carbono orgânico (g kg ⁻¹) após o cultivo da soja.....	57
Tabela 11 – Média das leituras de pH (H ₂ O), Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³), H ⁺ + Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³), fósforo (mg dm ⁻³), potássio (mg dm ⁻³), cálcio (cmolc dm ⁻³), magnésio (cmolc dm ⁻³), ferro (mg dm ⁻³), cobre (mg dm ⁻³), manganês (mg dm ⁻³), zinco (mg dm ⁻³) e carbono orgânico (g kg ⁻¹) após o cultivo do trigo	58
Tabela 12 – Média das medidas de diâmetro de peneira (mm).	59
Tabela 13 – Massa de 100 grãos da soja e 1000 grãos do trigo	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	CULTURA DA SOJA.....	15
2.1.1	Aspectos Gerais.....	15
2.1.2	Importância Econômica	17
2.1.3	Exigências Nutricionais.....	19
2.2	TRIGO.....	21
2.2.1	Aspectos Gerais.....	21
2.2.2	Importância Econômica	23
2.2.3	Exigências Nutricionais.....	25
3	CALAGEM	27
4	ZINCO NO SOLO E NA PLANTA	29
5	INTERAÇÃO CALCÁRIO E ZINCO	33
6	OBJETIVOS	36
7	MATERIAL E MÉTODOS	37
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
8.1	COMPONENTES FISIOLÓGICOS DA SOJA E DO TRIGO	43
8.1.1	Produtividade e Componentes de Produção da Soja e do Trigo	45
8.1.2	Teores de Nutrientes nas Folhas da Soja e do Trigo	48
8.1.3	Teores de Nutrientes nos Grãos da Soja e do Trigo	52
8.1.4	Análise Química do Solo Após o Cultivo da Soja e Após o Cultivo do Trigo	55
8.1.5	Produtividade da Soja e do Trigo.....	59
9	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICES	79
	APÊNDICE A – Cultivo da soja.....	80
	APÊNDICE B – Cultivo do Trigo.....	81

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas, e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. O aumento da sua produtividade e área plantada está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores. Os grãos são componentes essenciais na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana (BRASIL, 2013).

O grande incremento na produção de soja pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais merecem destaque o elevado teor de óleo (em torno de 20%) e proteínas (em torno de 40%), ambos de excelente qualidade encontrado nos grãos. A soja é uma 'commodity' e pode ser produzida e negociada por produtores de diversos países, apresentando alta liquidez e demanda, sobretudo nas últimas décadas, houve expressivo aumento da oferta de tecnologias de produção, que permitiram ampliar significativamente a área cultivada e a produtividade da oleaginosa (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010).

Na última década, o Brasil vem se destacando como grande fornecedor de matéria prima para suprir a demanda mundial. A cultura da soja assume grande valor social e econômico, devido à importância de seus produtos, o que resulta em uma considerável geração de empregos nos diversos setores da economia (EMBRAPA, 2006), bem como o trigo (*Triticum aestivum* L.), que pode atuar na sucessão de cultura como uma alternativa.

O trigo é considerado o principal componente da dieta alimentar na maioria dos países, desempenhando importante papel econômico e nutricional (EMBRAPA, 2014). No Brasil, os maiores produtores de trigo estão na região Sul. Atualmente o Paraná é o maior produtor, seguido dos estados Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Esses três estados respondem por 90% da produção brasileira de grãos de trigo no país. No entanto, por exemplo, no ano de 2009, o Brasil participou com apenas 0,7% da produção mundial. A produção nacional do trigo em 2011 foi de 6 milhões de toneladas, não sendo suficiente para a demanda interna desse ano, (FAOSTAT, 2012). A espécie de destaque é o *Triticum aestivum* L. que participa com 90% da produção mundial e é usado na elaboração de pães; o restante da produção está distribuído em outras espécies como o *Triticum durum*.

No passado, o trigo foi a cultura responsável pela introdução de tecnologias que permitiram a incorporação de áreas de campo, dedicadas à pecuária extensiva, na produção de grãos. Sem a fase pioneira do trigo, a área com soja não teria crescido tão rapidamente.

O crescimento da população, principalmente nos centros urbanos, gera uma necessidade crescente por alimentos, que são supridos por produtos básicos provenientes da agricultura que passa por uma fase em que a produtividade, eficiência, lucratividade e sustentabilidade dos processos produtivos são aspectos da maior relevância. Nesse contexto, os micronutrientes, cuja importância é conhecida há décadas, apenas recentemente passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações em várias regiões e para as mais diversas condições de solo, clima e culturas no Brasil. Um dos aspectos mais limitantes na tomada de decisão sobre o uso eficiente de nutrientes na agricultura brasileira é a calibração dos métodos de análises de solo e foliar (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Portanto, o conhecimento da dinâmica dos nutrientes é um fator importante para o adequado desenvolvimento das culturas.

A estas informações deve-se associar o conhecimento das fontes de nutrientes, das características, comportamento no solo e na planta para então poder recomendar através de uma análise de solo, uma calagem ou adubação, procurando obter o máximo rendimento econômico.

Os principais motivos que despertaram o maior interesse pela utilização de fertilizantes que contém micronutrientes no Brasil foram: (i) o início da ocupação da região dos cerrados, formada por solos naturalmente deficientes em micronutrientes, por natureza; (ii) aumento da produtividade de inúmeras culturas com maior remoção e exportação de todos os nutrientes; (iii) incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas, acelerando o aparecimento de deficiências induzidas; (iv) aumento de produção e de preferências de utilização de fertilizantes NPK de alta concentração, reduzindo o conteúdo incidental de micronutrientes nesses produtos, e (v) aprimoramento das análises de solos e foliares como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes. As deficiências de micronutrientes em plantas têm importância crescente; cultivares altamente produtivos têm sido extensivamente cultivados com adubações pesadas de formulados a base de N-P-K, o que resulta em deficiências de micronutrientes em muitos países (CAKMAK, 2002).

A correção da acidez do solo com calcário é uma prática agrícola que visa modificar o pH dos solos considerados ácidos para maioria das culturas (pH em H₂O < 5,5), elevando-o a uma faixa ótima (que varia 5,5 e 6,5, para a maioria das culturas). Com a elevação do pH ocorre a correção dos teores de alumínio (Al) e manganês (Mn) que, em grandes concentrações, são tóxicos à planta. Existe também a liberação de sítios de troca de cátions, bem como a criação de novos sítios e carga variável na superfície da fração coloidal do solo devido à troca de Al³⁺ e H⁺ dissociado por cátions básicos. São fornecidos Ca e Mg à planta, o que em conjunto com a diminuição dos teores tóxicos de Al³⁺, promove um melhor desenvolvimento radicular, aumentando a resistência de plantas a períodos de déficits hídrico e melhoria na absorção de nutrientes, como o P (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A disponibilidade de nutrientes à planta é alterada com a correção da acidez do solo. Há uma redução na disponibilidade de cátions de reação ácida o que pode acarretar deficiência de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) tanto pela precipitação dos mesmos, quanto pela maior adsorção na fração coloidal mineral e orgânica do solo. A deficiência de micronutrientes catiônicos pode ser induzida devido à diminuição da disponibilidade em solos com baixos teores naturais devido à absorção e exportação pelas plantas e/ou por correção da acidez mal executada, seja pelo uso de excesso de corretivo ou falha na sua incorporação ao solo (CRUZ NETO, 2012).

Importante no processo do crescimento e desenvolvimento das plantas, pois participa de processos metabólicos como componente de várias enzimas, tais como: desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrogenases, o Zn é um dos micronutrientes cuja deficiência é relativamente comum. Além da pobreza natural dos solos, há a adsorção pelos hidróxidos de Fe e de Al, bem como o problema de diminuição na disponibilidade com o aumento de pH, pois a calagem, cuja a finalidade é melhorar o aproveitamento de alguns nutrientes, pode acarretar problemas de deficiência de outros, tais como Cu, Fe, Mn e Zn.

A deficiência do Zn é bastante comum em solos arenosos, ácidos e lixiviados, ou solos neutros e alcalinos, ou ainda, em solos em que foi feita adubação fosfatada, devido à interação negativa do P e Zn.

O Zn é um dos elementos que as plantas necessitam para crescer e produzir. É um micronutriente, sendo exigido em quantidades menores que outros

elementos, porém essencial, sendo um dos primeiros micronutrientes reconhecidos como tal. Embora exigido em pequenas quantidades, altas colheitas são impossíveis sem a sua presença. Muito do Zn disponível do solo está associado à matéria orgânica na superfície do solo. Um dos primeiros indicadores da deficiência de Zn é o crescimento raquítico das plantas, resultado da diminuição dos reguladores de crescimento.

Baixos teores de Zn no solo podem limitar a produção de grãos e de biomassa; sendo assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência de doses de Zn em Latossolo Vermelho distroférico sobre a produtividade, componentes de produção, atributos químicos do solo, estado nutricional, eficiência do uso do nutriente, cátions hidrossolúveis na matéria seca da parte aérea (MSPA), balanço de íons no complexo de troca de cátions (CTC), teor de açúcares solúveis e aspectos fisiológicos (fotossíntese, concentração intercelular de CO_2 , transpiração e condutância estomática na cultura da soja e a cultura do trigo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

2.1.1 Aspectos Gerais

A soja surgiu, como uma espécie domesticada, nos planaltos do norte da China no século 11 d. C. e a seguir foi introduzida na Manchúria e espalhou-se pelo oriente. Seu cultivo é muito antigo. Alguns relatos revelam que os plantios de soja remontam a 2838 anos a.C, na China, sendo muitos desses escritos numa língua ainda arcaica. Na cultura chinesa daquele período, algumas plantas eram consideradas sagradas, dentre elas a soja. Por séculos, a cultura permaneceu restrita ao oriente, só sendo introduzida no ocidente, pela Europa, por volta do século XV, não com finalidade de alimentação, como acontecia na China e Japão, mas de ornamentação, como na Inglaterra, França e Alemanha (CISOJA, 2017)

As primeiras tentativas de produção de soja na Europa fracassaram, provavelmente, devido a fatores climáticos, ausência de conhecimento sobre a cultura e suas exigências. Os norte-americanos foram os que, entre o fim do século XIX e início do século XX, conseguiram desenvolver o cultivo comercial da soja e a expansão do seu cultivo (CISOJA, 2017).

A soja foi introduzida no Brasil em 1882 por Gustavo Dutra, então professor da Escola de Agronomia da Bahia que realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares. Em 1891, testes de adaptação de cultivares semelhantes aos conduzidos por Dutra na Bahia foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo (SP). Assim como nos EUA, a soja no Brasil dessa época era estudada mais como cultura forrageira, eventualmente também produzindo grãos para consumo de animais da propriedade, do que como planta produtora de grãos para a indústria de farelos e óleos vegetais (EMBRAPA, 2012).

Seu cultivo de forma comercial teve início no Rio Grande do Sul, por volta de 1935, cuja principal finalidade era para alimentação de suínos. A primeira exportação de soja brasileira ocorreu em 1938, para a Alemanha. Em 1941, a soja constava pela primeira vez nas estatísticas do Rio Grande do Sul, com uma área de 702 hectares. A partir desta época expandiu-se para os estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Bahia, Tocantins e demais

estados do norte e nordeste (SEDIYAMA et al., 1997).

Com o estabelecimento do programa oficial de incentivo à triticultura nacional, em meados dos anos 50, a cultura da soja foi igualmente incentivada, por ser, desde o ponto de vista técnico, quanto econômico, a melhor alternativa de verão para suceder o trigo cultivado no inverno (EMBRAPA, 2012).

Mesmo com o crescimento significativo da produção de soja no decorrer dos anos 1960, foi na década seguinte que a cultura se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhões de toneladas em 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979. Esse crescimento deve-se, não apenas ao aumento da área de plantio de soja, que saltou de 1,3 para 8,8 milhões de hectares, mas, também, ao expressivo incremento da produtividade, aumentou de 1,14 t/há⁻¹ para 1,73 t/ha⁻¹, graças ao desenvolvimento de novas tecnologias disponibilizadas aos produtores de soja pela pesquisa brasileira (BRASIL, 2012).

Aproximadamente 90% dos grãos consumidos são direcionados ao processo de esmagamento, que irá gerar farelo e óleo de soja, em uma proporção próxima a (80/20), sem considerar as perdas. Assim, o principal produto gerado nesse processo será o farelo de soja, que, junto com o milho, constituirá matéria-prima essencial para a fabricação de rações (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010).

O setor de máquinas e implementos agrícolas também avançou de forma expressiva nesse período, promovendo a modernização e aperfeiçoamento das operações de cultivo, tornando-as mais eficientes. Além disso, a adoção de biotecnologia, com sementes transgênicas de soja resistente ao herbicida Glifosato, já atinge mais de 70% da área cultivada com soja no Brasil (VENCATO et al., 2010).

Avanços científicos em tecnologias para manejo de solos, com técnicas de correção da acidez, o processo de inoculação das sementes para fixação biológica do nitrogênio e a adubação balanceada, com macronutrientes e micronutrientes, permitiram a cultura expressar a sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro. (FREITAS, 2011).

O Brasil é o país que apresenta a maior potencialidade de multiplicar sua atual produção, comparado aos demais grandes produtores mundiais, tanto pelo aumento da produtividade, quanto pelo potencial de expansão da área cultivada. Na safra 2016/2017 a produção de soja atingiu 113.923 milhões de toneladas (CONAB,

2017), superando a previsão de 100 milhões para é 2020, conforme citou Vencato et al. (2010).

O cenário otimista de um país que tem para onde e como crescer a sua produção, projeta um salto produtivo na cultura de mais de 40% até 2020, enquanto que nos Estados Unidos, atualmente o maior produtor mundial, o crescimento no mesmo período deverá ser no máximo de 15%. Com essa projeção, o Brasil será isoladamente o maior produtor mundial dessa commodity (VENCATO et al., 2010).

2.1.2 Importância Econômica

A produção de soja no Brasil se permitiu por três fatores: em primeiro lugar, o principal produto de exportação agrícola até então vigente na década de 1950, o café, apresentava um declínio de produção e comercialização no mercado mundial. Em segundo, o trigo era a principal cultura do Sul do Brasil, e a soja surgia como uma opção de verão em sucessão nestas épocas do ano. E, por fim, nos anos 1960, o Brasil iniciava um esforço para a produção de suínos e aves, o que gerou maior demanda por farelo de soja para ser usado como base da alimentação dos animais (SECEX, 2002).

Com isso, o cultivo do grão no Brasil tomou proporções mundiais e iniciou-se, a partir de então, uma corrida pela expansão dos mercados e aumento das exportações, gerando incremento da produção agrícola com novas tecnologias e ampliação das pesquisas no setor. Assim, os produtos do complexo soja (grão, farelo, óleo bruto, óleo refinado e outros óleos), assumem grande relevância quanto à geração de divisas para o Brasil (SOUSA; MARGARIDO, 1998).

Segundo Brum et al. (2005), a soja foi uma das principais responsáveis pela introdução do conceito de agronegócio no país, não só pelo seu valor econômico, mas também pela necessidade empresarial de administração da atividade por parte dos produtores, fornecedores de insumos, processadores da matéria-prima e negociantes.

Além disso, tem contribuído para a aceleração da urbanização do país e interiorização da população brasileira (excessivamente concentrada no Sul, Sudeste e litoral) à medida que sua fronteira de produção vai se expandindo, favorecendo a expansão do progresso e do desenvolvimento em regiões menos

valorizadas. Isto faz ampliar cidades do meio rural e transformar pequenos conglomerados urbanos, gerando novos mercados consumidores e, contribuindo, de certa forma, para o desenvolvimento da sociedade, assim como impulsiona e interioriza, também, a agroindústria nacional, favorecendo o deslanche de outras atividades como a avicultura e a suinocultura brasileiras.

Hoje o complexo soja é um dos atores principais na balança comercial brasileira. Isso posto, em paralelo com o aumento da demanda desse grão e seus produtos, observam-se consecutivos crescimentos na produção de soja e, conseqüentemente, incrementos nos valores aportados para essa cultura (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017).

Em 2017, a agropecuária brasileira cumpriu a vocação e sustentou a economia do país. A agropecuária responde por 5,3% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, no entanto, o setor respondeu por 0,7% do valor adicionado ao PIB, que foi de 0,9%. Segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a agropecuária foi responsável por 70% do crescimento de 1% (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017).

Deste modo, o papel fundamental desempenhado pelo setor faz com que a sua performance esteja atrelado ao comportamento econômico nacional, que pode ser resultado de programas de melhoria da produtividade, adaptação à tecnologia, eficiência na comercialização de produtos e estímulos de políticas agrícolas definidas além de ser entendido como a soma dos setores produtivos com os de processamento do produto final e os de fabricação de insumos, responde por quase um terço do PIB do Brasil e por valor semelhante das exportações totais do país. Alguns indicadores mostram a importância da soja para o Brasil, como a produtividade crescente, as divisas geradas pelas exportações do produto e o emprego resultante do cultivo da soja (GUANZIROLI, 2006).

A lavoura de soja tem sido a protagonista no aumento da área e produção de grãos no país. Sua maior liquidez e a possibilidade de melhor rentabilidade em relação a outras culturas fazem com que os produtores se sintam estimulados a continuar apostando na cultura. No Brasil, a área plantada corresponde a aproximadamente 35.022,8 mil hectares com uma produção total de 111,5 milhões de toneladas na safra de 2016/2017, representando aumentos de 3,3% em área plantada em relação à safra de 2015/2016 (CONAB, 2017).

A indústria nacional transforma, por ano, cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja, produzindo 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, contribuindo para a competitividade nacional na produção de carnes, ovos e leite. Além disso, a soja e o farelo de soja brasileiro possuem alto teor de proteína e padrão de qualidade Premium, o que permite sua entrada em mercados extremamente exigentes como os da União Europeia e do Japão (BRASIL, 2013).

A transformação industrial dos grãos da soja possibilita a obtenção do óleo, da torta (resíduo da trituração dos grãos) e de farinha, e a partir destes a obtenção de produtos como: lecitina de soja, óleo alimentício, margarina, gorduras emulsionadas, leite de soja, queijo de soja, molho de soja e as proteínas vegetais texturadas (PVT) que são bastante utilizadas em substituição da carne (BERTRAND; LAURENT; LECLERCQ, 1987). Outros usos da soja têm sido revelados no campo da medicina (combate ao alcoolismo, tratamentos de câncer de mama e próstata), e na produção de tintas, colas e protetores solares (PINHO, 2004).

Segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, o Brasil exportou 1,35 milhão de toneladas de farelo de soja em fevereiro deste ano. O volume foi 90,5% maior que o embarcado no mesmo período de 2017. A expectativa é de que o Brasil embarque 16,20 milhões de toneladas do alimento concentrado em 2018. Este volume é 13,3% maior que as 14,30 milhões de toneladas exportadas em 2017. Já em 2019 o Brasil pode virar líder mundial em produção de soja. A área de plantio no Brasil, dependendo da margem de ganho do produtor neste ano, poderá subir em até 1 milhão de hectares, para 36 milhões em 2018/19. Mantida a produtividade média do país, a safra iria para 120 milhões de toneladas, ultrapassando os Estados Unidos, que segundo a USDA, a área de plantio não teria grandes mudanças, e a produção ficaria em 116,7 milhões de toneladas (CNA, 2018).

2.1.3 Exigências Nutricionais

A absorção de nutrientes pela soja, medida pela quantidade acumulada nas folhas e caules da planta, é crescente até atingir um ponto de máximo acúmulo. A partir daí, o acúmulo é decrescente, devido à translocação dos nutrientes para os grãos em formação (CORDEIRO et al., 1979). Segundo Sfredo

(2008), há um período de maior velocidade de absorção, correspondendo ao ponto de inflexão da curva, que corresponde ao início da floração das plantas. Esse período, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo, compreendido da floração ao enchimento das vagens, constitui o “período crítico” da cultura, em que fatores adversos como déficit hídrico (estiagem), carência nutricional, ataque de pragas e doenças podem reduzir drasticamente a produção de grãos.

O N é o elemento mais extraído pela planta de soja (pela fixação biológica), seguido do K, Ca, Mg, P, e S. A escassez de N pode causar amarelecimento e queda prematura das folhas, crescimento reduzido e diminuição do número de vagens; já a falta de fósforo pode influenciar na ramificação e provocar clorose e a falta de K pode levar à diminuição da fertilidade das vagens e florescimento limitado; a escassez de Ca pode provocar redução de raízes, vagens pequenas e sem grãos. No caso de falta de Mg pode haver diminuição do tamanho da planta, redução do número de vagens e clorose internerval e no caso de escassez de enxofre pontas das folhas secas e com pontuações de necrose (MATHAN, 1995).

Em relação aos micronutrientes, plantas de soja deficientes em Cu mostram menor síntese de proteínas e diminuição na atividade fotossintética, uma vez que este nutriente é ativador de enzimas que participam do transporte eletrônico terminal da respiração e da fotossíntese (plastocianina). Na carência de Fe, há menos RNA e síntese de proteína, pois há uma proteína ribossômica que contém Fe na sua molécula. O Co é essencial para a fixação do N₂ através de bactérias, pois participa na síntese de cobamida e da leghemoglobina. Os nódulos com o rizóbio necessitam de Co para sintetizar a vitamina B₁₂, como a enzima cobamida. Portanto, deficiência de Co pode ocasionar deficiência de nitrogênio na soja, devido à baixa fixação simbiótica. O Zn na síntese do triptofano, a ausência deste elemento diminui a síntese do AIA e, por isso, as células ficam menores, sua deficiência diminui o nível de RNA, prejudicando a síntese das proteínas, através da RNAase que hidrolisa o RNA (SFREDO, 2008).

2.2 TRIGO

2.2.1 Aspectos Gerais

O trigo é uma das culturas de maior expansão mundial, possuindo milhares de cultivares disponíveis em todo mundo. A domesticação ocorreu nas lavouras primitivas do Sudeste da Ásia de 7000 a 9000 a.C. e foi introduzido na Índia, na China e na Europa desde cinco mil anos a.C. (BRAMMER, 2000; MORAES-FERNANDES et al., 2000).

Essa cultura foi responsável pelo surgimento da agricultura e também pela sobrevivência do *Homo sapiens* na região do Crescente Fértil, que compreende a porção africana ao Norte do Vale do Nilo e a parcela asiática, na Mesopotâmia, dos rios Tigre e Eufrates, hoje Iraque e Kuwait e o corredor sírio-palestiniano, agora Líbano, Jordânia, Israel, Síria e Palestina (RAE, 2008).

A domesticação do trigo selvagem foi um processo que modificou drasticamente esta espécie. A planta de trigo foi sem dúvida uma das primeiras espécies a ser cultivada. Existem diversas espécies diferenciadas de trigo silvestres ou cultivadas, porém atualmente apenas duas apresentam grande importância econômica, o trigo comum *Triticum aestivum* sin. *Triticum vulgare*, e o trigo duro, *T. turgidum* var. *durum* (ROSSI; NEVES, 2004; PIANA; CARVALHO, 2008; BRAMMER et al., 2001).

No Brasil, o cultivo do trigo teria sido um dos primeiros introduzidos pelos colonizadores europeus no Novo Mundo. Segundo registros históricos, em 1534, Martim Afonso de Sousa teria trazido as primeiras sementes de trigo, que foram plantadas na Capitania de São Vicente. Posteriormente, a cultura foi difundida por todas as capitanias, chegando inclusive até a Ilha de Marajó. Entretanto, o trigo precisou esperar um longo tempo para se adaptar às condições climáticas no Brasil. Em 1737, a cultura foi introduzida no Rio Grande do Sul por colonos portugueses da Ilha dos Açores e adquiriu expressão nas duas décadas iniciais do século XVIII. Contudo, em 1822, o trigo praticamente deixou de existir como cultivo econômico devido ao aparecimento da ferrugem, uma doença foliar. No início do século XX, a cultura reapareceu com incentivos do governo para o plantio e pesquisa, sendo que a partir de 1940 a triticultura começou em moldes empresariais (COLLE, 1988).

Pode-se destacar duas peculiaridades da presença do trigo no Brasil: A primeira diz respeito ao pioneirismo da cultura no país em relação aos Estados Unidos, Argentina e Uruguai. O Brasil foi o primeiro país das Américas a exportá-lo, principalmente graças às lavouras cultivadas em São Paulo e Rio Grande do Sul. A segunda característica marcante do trigo no país foi a longa e intensa atuação governamental com o objetivo de expandir a produção nacional de modo a reduzir a dependência das importações e abastecer as áreas consumidoras. Essa intervenção começou ainda no século XIX e teve seu ápice a partir da promulgação do Decreto-Lei nº 210, de fevereiro de 1967, com a criação do monopólio estatal na comercialização do trigo. Como principais vantagens dessa atuação estatal no setor tritícola, podem-se citar o aumento da produção interna do cereal com geração de renda e emprego e a introdução dos derivados de trigo na dieta diária de várias regiões do país, com menor disponibilidade de renda, como Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Esse longo período de intervenção na comercialização do trigo de 23 anos trouxe um acúmulo de problemas que acarretou por levar à extinção do monopólio estatal em novembro de 1990, com a Lei nº 8.096. Por coincidência, com a extinção da política tritícola estatal ocorreu o estabelecimento do MERCOSUL, fato que trouxe concorrência para a cadeia produtiva do trigo no Brasil, em vista das vantagens comparativas da Argentina no cultivo deste cereal (MENDES, 1994).

O setor tem buscado equilibrar a oferta e a demanda. Nesta busca de adequação, a área oscilou de um milhão de hectares, em 1995, até 2,7 milhões, em 2004, e fechando 2012 em 1,9 milhão. Apesar da redução de área, a tecnologia empregada tem contribuído significativamente para gerar maiores produtividades e, proporcionalmente, maiores produções. Em 2003, a produção brasileira chegou próxima ao recorde do período de compras estatizadas do trigo, de 6,12 milhões de toneladas. (GODINHO, 2013).

O Brasil possui uma área próxima a 59 milhões de hectares cultivada. Em 2 milhões de hectares são cultivados trigo (CONAB, 2016). A produção nacional de trigo, safra 2015/2016, chegou a alcançar o quantitativo de 5.534,9 mil toneladas, considerada uma safra regular, considerando-se a história de plantio da cultura no Brasil. A média da produção dos últimos cinco anos foi de 5.440,4 mil toneladas, todavia aspectos climáticos influenciam a volatilidade da produtividade do plantio (CONAB, 2017).

O trigo abriu caminho à modernização da agricultura, principalmente via produção de soja, a qual ocupou as áreas de trigo cultivado nos meses de maio a novembro, que ficavam ociosas durante o verão (novembro a abril) (TOMASINI, 1985).

2.2.2 Importância Econômica

A cultura do trigo alimenta toda a humanidade e está presente em praticamente todos os alimentos que consumimos, é fonte de carboidratos, proteínas, sais e minerais. A espécie dispersou-se pelo mundo tornando-se o principal cereal cultivado (PIANA; CARVALHO, 2008).

Dos grãos de trigo é extraída a farinha que pode ser utilizada para o preparo de diversos tipos de alimentos como pães, massas alimentícias, bolos, biscoitos, entre outros. Os derivados de trigo continuarão a ser fundamentais para a alimentação e dificilmente a humanidade encontrará outro alimento semelhante, com qualidade e preço competitivo, que o substitua.

A produção de trigo no país concentra-se na região Sul, sendo o Paraná e Rio Grande do Sul os principais produtores. O Paraná produziu na atual safra, 2016/17, 54,2% da produção nacional e o Rio Grande do Sul 31,3%. Esses dois estados respondem por 85,5% da produção nacional (BRASIL, 2017).

O consumo brasileiro de trigo vem aumentando, porém, como não há produção excedente no Brasil, nossos estoques são baixos, ficando restritos ao trigo de menor qualidade que não teve compradores no mercado local. Nos últimos anos, com o mercado externo adquirindo este trigo, os estoques estão cada vez menores. Atualmente o mercado de trigo mundial já apresenta forte escassez, talvez a maior dos últimos 15 anos (GODINHO, 2013).

Os maiores produtores mundiais são a China, a Comunidade Europeia, a Índia e a Rússia, que representam 64% do total mundial produzido. Na América do Sul a Argentina é o maior produtor de trigo e está em 5º lugar na lista dos maiores exportadores mundiais, produz em média 12 milhões de toneladas anuais (EMBRAPA, 2011).

Apesar de aquém da autossuficiência, o trigo nacional tem se mostrado de pouca liquidez para o produtor, muito em virtude de a produção nacional estar fortemente localizada no sul do Brasil e ter forte concorrência do trigo

proveniente do Mercosul, mais precisamente da Argentina e Uruguai, com uma melhor qualidade do que o trigo brasileiro (GODINHO, 2013).

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estimou que, no mundo, a área cultivada no ano-safra 2016/17 com arroz, milho, soja e trigo é de 683,7 milhões de hectares, 0,7% acima da última estimativa. Desse total, a área de trigo equivale a 32,3%. Em se tratando da produção mundial, estima um volume colhido de 2,8 bilhões de toneladas, sendo 36,6% de milho e 26,5% de trigo. O arroz em casca vem a seguir, com 25,2%, e depois a soja, com 11,8%. O Brasil se destaca com uma produção que equivale a 6,43% do total mundial. A produção de trigo no mundo, ocupa uma área de 220,8 milhões de hectares em 2016/17 contra 224,7 milhões em 2015/16, ou seja, 1,79% menor. No Mercosul, são cultivados atualmente 7,81 milhões de hectares, sendo 1,8% menor que a de 2015/16, quando foram cultivadas 7,67 milhões de hectares. A área mercosulina representa atualmente 3,4% da área global de trigo. A produção de trigo no Brasil na safra 2016/17 foi estimada pela Conab em 6,16 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Entre 2000 e 2015, o Brasil importou 98,6 milhões de toneladas de trigo em grão, totalizando gastos de US\$ 20,9 bilhões, perfazendo, ao câmbio atual de R\$ 3,27, o valor de R\$ 68,3 bilhões. A Argentina participou com 72,7 milhões de toneladas, ou seja, 73,7% do total. O valor médio unitário de importação no período foi de US\$ 212,49 por tonelada; em 2015, de US\$ 235,27/t; e em 2014, US\$ 313,40. O somatório do valor total das importações no período de 2000 a 2015 equivale a 26,0% das reservas internacionais do país em 2016 (CONAB, 2017).

De forma distinta de nossas importações que são originárias de poucos países, as exportações do Brasil de grão de trigo e farinha são bem pulverizadas. Os principais destinos do trigo têm sido países da África e da Ásia, além dos Estados Unidos. Quanto à farinha, os principais importadores do produto brasileiro são Bolívia, Paraguai e Angola. No caso das exportações brasileiras de pré-mistura, tem-se um grande número de destinos e a diversificação de mercados. Nos últimos anos, as exportações de pré-mistura foram destinadas a 58 países, com destaque para os países do Mercosul, Bolívia, Chile, Angola e EUA. Desde 2003, as exportações de pré-mistura têm sido crescente (CONAB, 2013), 2,5 milhões de toneladas em 2010, 1,9 milhão em 2011, 1,6 milhão de toneladas em 2012 e apenas 47,4 mil toneladas em 2013. Já em 2014, as exportações foram novamente de 1,6 milhão de toneladas (CONAB, 2017).

A produção mundial de trigo teve perda de 37,2 milhões de toneladas em 2010/11, recuperou 46,2 milhões em 2011/12 e perdeu, novamente, 37,9 milhões de toneladas em 2012/13, voltando a produzir 56,9 milhões de toneladas a mais em 2013/14. Em 2014/15, a produção elevouse para 727,9 milhões na safra 2015/16, expandiu para 734,6 milhões e, em 2016/17, alcançou 743,4 milhões de toneladas, estabelecendo recorde histórico (CONAB 2017).

2.2.3 Exigências Nutricionais

Existem vários os elementos minerais essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta de trigo. Considera-se que os elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) normalmente são os nutrientes que mais limitam a produtividade da cultura. O N é destacado como o mais limitante na produtividade, por possuir influência direta nos componentes do rendimento, como o número e tamanho de espigas e massa de grãos. Possui papel fundamental na constituição de biomoléculas e inúmeras enzimas, e constitui os amidos, ácidos nucleicos, nucleotídeos, ATP (adenosina trifosfato), NADH, clorofilas e proteínas. Este elemento está relacionado ao crescimento e rendimento das culturas, tendo participação importante na molécula de clorofila, que exerce funções regulatórias das reações de síntese, sendo que a escassez de N afeta diretamente a capacidade fotossintética das plantas. Sua deficiência é observada inicialmente com o amarelecimento e clorose de folhas inferiores .(MUNDOSCK, 2005).

O P é importante no estabelecimento da cultura de trigo porque o nutriente está envolvido nos processos energéticos vitais da planta. A adequada disponibilidade de P no solo auxilia a planta em estágio inicial de crescimento e desenvolvimento na recuperação do efeito subletal de temperatura baixa (WINTER CEREAL PRODUCTION, 2002). O K, além de atuar na osmorregulação (controle das concentrações de sais nos tecidos ou células) e na resistência da planta de trigo à seca, o K também atua em funções importantes, como enchimento de grãos e qualidade final do produto (BARKER; PILBEAM, 2015).

A formação e o crescimento do sistema radicular da planta dependem da presença de teores satisfatórios de Ca pois esse nutriente é fundamental na síntese de células novas da região apical da raiz (meristemas) ao atuar na composição da estrutura da parede celular (MARSCHNER, 2012). Como o

Mg está envolvido na constituição da clorofila, a sua deficiência em trigo é caracterizada pela coloração verde-amarelada (clorose) nas folhas mais velhas e/ou manchas com coloração amarelo-amarronzadas espalhadas no limbo foliar.

O Cu é fundamental para a formação do pólen e para a biossíntese da clorofila e da parede celular (lignificação) da planta. A deficiência desse micronutriente causa esterilidade do pólen da espiga do trigo, o que acarreta má formação dos grãos e perdas de produtividade (BARKER; PILBEAM, 2015).

A essencialidade do Fe às plantas é comprovada pela sua ação no metabolismo de proteínas de estrutura heme e não heme ou na coordenação de estruturas proteicas, sendo que esses compostos atuam como enzimas (por exemplo, catalases, peroxidases) ou como transportadores de elétrons no processo da fotossíntese (ferredoxina, citocromo) e nas rotas metabólicas de assimilação de outros nutrientes na planta (N e S) (BARKER; PILBEAM, 2015).

O Mn desempenha importantes funções metabólicas na planta relacionadas à fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e ativação de hormônios (BURNELL, 1988). Nos cereais, como o trigo, a limitação de Mn afeta a qualidade e o rendimento de grãos.

As importantes funções metabólicas do Zn nas plantas estão ligadas à sua alta capacidade de formar complexos tetraédricos com ligantes de N, oxigênio, e particularmente S. Esses complexos fazem com que o Zn participe ativamente como catalisador e agente estrutural de diversas reações enzimáticas na planta (VALLEE; AULD, 1990). A limitação de Zn nos solos com cultivo de trigo ocorre especialmente nas áreas de Cerrado e nos solos com alto pH ou que receberam excesso de adubação fosfatada. A deficiência de Zn afeta severamente o trigo nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento.

3 CALAGEM

Os solos podem ser naturalmente ácidos em razão da pobreza do material de origem em cátions básicos, ou por condições de pedogênese ou de formação que favorecem a remoção de elementos químicos do solo (RAIJ et al., 1977), pois, durante a sua constituição a partir da rocha, ocorre ação dos agentes do intemperismo sobre os minerais de argila que levam a liberação de Al, Fe e Mn, dentre outros para a solução do solo, que ao serem hidrolisados esses cátions dissociam íons H^+ , com reflexos na acidificação do solo (ERNANI, 2008). Além disso, o processo de acidificação do solo pode ser acelerado ou intensificado em sistemas agrícolas mediante processos de manejo de solos que levam à perda de bases e, portanto, promovem a acidificação (QUAGGIO, 2000).

Segundo Alcarde (1983a, 1983b, 1985), o cultivo agrícola dos solos ácidos exige a aplicação de corretivos, os quais ao elevarem seu pH, neutralizam o efeito dos elementos tóxicos e fornecem Ca^{2+} e Mg^{2+} como nutrientes. Além disso, estimula a atividade microbiana, melhora a fixação biológica de nitrogênio (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2017), bem como a diminuição nas perdas de bases por lixiviação (VITTI et al., 1996).

A reação do calcário com o solo é relativamente lenta e depende, basicamente, da disponibilidade de água. Por isso, recomenda-se que sua aplicação no solo seja feita com alguma antecedência ao plantio, de modo que, na época de estabelecimento das culturas, a acidez já tenha sido, pelo menos, parcialmente corrigida (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

O benefício da calagem pode ser configurado de duas maneiras: o agregado ou global, que seria representado pela economia no uso de fertilizantes, principalmente daquilo que o país ainda gasta nas divisas com sua importação e o segundo o benefício ao nível de propriedade, em que, ao obter melhores colheitas, o agricultor aumenta sua renda e conseqüentemente melhora a sua condição social. (SEAB, 1987b).

A eficácia de corretivos da acidez do solo e, conseqüentemente, a qualidade deles depende, fundamentalmente, da eficiência relativa das partículas, por classe de granulometria denominado de reatividade (RE), e do poder de neutralização (PN), sendo esta eficiência indicada pelo poder relativo de neutralização total (PRNT). Além destas características outras podem influenciar a

eficiência dos corretivos, como a solubilidade do material, tipo de solo e condições climáticas (PANDOLFO; TEDESCO, 1996).

O calcário com 19% de MgO, é o mais utilizado devido a sua relativa frequência e abundância e, por constituir fonte de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Esse é obtido pela calcinação parcial do calcário, onde nem todos são decompostos, apresentando óxidos e carbonatos de Ca^{2+} e Mg^{2+} em sua constituição. Produtos de características e propriedades intermediárias entre o calcário e a cal (ALCARDE, 1983a, 1983b, 1985), como possíveis substitutos do calcário, são provenientes de diversos subprodutos industrializados, dentre esses, as escórias das indústrias do ferro e do aço, cujos componentes neutralizantes são os silicatos de cálcio e magnésio que se comportam semelhantemente aos calcários (WUTKE; GARGANTINI, 1962; (CAMARGO, 1972) e apresenta resíduos com teores relativamente elevados de micronutrientes, podendo, em alguns casos, justificar seu uso como corretivo e fertilizante.

Não obstante os benefícios da calagem para a maioria das culturas, o uso de corretivos de acidez, sem princípios técnicos, pode elevar o pH além do necessário, diminuindo a disponibilidade de alguns nutrientes como, P, Mn, Fe, Zn, Cu e Bo, podendo em muitos casos induzir à deficiência dos mesmos e causar a queda ou a limitação da produtividade. Assim, a adequada correção da acidez do solo é fator decisivo para o aumento da produtividade das espécies cultivadas em solos ácidos (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2017).

Em relação a soja, a calagem, geralmente, aumenta a concentração e a produtividade de proteína (TANAKA; MASCARENHAS; MIRANDA, 1991, TANAKA et al., 1995; MASCARENHAS et al., 1996), pela melhoria nas condições de fixação biológica do N_2 , em vista da redução da acidez do solo e pelo aumento na disponibilidade de Mo (QUAGGIO et al., 1998), equanto no trigo afeta positivamente a produção de grãos (BATAGLIA et al., 1985; SOUZA, 1996).

4 ZINCO NO SOLO E NA PLANTA

Os micronutrientes, por terem uma amplitude muito reduzida entre os teores adequados, deficientes ou tóxicos (OLIVEIRA JÚNIOR, 1996), são responsáveis por reduções significativas na produtividade de culturas. O equilíbrio nutricional é fundamental para o desenvolvimento adequado das plantas. Kabata Pendias e Pendias (2000) descreveram que as interações entre os nutrientes podem ocorrer de formas variáveis, seja no interior das células, dentro das membranas, seja na superfície das raízes das plantas.

Marschner (1995) relatou que a absorção de nutrientes pela planta depende de diversos fatores, entre os quais, a interação entre eles, que determina ações antagônicas ou sinérgicas, que variam em função das proporções dos elementos, das espécies, dos cultivares e do estágio de desenvolvimento da planta.

A deficiência de micronutrientes em uma cultura pode causar desequilíbrio no metabolismo vegetal, tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, ocasionando aumento nos gastos com defensivos e onerando o custo da cultura (MALAVOLTA, 1986).

O teor médio de Zn na litosfera é em torno de 80 mg kg^{-1} . Apresenta semelhança do seu raio iônico ao do Fe^{2+} e Mg^{2+} , podendo ocorrer substituição isomórfica dos silicatos em augita, horblenda e biotita (MENGEL; KIRKBY, 1987). Solos derivados de rochas ígneas básicas apresentam altos teores de zinco, enquanto em solos derivados de materiais silicatados os teores são baixos.

O Zn age como cofator da síntese de proteínas, do metabolismo de carboidratos, da síntese do triptofano precursor do AIA, além de exercer influência na integridade e permeabilidade da membrana (MARSCHNER, 1995). Também participa no controle da concentração endógena do ácido indol-acético, principal fitohormônio auxínico responsável pelo crescimento longitudinal das células vegetais. Portanto, na deficiência desse micronutriente, os principais sintomas são: plantas com tamanho reduzido, áreas verde claras entre as nervuras das folhas novas, folhas menores e internódios curtos (OLIVEIRA et al., 2003).

Dentre os micronutrientes, o Zn é o que mais frequentemente se mostra deficiente em solos brasileiros (RIBEIRO; SANTOS, 1996). Sua deficiência é especialmente ressaltada caso sejam efetuadas pesadas adubações fosfatadas (BARBOSA FILHO; DYNIA; FAGERIA, 1994). Segundo Fageria, Baligar e Clark

(2002) a carência de Zn é limitante da produção agrícola em todo mundo. Cerca de 50% dos solos usados para cereais no mundo inteiro tem pouco Zn disponível o que reduz a produção como também a qualidade nutricional.

A deficiência de Zn quando ocorre em solos ácidos indica níveis muito baixos do elemento. O teor de Zn é geralmente maior nas camadas superficiais, o que pode ser atribuído à decomposição da matéria orgânica depositada no solo (GRASSI FILHO, 1999). Segundo Malavolta (1976), as espécies variam na sua capacidade de absorver Zn, tanto no caso de culturas anuais como no de forrageiras; o mesmo acontece com variedades dentro de uma mesma espécie, em alguns casos sabe-se que a deficiência de Zn está associada com a alta absorção de P e Fe.

De acordo com Ribeiro e Santos (1996), a mobilização deste micronutriente ocorre durante o processo de germinação, e sementes carentes em Zn originam plantas deficientes do nutriente. O suprimento deste micronutriente se dá por translocação das reservas das sementes ou absorção pelas raízes. O solo é a principal fonte de Zn para as plantas porém, vários fatores podem afetar sua disponibilidade, sendo necessário sua reposição (OHSE et al., 2000; FAGERIA; BALIGAR, 2005; OLIVEIRA et al., 2003).

Nos minerais primários, a maior parte do Zn encontra-se ligado à cristais dos minerais ferro-magnésiano, e na matéria orgânica pode formar quelatos e complexos menos estáveis que os estabelecidos com Cu, Fe, Co e Ca. A mobilidade do Zn no solo é baixa e os mecanismos de absorção pelas raízes são: interceptação radicular, com participação de 20 %; fluxo de massa com 20 %; e difusão com 60 % (MALAVOLTA, 1980; GRASSI FILHO, 1999).

O Zn ocorre no solo na forma de vários minerais, como sulfetos, carbonatos, silicatos, etc. Normalmente seu teor na crosta terrestre chega até a 130 mg kg⁻¹ (basalto) e, nos solos, até 300 mg kg⁻¹. Na forma trocável varia de 0,01 a 1,00 mg kg⁻¹. Lixiviado, particularmente em solos arenosos, pobres em matéria orgânica e sujeitos a elevadas precipitações, mas, sempre nos primeiros centímetros do solo é que se encontram os teores mais elevados (SOUSA; FERREIRA, 1991).

Kiekens e Cottenie (1985) afirmou que o Zn se distribui no solo de cinco maneiras: (1) fração do solo, presente com Zn²⁺ e complexos orgânicos com ácidos de baixo peso molecular, incluindo possivelmente metalóforos; (2) trocável, adsorvido por complexo esfera externa a partículas do solo por cargas elétricas; (3)

adsorvido, queletizado ou complexado, a ligantes orgânicos, humatos (armazenamento de Zn no solo), minerais da argila, óxidos hidratados; (4) argilas e óxidos metálicos insolúveis, responsáveis por fixação que pode ser irreversível quando ocorre a entrada na rede cristalina; (5) minerais primários, que nesse caso depende muito das reações que ocorrem, todas elas goverandas pela constante de equilíbrio. São elas: precipitação e dissolução, complexação e descomplexação, adsorção e dissociação.

A matéria organica afeta a disponibilidade do Zn de modos aparentemente antagônicos: (1) aumentado a solubilidade através da formação de complexos com ácidos orgânicos, aminoácidos e ácidos fúlvicos; (2) diminuindo-a devido à formação de complexos orgânicos insolúveis que reduzem a disponibilidade; (3) liberação de exsudados e ligantes pela raiz os quais complexam o elemento na rizosfera; (4) os microorganismos imobilizam o Zn na biomassa e depois liberam-no mediante a mineralização (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2002).

Nas plantas, o Zn é absorvido principalmente como cátion bivalente sendo de 0,05 – 0,25 mmol m⁻³ a concentração suficiente para as plantas. Acima de 3 – 6 mmol m⁻³ observa-se toxidez. Na solução do solo a concentração varia entre 0,01 a 1 mmol m⁻³ (KOCHIAN, 1991). O Zn do solo preso ao complexo de troca pode ser mobilizado por exsudados da raiz (aminoácidos, açúcares, fenóis) principalmente no caso de plantas deficientes (ZHANG; ROMHELD; MARSCHNER, 1991). As micorrizas contribuem para a absorção do Zn e de outros elementos (MARSCHNER, 1995).

Tem sido verificado que menos Zn disponível no solo acarreta maior esterilidade do grão de pólen do trigo e do milho, possivelmente como resultado do papel do elemento no metabolismo do RNA e das proteínas (SHARMA et al., 1990). A deficiência torna os cereais mais suscetíveis à podridão das raízes causada por *Rhizoctonia* (THONGBAI et al., 1993). Possíveis explicações: menos AIA e RNA para crescimento e “fuga” do patógeno, menos fenóis e lignina; mais açúcares e aminoácidos livres, substrato para o patógeno; paredes desorganizadas (BERETTA; FOGAÇA; MORAES, 1986).

Na soja, os sintomas de deficiência, de acordo com com Meurer, Wang e Wang (1981), manifesta-se como uma clorose nas áreas entre as nervuras das folhas, que se tornam amareladas, sendo mais evidenciados nas folhas mais novas. Os tecidos podem adquirir coloração castanha ou cinza e morrem

prematuramente. A maturação é retardada e a produção de pericarpos é menor. Segundo Brennan, Armour e Reuter (1993), as plantas com carência deste se apresentam raquíticas, internódios e pecíolos curtos e as folhas estreitas e malformadas, resultando na formação de uma “roseta” característica.

Excesso de Zn, provavelmente, induz carência de Fe (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os teores considerados adequados em folhas usadas para diagnose e amostradas em pleno florescimento variam entre 20 e 50 mg kg⁻¹ (OHLROGGE; KAMPRATH, 1968; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

5 INTERAÇÃO CALCÁRIO E ZINCO

O equilíbrio nutricional é fundamental para o desenvolvimento normal das plantas e para proporcionar altos índices de produtividade. Kabata-Pendias e Pendias (2000) descrevem que as interações entre os nutrientes podem ocorrer de forma variáveis, seja no interior das células, dentro das membranas, bem como na superfície das raízes das plantas.

Gama (1977) relata que a absorção de nutrientes pela planta, depende de diversos fatores, entre estes, que determina ações antagônicas ou sinérgicas, que variam em função das proporções dos elementos, das espécies, dos cultivares e do estágio de desenvolvimento.

Os principais objetivos da calagem são: eliminar a acidez do solo e fornecer suprimento de Ca e Mg para as plantas. O Ca estimula o crescimento das raízes e, portanto, com a calagem ocorre o aumento do sistema radicular e uma maior exploração da água e dos nutrientes do solo, auxiliando a planta na tolerância à seca. A calagem ainda tem outros benefícios, como: aumentar a disponibilidade de P, já que diminui os sítios de fixação no solo; diminuir a disponibilidade de alumínio e manganês através da formação de hidróxidos, que não são absorvidos; aumentar a mineralização da matéria orgânica com conseqüente maior disponibilidade de nutrientes e favorecer a fixação biológica de nitrogênio. Nas propriedades físicas do solo, a calagem aumenta a agregação, pois o Ca é um cátion flocculante e, com isso, diminui a compactação (SANTIAGO; ROSSETTO, 2017).

Taiz e Zeiger (2013) afirmam que o Ca participa como ativador enzimático (complexo Ca-calmodulina), no processo de crescimento da membrana plasmática das células, isto através de bombas de Ca^{+2} situadas entre o tonoplasto e a membrana, portanto, com o aumento da concentração de Ca nos solos pode-se levar a ganhos na produção de matéria seca. Tais ganhos são influenciados pelos teores de Mg no solo e absorvido pela planta, pois esse elemento participa estruturalmente da molécula de clorofila, importantíssima na maquinaria fotossintética da planta (MENGEL; KIRKBY, 1987).

A análise química do solo, na avaliação da disponibilidade de Zn para as plantas, tem recebido grande destaque entre os métodos de diagnose, visto ser o único método que permite o conhecimento prévio dos teores disponíveis em locais onde serão implantadas culturas. No Brasil, esse destaque deve ser ainda

maior, já que os solos, de maneira geral, são pobres em Zn. Além disso, a disponibilidade de Zn para as plantas pode ser reduzida devido a características do solo, como: pH elevado (FORNES et al., 2009; LINDSAY, 1991), altos teores de argila (SHUKLA; MITTAL, 1979), de P (BARROW, 1987; ALLOWAY, 1990), de C orgânico (MANDAL; MANDAL, 1987; STEVENSON, 1991; UREN, 1992), de óxidos de Fe, Al e Mn (McBRIDE, 1989; STAHL; JAMES, 1991) e potencial redox (GAO et al., 2009).

Sánchez (1981) e Fassbender (1982), afirmaram que o excesso de calcário tem efeitos deletérios tais como: deterioração da estrutura do solo; diminuição da disponibilidade de P, Bo, Zn e Mn; aumento da velocidade de decomposição da matéria orgânica o que acelera a sua perda; e por último o efeito adverso na relação Ca/K podendo assim induzir a deficiência de K.

A baixa disponibilidade de Zn em solos com alto pH resulta principalmente da adsorção de Zn nas argilas e nos CaCO_3 , em taxa muito maior do que a formação de Zn solúvel Zn(OH)_2 ou ZnCO_3 (TREHAN; SEKHON, 1977). Wear (1956), procurando verificar se a diminuição da disponibilidade de Zn para as plantas provocada pela calagem é devido ao aumento do pH ou ao aumento do Ca do solo aplicou doses de CaCO_3 suficientes para elevar o pH de um solo deficiente em Zn de 5,6 até 7,0. Fez também tratamentos com CaSO_4 , com o fim de aumentar o teor de Ca do solo e com Na_2CO_3 para aumentar o pH. Cultivando sorgo em vasos com este solo, constatou que, tanto o tratamento com CaCO_3 , como o com NaCO_3 que elevaram o pH, diminuíram o conteúdo de Zn no tecido do sorgo. Já o tratamento com CaSO_4 , como o com Na_2CO_3 que elevaram o pH, diminuíram o conteúdo de Zn no tecido do sorgo. Já o tratamento com CaSO_4 , que provocou pequena diminuição do pH do solo, aumentou levemente o teor de Zn no tecido. Assim, conclui o autor, que o efeito da calagem sobre a absorção de Zn é devido a modificação do pH e não ao Ca.

Segundo Forno, Yoshida e Asher (1975) concentrações elevadas de outros cátions divalentes tais como Ca^{+2} , bem como bicarbonato HCO^{3-} podem inibir a absorção e translocação de Zn. Arias et al. (2005), diz que a elevação do pH do solo diminui a concentração de Zn na solução, principalmente porque aumenta a intensidade da adsorção do metal por meio de complexos de esfera interna, em decorrência da menor competição com o hidrogênio. Os teores de argila, de óxidos, e de matéria orgânica influenciam a disponibilidade de Zn, porque afetam a

capacidade de retenção de água e, principalmente, o número de sítios de adsorção específica.

Nogueira et al. (1984) interagindo calcário com diferentes doses de Zn verificaram que onde a calagem foi aplicada na dose 1 tonelada por hectare e o sulfato de zinco na dose 7,5 quilos por hectare, ocorreu aumento na produção de raízes, ou seja, a atividade do Zn na solução do solo esta diretamente relacionado a atividade de prótons.

A elevação do pH diminui a disponibilidade, acima de pH 5,5 o Zn é adsorvido a hidróxidos de Al, Fe e Mn (MORAGHAN; MAASCAGNI JR, 1991). Foi relatado que, em solos ácidos, o aumento em uma unidade de pH dentro dos limites da faixa 5-7 causa diminuição de 100 vezes na concentração em solo ácido. Em alguns solos, entretanto a elevação do pH pode aumentar a disponibilidade devido à dissolução da matéria orgânica ou à formação de $Zn(OH)^+$ (MALAVOLTA, 2006)

6 OBJETIVOS

Avaliar o efeito de doses de Zn para soja; o efeito residual dessas doses; aumento do pH e a disponibilidade do Zn para a soja e seu efeito residual no trigo, composição mineral de grãos, folhas e solo considerando a aplicação de doses de calcário e Zn.

7 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido de 30/09/2016 a 20/12/2017 correspondente as safras 2016/2017 para soja e 2017 para o trigo. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa-CNPSO), localizado no município de Londrina - PR, sob as coordenadas geográficas de 23°11'39" LS e 51°10'40" LW. Utilizou-se o Latossolo Vermelho eutroférico, do município de Mauá da Serra – PR, localizado 23°54'05" de latitude sul e 51°13'46" de latitude oeste. A coleta foi feita na profundidade 0 – 20 cm, formando-se uma amostra composta, destorroado, homogeneizado, seca ao ar e passada em peneira com malha de 2 mm de abertura. Os atributos químicos e físicos na ocasião da coleta estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho eutroférico na ocasião da coleta

Cidade	Solo	Argila	Areia g.kg ⁻¹	Silte	pH	SB %				
Mauá da Serra -PR	Latossolo Vermelho Eutroférico	674,84	175,35	149,81	4,8	52				
MOS g.kg ⁻¹	P mg.dm ⁻³	K cmolc.dm ⁻³	Ca cmolc.dm ⁻³	Mg	Mn	Zn mg.dm ⁻³	Cu	Fe	Al cmolc.dm ⁻³	H ⁺ +Al ³⁺ cmolc.dm ⁻³
60,31	1,45	0,67	4,12	2,02	117,75	4,27	2,31	38,09	0,25	12,13

Fonte: O autor

O solo coletado é oriundo de pasto degradado, onde não foi realizado nenhum tipo de manejo nos últimos anos. A granulometria foi obtida por meio do método da pipeta usando NaOH com dispersante, descrita por Camargo et al. (1986). Foi utilizado um genótipo soja variedade BRS 1010 de hábito de crescimento determinado, como cultura de verão e de trigo, a variedade BRS Sabiá como cultura de inverno. Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 × 2, com três repetições, sendo quatro doses de Zn (0, 5, 10, 20 mg kg⁻¹) e duas doses de calcário definidos em 0 e 5 ton ha⁻¹ procurando elevar a saturação por base a 70%. Para cada uma das repetições foram colocados 3,0 dm³ de solo, em vasos de barro. Trinta dias antes do plantio de soja, a acidez foi corrigida com carbonato de cálcio (CaCO₃) para elevar a saturação por base a 70%. Para que houvesse uma mistura uniforme do calcário, cada solo de

cada vaso foi colocado dentro de um saco plástico. Adicionou-se a quantidade de calcário determinado e misturou-se de maneira homogênea. Em seguida despejou-se nos vasos, que ficaram cobertos mantendo-se a umidade através de regas diárias até o plantio.

Como fonte de Zn foi utilizado o sulfato de zinco (ZnSO_4), aplicado na sementeira nas doses de: 0, 5, 10, 20 mg kg^{-1} . A adubação com P, K, B, Cu e Mn foram feitas de acordo com Moreira, Fageria e Garcia-Garcia (2011), adaptadas de Allen, Terman e Clements (1976) para experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação [$0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ de N- $\text{CO}(\text{NH}_4)_2$, 50 mg kg^{-1} de (K)-KCl, 100 mg kg^{-1} de (P)-fosfato monoamônio (MAP), $0,5 \text{ mg.k}^{-1}$ de B- H_3BO_3 ; $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu- $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mo- $\text{Na}_2\text{Mo}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe- $\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ de Co- CoCl_2 ; $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ de Ni- $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn- $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Zn- $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e 50 mg kg^{-1} de S- K_2SO_4]. Trinta dias após o plantio, também foi feita adubação por cobertura com 100 mg.kg^{-1} de N- $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$. Tanto o calcário, como a aplicação de Zn foram efetuadas no cultivo da soja, sendo analisado o efeito residual na cultura de trigo (ou segundo cultivo).

Dez sementes de soja foram semeadas por vaso. Quando as plantas atingiram o estágio V1 (primeiro trifólio) realizou-se o desbaste deixando duas plantas uniformes, que foram irrigadas diariamente para compensar as perdas por evapotranspiração e para manter o solo próximo de 70% do volume total de poros (CASSEL; NIELSEN, 1986). No estágio R1 (FEHR et al., 1971) foram coletados o terceiro e quarto trifólios a partir do ápice, excluindo o pecíolo, para leitura das unidades SPAD empregando-se o Chlorophyll Meter SPAD – 502 (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2009), Para cada planta foram realizado duas leituras às 16 horas, devido a menor incidência de luz, evitando um valor superestimado das médias obtidas através da equação $\hat{y} = 16,033 + (7,5774 \times \text{SPAD})$ proposta por Fritschi e Ray (2007) para a cultura da soja. A média das duas leituras foi considerada como um valor SPAD para cada vaso. Concomitantemente foram determinadas a taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), açúcares solúveis totais (mg g^{-1}) e a condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

O SPAD é um clorofilômetro possui diodos que emitem radiação em 650 nm (luz vermelha) e 940 nm (radiação infravermelha). A luz que passa através da amostra da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz

transmitida em sinais elétricos analógicos. Por meio do conversor A/D, esses sinais são amplificados e convertidos em sinais digitais (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2009), sendo usados por um microprocessador para calcular os valores SPAD (“Soil plant analysis development”), que são mostrados num visor. Os valores obtidos são proporcionais ao teor relativo de clorofila presente na folha (SALLA; RODRIGUES; MARENCO, 2007). A absorvância das clorofilas é muito eficiente em 650 nm, mas é desprezível em 940 nm (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2009), A emissão em 650 nm é a base para o cálculo do teor relativo de clorofila, já na faixa de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha, esse fator faz a correção para compensar pela absorção de fótons em 650 nm por moléculas do tecido foliar desprovidas de clorofila (WASKOM et al., 1996; JESUS; MARENCO, 2008).

No estádio R7 as plantas foram colhidas, separando-se: grãos, pericarpos, caules e pecíolos e folhas secadas em estufa de circulação forçada a 65° C até atingir peso constante, pesadas moídas e analisadas.

Nas folhas usadas para diagnose e nos grãos foram determinados os teores de: N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe. As amostras foliares e dos grãos foram submetidas à digestão via úmida, sulfúrica pra N e nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe. Posteriormente, os teores de N foram determinados pelo método da microdestilação Kjeldahl, com titulação através da solução de H₂SO₄ (0,05N). Quanto aos outros nutrientes, os teores de P foram determinados por meio de espectrofotometria; K, através de fotômetro de chama; e Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises seguiram recomendações segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Foram avaliados e quantificados número de vagens por vaso, número de grãos por vaso, peso de vagens mais peso de grãos por vaso, peso dos grãos por vaso e peso da matéria seca por vaso (folhas + ramos + caule), peso de matéria seca total por vaso (folhas + ramos + caule + vagens + grãos), além de peneiras que determinaram os tamanhos dos grãos de soja (menores que 10, 10, 11, 12 e 13 milímetros) que foram pesados por vaso.

Após o cultivo da soja, amostras de solo foram coletadas e devidamente etiquetadas e enviadas ao laboratório. Em sala isolada, foram secas a 40°C em estufa com circulação de ar e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura para realização das análises químicas e físicas de acordo com as

metodologias por Pavan et al. (1992) e Embrapa (2009). Foram realizadas as seguintes análises: Acidez Ativa (H^+), determinada através de pH $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} por leitura utilizando-se peagâmetro; Acidez Potencial ($H + Al$), por meio de solução SMP; Acidez Trocável (Al^{3+}), extraída com KCl 1 mol L^{-1} e determinada por titulação com $NaOH$ 0,01 mol L^{-1} e solução indicadora de Azul de Bromotimol; Para P disponível e teores trocáveis de K^+ , usou-se a solução extratora Mehlich-1, determinando P por leitura em espectrômetro a 630 nm, e K^+ por fotômetro de chama.

Para determinação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , utilizou-se espectrofotometria de absorção atômica (EAA). Para tal procedimento, pipetou-se 0,1 ml da solução sobrenadante de Ca^{2+} ou Mg^{2+} , com posterior adição de 4,9 ml da solução de lantânio (La) 0,1 %. Após leitura das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas respectivas soluções, determinou-se os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , transformando a leitura da EAA ($mg\ dm^{-3}$) em $cmol_c\ dm^{-3}$, multiplicada ao final pelo valor da diluição total.

Para determinação do carbono orgânico total (COT), utilizou-se a metodologia de Walkley & Black. Pesou-se 0,50 gramas de TFSA e, em seguida, submeteu-se as amostras à oxidação com 10 ml $Cr_2O_7^{2-}$ 1M, seguida de adição de 10 ml de ácido sulfúrico. Após 30 minutos, acrescentou-se 4 ml de ácido fosfórico mais 50 ml de água destilada. Por fim, adicionou-se 0,50 ml de indicador a solução, e posteriormente, seguiu-se a titulação com $FeSO_4$ 1 mol L^{-1} .

Ao final da cultura da soja, o solo de cada vaso foi retirado e os restos culturais eliminados, logo em seguida reconicionados para os mesmos recipientes em que se encontravam, onde foram semeadas 10 sementes de trigo sobre o residual fértil da cultura anterior. Realizou-se o desbaste no estádio 5, antes do início da alongação. Cada vaso cultivou cinco pés de trigo, que também foram irrigadas diariamente para compensar as perdas por evapotranspiração e para manter o solo próximo de 70% do volume total de poros (CASSEL; NIELSEN, 1986).

Para estimar o teor de clorofila foram realizadas leituras SPAD no estádio 10.1 do trigo. Foi empregado o Chlorophyll Meter SPAD – 502 (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2009), realizando duas leituras por planta do vaso as 16 horas, na primeira folha após a folha bandeira, fixando o clorofilômetro no terço-médio da lâmina foliar (MATSUNAKA et al., 1997). A média das duas leituras foi considerada como um valor SPAD para cada vaso e convertidas em teor de clorofila 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. Através do SPAD foram determinadas a taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), açúcares solúveis totais (mg g^{-1}) e a condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

No estágio 11.4 as plantas foram colhidas, separando-se: grãos, pericarpos, caules e pecíolos e folhas secadas em estufa de circulação forçada a 65°C até atingir peso constante, pesadas moídas e analisadas.

Nas folhas usadas para diagnose e nos grãos foram determinados os teores de: N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe. As amostras foliares e dos grãos foram submetidas à digestão via úmida, sulfúrica para N e nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe. Posteriormente, os teores de N foram determinados pelo método da microdestilação Kjeldahl, com titulação através da solução de H_2SO_4 (0,05N). Quanto aos outros nutrientes, os teores de P foram determinados por meio de espectrofotometria; K, através de fotômetro de chama; e Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises seguiram recomendações segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Foram avaliados e quantificados número de espiguetas por vaso, número de grãos por vaso, peso de espiguetas mais os grãos por vaso, peso dos grãos por vaso e peso da matéria seca por vaso (folhas + ramos + caule), peso da matéria seca total por vaso (folhas + ramos + caule + espiguetas + grãos). Tal qual na soja as avaliações dos atributos químicos e físicos do trigo foram analisados em laboratório da mesma maneira descrita para a leguminosa. Após o segundo cultivo, os atributos químicos do solo também foi avaliado adotando os mesmos procedimentos do primeiro cultivo.

De posse dos dados relativos às safras, seguiram-se os testes estatísticos de forma independente para cada um. Para todas as variáveis, além do delineamento de blocos casualizados com 3 repetições, considerou-se como tratamentos uma distribuição em esquema fatorial 4×2 . Foi utilizado quatro doses de Zn (0, 5, 10, 20 mg kg^{-1}) e duas doses de calcário (controle e elevação da saturação por base a 70%).

Inicialmente submeteram-se os dados aos testes de Homocedasticidade, pelo Teste de Hartley, e Normalidade dos resíduos, pelo Teste de Shapiro Wilk. Atendo-se estes pressupostos, seguiram-se as análises de

variância segundo critérios do Teste F a 5 de significância. Sendo assim, o nível de significância considerado para efeito de interação entre os fatores principais foi de 5% ($p \leq 0,05$). Todos os testes estatísticos foram executados com uso do software R V. 3.4.0 (R Core Team/ 2017).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 COMPONENTES FISIOLÓGICOS DA SOJA E DO TRIGO

Há vários métodos utilizados para determinar o teor de clorofila. Tradicionalmente os métodos utilizados para determinação do teor de clorofila requerem destruição das folhas, o que é uma desvantagem em estudos que visem determinar o efeito da ontogenia da folha no grau de esverdeamento. Além disso, esses métodos são muito demorados e onerosos. Sendo assim, a utilização do índice SPAD permite uma avaliação rápida e prática (JESUS; MARENCO, 2008). Na tabela 2 estão apresentados os valores da leitura SPAD nas folhas usadas para diagnose, bem como a fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWUH₂O).

Tabela 2 – Leitura SPAD, Fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWUH₂O) na soja.

Trat	SPAD			Fotossíntese			Cond		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doses de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	39,1	38,5	38,8 a	14,0	13,9	14,0 a	0,2	0,2	0,1 a
5	40,5	41,3	40,9 a	9,0	13,5	11,3 a	0,1	0,2	0,1 a
10	42,1	38,0	40,1 a	13,8	14,3	14,1 a	0,2	0,2	0,2 a
20	41,0	40,8	40,9 a	11,2	13,0	12,1 a	0,1	0,1	0,1 a
Média	40,7 A	39,7 A		12,0 A	13,7 A		0,1 A	0,1 A	

Trat	Ci			trmmol			EWUH ₂ O		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doses de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	203,3	229,7	216,5 a	4,1	4,0	4,1 a	3,5	3,7	3,6 a
5	172,1	203,2	187,7 ab	2,0	3,8	2,9 a	5,4	3,5	4,5 a
10	198,2	220,8	209,5 ab	3,0	3,8	3,4 a	4,8	3,8	4,3 a
20	186,4	167,4	176,9 b	2,0	3,2	2,6 a	5,7	4,1	4,9 a
Média	190,0 A	205,3 A		2,8 B	3,7 A		4,9 A	3,8 B	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Ao analisar a tabela acima, é possível observar que em relação ao SPAD, fotossíntese e condutância estomática, não houve resposta para nenhum dos tratamentos. Os resultados estão de acordo com Teixeira et al. (2004), em que os teores de clorofila não foram influenciados pelas doses de Zn aplicadas via foliar e

discordam de Moreira, Moraes e Fageria (2015), que verificaram resposta da aplicação de Zn, sendo que a fotossíntese foi positivamente correlacionada com produção de matéria seca da alfafa.

Observou-se diferença significativa conforme aumento das doses de Zn para concentração intercelular de CO₂ (Ci), não sofrendo influência da adição de calcário. A transpiração (Trmmol), teve maior valor com adição de calcário (3,7) não havendo ação da adição de Zn. A mesma resposta pode ser vista em eficiência intercelular do uso de água (EWUH₂O), sendo que o tratamento sem adição de calcário alcançou maiores valores (4,9) também não havendo diferença significativa da adição de Zn. Os resultados estão de acordo com Teixeira et al. (2004), em que os teores de clorofila não foram influenciados pelas doses de Zn aplicadas.

Na tabela 3 estão apresentados os valores da leitura SPAD nas folhas usadas para diagnose, também a fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWUH₂O) para a cultura do trigo.

Tabela 3 – Leitura SPAD, Fotossíntese, condutância estomática (Cond), concentração intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (Trmmol) e eficiência intercelular do uso de água (EWUH₂O) no trigo

Trat	SPAD			Fotossíntes			Cond					
	Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média		
0	48,3	48,7	48,5	b	16,5	16,1	16,3	a	0,2	0,2	0,2	a
5	53,9	51,3	52,6	a	19,9	17,6	18,8	a	0,3	0,3	0,3	a
10	50,9	51,5	51,2	ab	21,7	23,2	22,5	a	0,3	0,5	0,4	a
20	52,1	53,3	52,7	a	23,5	22,3	22,9	a	0,4	0,4	0,4	a
Média	51,3	51,2	51,2	A	20,4	19,8	20,4	A	0,3	0,4	0,4	A

Trat	Ci			Trmmol			EWUH ₂ O					
	Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média		
0	244,9	236,6	240,8	a	3,3	3,4	3,4	a	4,9	4,9	4,9	a
5	256,9	270	263,5	a	4,9	3,5	4,2	a	4,1	5,1	4,6	a
10	257	272,5	264,8	a	4,8	5,2	5,0	a	4,6	4,6	4,6	a
20	265	269,1	267,1	a	4,6	5,4	5,0	a	5,2	4,2	4,7	a
Média	256,0	262,1	262,1	A	4,4	4,4	4,4	A	4,7	4,7	4,7	A

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Pode-se observar na tabela 3 que em relação ao SPAD houve diferença significativa apenas no tratamento com aplicação de Zn sendo os melhores resultados a partir da 5 mg kg⁻¹ de Zn. Para fotossíntese, condutância estomática

(Cond), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (T_{mmol}) e eficiência intercelular do uso de água ($E_{\text{WH}_2\text{O}}$). Tais resultados apresentados nas culturas de soja e de trigo, foram semelhantes ao obtido por Silva (2000) em folhas de soja usadas para diagnose, amostradas em R1 e cultivada em casa de vegetação.

Os valores de clorofila Spad encontrados neste trabalho variaram de 38,0 a 42,1 para a soja e 39,2 a 48 para o trigo nas adubações com Zn. Estes valores são superiores aos relatados por Rodrigues et al. (2013) que trabalhando com o teor de clorofila de folhas de soja em resposta ao ataque de percevejo, obtiveram a média de 35,86 (unidade Spad) no tratamento sem ataque de percevejo.

O teor de clorofila nas folhas está diretamente relacionado com o potencial fotossintético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Nogueira, Sena Júnior e Ragagnin (2010) destacam que as leituras do clorofilômetro fornecem um indicativo do desenvolvimento vegetativo e da produtividade da cultura da soja, destacando que níveis elevados são importantes para manutenção e enchimento de grãos ou acúmulo de reservas.

8.1.1 Produtividade e Componentes de Produção da Soja e do Trigo

Através da tabela 4, pode-se observar que para a cultura da soja, o número de vagens por vaso, não sofreu diferença significativa conforme o uso de calcário, apenas sob a aplicação das doses de Zn, sendo 10 mg kg^{-1} a quantidade mais adequada. El Haggan (2014) e El Sayed et al. (2015) verificaram um aumento de 13,48% e 38,42%, respectivamente, no número de vagens por planta com a aplicação de Zn. Choudhary, Jhajharia e Kumar (2014) também verificaram aumento no número de vagens por planta de soja com aplicação de Zn. De forma antagonica, Fornes et al. (2009) não verificaram diferença no número de vagens por planta de soja com a aplicação de zinco.

Analisando numero de grãos por vaso, observa-se a influência entre os tratamentos com o maior resultado na dose de 10 mg kg^{-1} de Zn sem a utilização de calcário no vaso, esses dados estão de acordo com Choudhary, Jhajharia e Kumar (2014) ao avaliarem a influência da adubação com Zn na soja, também verificaram um aumento no número de grãos por vagem quando se aplicou 10 kg ha^{-1} de Zn. Santos e Estefanel (1986) encontraram incremento de 535 kg ha^{-1} de grãos de soja em relação à testemunha com adição de $0,30 \text{ g kg}^{-1}$ de óxido de zinco

via semente. Diferente de Enderson, Mallarino e Haq (2015), em estudos realizado em 42 locais, que quando o solo apresenta teores adequados dos nutrientes, a adubação não interfere na produtividade de grãos. De acordo com Fageria (2000b), solos com teor de Zn disponível acima de 0,5 e 0,8 mg dm⁻³ (Mehlich 1), podem ser considerados adequados para a cultura do trigo e da soja, respectivamente.

A matéria seca (MS) não foi influenciada pela adição de calcário, mas teve ação da aplicação de Zn com os maiores valores, nas doses de 10 e 20 mg kg⁻¹, mesmo que o nível crítico teor de zinco na profundidade de 0-20 cm (4,27 mg dm⁻³) era superior ao nível crítico de 1,0 mg dm⁻³ (FAGERIA, 2000). Neste caso, a probabilidade de resposta à aplicação de zinco seria baixa, segundo André et al. (2003), Rosa et al. (2003) e Araújo e Nascimento (2005). Em trabalho realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2001), com aplicação foliar de zinco em plantas de soja cultivado em solo com teores adequados de zinco, ocorreu a ausência de resposta com a aplicação do micronutriente. Esse resultado difere do encontrado no presente trabalho. Assim, é possível obter respostas quanto à aplicação de zinco em condições onde não se esperaria tal resultado. A matéria seca total (MST), também apresentou respostas as doses de zinco tanto quando foi utilizado ou não o calcário. O incremento da produção de massa seca em função da absorção de zinco também foi verificado em arroz, por Schöffel e Collúcio (2001). Este efeito do zinco no crescimento das plantas se deu em função da participação do nutriente na rota metabólica do triptofano para ácido indolacético (AIA), que é a principal auxina de crescimento (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 1993).

Houve interação significativa entre os tratamentos quando analisados os grãos por vaso, tendo melhores resultados de 20 mg kg⁻¹ com a incorporação de calcário. Mesmo comportamento este observado para a variável peso de grãos e matéria seca total, Smith (1984) concluiu que a adição de calcário provocou um aumento no comprimento das plantas e um incremento de produtividade na ordem de 31% quando aplicado um calcário dolomítico.

Tabela 4 – Número de vagens por vaso, número de grãos por vaso, peso de grãos e vagens por vaso, peso de grãos por vaso, matéria seca por vaso, matéria seca total por vaso da cultura da soja

Trat	Número de vagens por vaso			Número de grãos por vaso			Peso de grãos e vagens por vaso		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	33	44	38,5 b	64,7 Bc	122,3 Aa	93,5	15,2 Bc	26,2 Ab	20,7
5	43	46	44,5 ab	108,0 Aab	112,7 Aa	110,4	26,7 Aab	26,4 Aab	26,6
10	59	47	53,2 a	138,7 Aa	113,7 Ba	126,2	30,2 Aa	22,6 Bb	26,4
20	40	51	45,7 ab	90,7 Bbc	126,0 Aa	108,4	23,1 Bb	30,8 Aa	27,0
Média	43,6 A	47,3 A		100,5	118,7		23,8	26,5	

Trat	Peso de grãos por vaso			Matéria seca por vaso			Matéria seca total por vaso		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	11,1 Bc	19,4 Aa	15,3	15,2	15,0	15,1 b	30,4 Bc	41,2 Ab	35,8
5	19,0 Aab	19,0 Aa	19,0	17,6	17,5	17,6 ab	44,3 Aab	43,9 Aab	44,1
10	20,0 Aa	15,3 Bb	17,7	22,0	18,4	20,2 a	52,2 Aa	41,0 Bb	46,6
20	16,8 Bb	21,4 Aa	19,1	18,5	20,8	19,7 a	41,5 Bb	51,6 Aa	46,6
Média	16,7	18,8		18,3 A	17,9 A		42,1	44,4	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Estatisticamente para a cultura do trigo, para nenhuma das variáveis houve diferença significativa como mostra a tabela 5. Da mesma forma, Bonnacarrère et al. (2004) e Prado et al. (2007) não encontraram diferença na produção de matéria seca da parte aérea, em aplicação de diferentes doses de zinco nas sementes de arroz e trigo, respectivamente. Entretanto, Fageria (2000) e Santos e Ribeiro (1994) concluíram que os tratamentos com zinco aumentaram significativamente a produção de massa seca da parte aérea.

Em relação ao número de espiguetas por vaso, esses resultados corroboram com Orioli Júnior et al. (2008) que não observaram diferença nessa variável do trigo após as sementes terem sido tratadas com zinco. Fungueto et al. (2010) também não obtiveram diferença entre doses de zinco para número de espiguetas, bem como Bonnacarrère et al. (2004), ao analisarem o desempenho de genótipos de arroz irrigado em solução nutritiva com deficiência e com suficiência de zinco (0,150 mg.L⁻¹). Por outro lado Ohse et al. (1999) ao observaram que o número de panículas/planta de arroz irrigado variou em função da dose de zinco aplicada nas sementes.

Moraes et al. (2004), encontraram um aumento de 73% no número de grãos de arroz tratados com zinco em comparação a testemunha. Fageria (2001)

concluiu haver respostas significativamente diferentes entre genótipos de arroz, na produção de grãos, em resposta ao uso de zinco. Em outro estudo, Fageria e Baligar (2005), verificaram que os níveis e fontes de zinco, além dos genótipos, tiveram influência significativa sobre a produção de grãos de arroz.

Resultados obtidos por Moraes et al. (2004), mostraram que o zinco foi o micronutriente que apresentou maior correlação entre doses e produtividade de grãos. De acordo com Lopes (1999), o fato de a planta estar bem nutrida na fase reprodutiva pode favorecer a diminuição do abortamento de grãos, ou seja, quanto melhor seu equilíbrio nutricional maior será a capacidade da planta em manter maior número de grãos, o que, conseqüentemente pode influenciar no peso de grãos.

Tabela 5 – Número de espiguetas por vaso, número de grãos por vaso, peso de grãos e espiguetas por vaso, peso de grãos por vaso, matéria seca por vaso, matéria seca total por vaso da cultura do trigo

Trat	Número de espiguetas por vaso			Número de grãos por vaso			Peso de grãos e espiguetas por vaso		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
5	11,3	10,7	11,0 a	246,0	394,0	320,0 b	21,8 Bb	37,1 Aa	29,5
10	15,3	9,8	12,6 a	424,7	326,3	375,5 a	28,0 Aab	32,3 Aa	30,2
20	12,3	11	11,7 a	335,3	346,0	340,7 ab	27,2 Aab	31,0 Aa	29,1
Trat	Pesto Total de Grãos			Matéria Seca			Matéria Seca Total		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	9,3	8,7	9,0 ab	15,5 Aa	14,0 Aa	14,8	29,5	35,8	32,7 a
5	6,2	10,2	8,2 b	13,9 Aa	12,7 Aa	13,3	29,8	37,8	33,8 a
10	11,6	12,2	11,9 a	17,1 Aa	9,7 Ba	13,4	45,9	38	42,0 a
20	8,2	10,5	9,4 ab	14,1 Aa	12,9 Aa	13,5	34,7	38,8	36,8 a
Média	8,8 A	10,4 A		15,2	12,3		35,0 A	37,6 A	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

8.1.2 Teores de Nutrientes nas Folhas da Soja e do Trigo

Quando analisado os teores de nutrientes nas folhas da soja observou-se diferença significativa para o N conforme aumento nas doses de Zn sem influência dos tratamentos com calcário. Houve influência entre os tratamentos para o K, tanto para as doses de Zn quanto para o uso de calcário, tendo os maiores teores na dose de 20 mg kg⁻¹ de Zn com aplicação de calcário. Apesar de a literatura apontar a inibição competitiva do potássio com o zinco pelos mesmos sítios de absorção (FERNANDES et al., 2007; MOREIRA et al., 2003), no presente trabalho

houve um sinergismo entre esses nutrientes quando o zinco foi aplicado, indicando que a aplicação, pode influenciar na nutrição mineral de soja.

Não observou-se diferença em nenhum dos tratamentos para o P. Em relação às interações com os nutrientes, o Zn possui uma interação não competitiva com o fósforo (P) (FERNANDES et al., 2007), porém na literatura não há um consenso do efeito antagônico entre esses dois nutrientes. Já para o Ca, notou-se que não houve diferença estatística no tratamento com adição de calcário, porém, houve resposta conforme adição de doses de Zn tendo maior teor do nutriente no controle. Certamente não houve diferença nos teores desses macronutrientes (P e Ca) nas folhas de plantas de soja, em função do fornecimento adequado desses às plantas via adubação de base, calagem e fixação biológica. Assim, o equilíbrio dos nutrientes no solo, levou a uma absorção adequada pelas plantas de soja. Nesse sentido, o equilíbrio nutricional das plantas é um fator importante que interfere diretamente na produtividade (FAGERIA, 2000, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para o teor de Mg houve relação entre os tratamentos observando melhor resultado nas doses de 10 mg kg^{-1} de Zn com o uso da calagem. A interação do Zn com o magnésio é do tipo competitiva, pois competem pelo mesmo sítio de absorção (MARSCHNER, 1995) o que pode justificar a variação das respostas tanto para o tratamento com calcário, quanto para aplicação de zinco.

Não houve influência quando analisado o teor de Fe para nenhum dos tratamentos. Observou-se uma diferença significativa para o Mn ($196,2 \text{ g kg}^{-1}$) quando não houve utilização de calcário, diferente do Cu ($4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) que com o uso de calcário obteve melhor resultado na média final. As doses de Zn para ambos os nutrientes não tiveram efeito relevante. Esses resultados, apontam que a aplicação dos tratamentos não promoveu diferenças nos teores de cobre, ferro e manganês nas folhas de plantas de soja, apenas nas médias da utilização ou não de calcário, provavelmente em razão de que os teores de micronutrientes no solo estavam acima do nível crítico para a cultura (FAGERIA, 2000).

Ao analisar o Zn ($31,2 \text{ mg kg}^{-1}$) presente nas folhas notou-se significância no tratamento sem o uso do calcário. Nos métodos com adição de doses de Zn houve diferença significativa, crescendo linearmente com valores máximos de $39,3 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose 20 mg kg^{-1} de Zn. Provavelmente a parte do zinco aplicado pode ter sido adsorvida pelos colóides minerais do solo (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007) e o remanescente ficou disponível à cultura (FAGERIA, 2001;

GALRÃO, 2002). Vale ressaltar que, os teores de zinco observados nas folhas de plantas de soja de todos os tratamentos estavam acima do nível crítico, descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Esses resultados se assemelham aos encontrados por De Muner et al. (2011) que verificaram aumento linear nos teores foliares de Zn na cultura do milho em relação às doses desse micronutriente aplicadas no solo, variando de 0 a 16 kg ha⁻¹ de Zn.

Tabela 6 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg⁻¹), fósforo (P, g kg⁻¹), potássio (K, g kg⁻¹), cálcio (Ca, g kg⁻¹), magnésio (Mg, g kg⁻¹), ferro (Fe, mg kg⁻¹), cobre (Cu, mg kg⁻¹), manganês (Mn, mg kg⁻¹) e zinco (Zn, mg kg⁻¹) nas folhas da soja

Trat	N - F			P - F			K - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	21,8	27,8	24,8 b	1,2	1,6	1,4 a	16,5 Ba	12,7 Ab	14,6
5	34,3	39,2	36,8 a	1,3	1,8	1,6 a	13,9 Aa	16,2 Aab	15,1
10	36,7	38,2	37,5 a	1,2	1,4	1,3 a	17,3 Aa	15,1 Aab	16,2
20	32,0	33,5	32,8 a	1,4	1,2	1,3 a	14,8 Aa	20,1 Aa	17,5
Média	31,2 A	34,7 A		1,3 A	1,5 A		15,6	16,0	
Trat	Ca - F			Mg - F			Fe - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	3,8	6,9	5,4 a	1,4 Aa	1,5 Aab	1,5	58,3	32,1	45,2 a
5	3,4	3,2	3,3 ab	1,3 Aab	1,6 Aa	1,5	35,0	45,3	40,2 a
10	2,7	3,1	2,9 b	1,0 Bb	2,0 Aa	1,5	20,7	42,9	31,8 a
20	3,1	2,8	3,0 b	1,4 Aa	1,1 Ab	1,3	20,0	17,0	18,5 a
Média	3,3 A	4,0 A		1,3	1,6		33,5 A	34,3 A	
Trat	Cu - F			Mn - F			Zn - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	1,9	4,7	3,3 a	171,7	115,7	143,7 a	14,1	12,1	13,1 c
5	1,8	4,9	3,4 a	172,6	174,5	173,6 a	25,9	24,0	25,0 b
10	2,6	5,4	4,0 a	228,0	127,5	177,8 a	33,1	19,8	26,5 b
20	2,9	3,9	3,4 a	212,6	122,7	167,7 a	51,8	26,7	39,3 a
Média	2,3 B	4,7 A		196,2 A	135,1 B		31,2 A	20,7 B	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Em relação a avaliação dos nutrientes presentes nas folhas do trigo, pode-se perceber através da tabela 6, que em relação ao N não houve disparidade expressiva, para o P e Mg.

Já o K (25,2 g kg⁻¹) apresentou, segundo a estatística, uma divergência considerável, obtendo um melhor efeito quando não houve nem aplicação de calcário e nem aplicação de Zn.

Obeve-se uma interação em relação ao Ca e Mn, para o primeiro nutriente os súpéros foi quando houve o uso da calagem sob qualquer do de Zn, todavia, para o Mn a resposta mais adequada ficou com 10 mg kg⁻¹ de Zn, sem o uso da calagem.

O Fe apresentou uma desconformidade substancial à dois tratamentos (Calcário x Zn) com o melhor resultado sem aplicação de calcário (285,6 mg kg⁻¹) e sem aplicação de Zn (291,3 mg kg⁻¹). O mesmo vale para o Cu, considerando o melhor resultado sem a aplicação de calcário e na dose de 5 mg kg⁻¹ de Zn. Agora em descrição ao Zn (27,6 mg kg⁻¹), a não utilização do calcário e a partir de 5 mg kg⁻¹ de Zn demonstraram ter um melhor efeito. De acordo com Vale (2001), o zinco presente no sulfato é mais disponível para as plantas, do que o contido no óxido. Resultados semelhantes foram encontrados por Franco et al. (2005) em plântulas de feijão e café. Entretanto, Ohse et al. (1999) observaram que a aplicação de zinco em sementes de arroz não proporcionou acúmulo de zinco da parte aérea.

Tabela 7 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg⁻¹), fósforo (P, g kg⁻¹), potássio (K, g kg⁻¹), cálcio (Ca, g kg⁻¹), magnésio (Mg, g kg⁻¹), ferro (Fe, mg kg⁻¹), cobre (Cu, mg kg⁻¹), manganês (Mn, mg kg⁻¹) e zinco (Zn, mg kg⁻¹) nas folhas do trigo

Trat	N - F			P - F			K - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	52,5	46,7	49,6 a	3,5	4,0	3,8 a	28,6	23,1	25,9 a
5	49,6	47,6	48,6 a	3,2	3,6	3,4 a	26,6	23,6	25,1 ab
10	53,4	53,4	53,4 a	3,0	3,1	3,1 a	23,6	22,6	23,1 ab
20	50,1	48,3	49,2 a	2,7	3,3	3,0 a	22,0	18,5	20,3 b
Média	51,4 A	49,0 A		3,1 A	3,5 A		25,2 A	22,0 B	
Trat	Ca - F			Mg - F			Fe - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	8,1 Aa	6,3 Ba	7,2	3,5	3,5	3,5 a	374,9	207,6	291,3 a
5	6,6 Aa	6,8 Aa	6,7	2,8	3,5	3,2 a	274,6	191,3	233,0 ab
10	8,1 Aa	5,6 Ba	6,9	3,5	3,2	3,4 a	268,3	164,9	216,6 b
20	6,9 Aa	7,4 Aa	7,2	3,1	3,6	3,4 a	224,4	197,9	211,2 b
Média	7,4	6,5		3,2 A	3,5 A		285,6 A	190,4 B	
Trat	Cu - F			Mn - F			Zn - F		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	3,8	2,3	3,1 ab	336,0 Ab	137,6 Bab	236,8	21,7	14,2	18,0 b
5	4,2	2,9	3,6 a	278,1 Ab	119,0 Bb	198,6	27,3	17,0	22,2 a
10	2,7	2,4	2,6 ab	427,1 Aa	119,0 Bb	273,1	30,3	18,8	24,6 a
20	2,3	2	2,2 b	284,5 Ab	204,4 Ba	244,5	31,2	21,1	26,2 a
Média	3,3 A	2,4 B		331,4	145,0		27,6 A	17,8 B	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

8.1.3 Teores de Nutrientes nos Grãos da Soja e do Trigo

Não houve diferença significativa para nenhum dos tratamentos quando analisado o N e Fe no grão indicando que a adubação de base foi suficiente para o seu fornecimento.

Para o P, não houve diferença significativa no tratamento com o uso de calcário tendo diferença apenas para a dose de 5 mg kg^{-1} de Zn. O K houve interação entre os tratamentos obtendo melhores valores para o controle ($19,8 \text{ g kg}^{-1}$), ao contrário do Ca onde a melhor resposta foi obtida na utilização de calcário e zinco independente da dose utilizada. Na literatura existem relatos que apontam as interações antagônicas do zinco com o fósforo, potássio, cálcio e magnésio (ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005; MOREIRA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003), fato que não foi observado nesse estudo. Nesse sentido, a aplicação de zinco em solos com teores adequados de macronutrientes parece não interferir nos teores dos mesmos nos grãos de soja. Assim, o efeito antagônico entre esses nutrientes pode ser observado em condições de desequilíbrio dos mesmos no solo.

Tabela 8 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg⁻¹), fósforo (P, g kg⁻¹), potássio (K, g kg⁻¹), cálcio (Ca, g kg⁻¹), magnésio (Mg, g kg⁻¹), ferro (Fe, mg kg⁻¹), cobre (Cu, mg kg⁻¹), manganês (Mn, mg kg⁻¹) e zinco (Zn, mg kg⁻¹) no grão da soja

Trat	N - G			P - G			K - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	52,0	56,7	54,4 a	3,7	4,0	3,9 ab	19,8 Aa	14,8 Ba	17,3
5	56,7	58,9	57,8 a	4,1	4,5	4,3 a	18,3 Aab	15,8 Ba	17,1
10	50,9	56,5	53,7 a	3,1	3,8	3,5 b	16,4 Abc	16,1 Aa	16,3
20	55,2	56,4	55,8 a	3,5	3,1	3,3 b	14,8 Ac	15,5 Aa	15,2
Média	53,7 A	57,1 A		3,6 A	3,9 A		17,3	15,6	

Trat	Ca - G			Mg - G			Fe - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	4,1 Ba	6,1 Aa	5,1	2,7	2,6	2,7 a	246,7	128,2	187,5 a
5	4,0 Ba	6,2 Aa	5,1	2,7	2,6	2,7 a	163,7	182,8	173,3 a
10	3,8 Ba	6,0 Aa	4,9	2,4	2,3	2,4 a	171,6	126,6	149,1 a
20	4,8 Aa	5,4 Aa	5,1	2,7	2,2	2,5 a	150,7	117,9	134,3 a
Média	4,2	5,9		2,6 A	2,4 B		183,2 A	138,9 A	

Trat	Cu - G			Mn - G			Zn - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	46,2 Aa	39,1 Aab	42,7	115,7	74,9	95,3 a	48,6 Ab	45,9 Aa	47,3
5	29,6 Bb	44,2 Aa	36,9	121,7	70,6	96,2 a	52,3 Ab	52,7 Aa	52,5
10	37,1 Aab	27,8 Bc	32,5	123,0	72,1	97,6 a	61,4 Ab	56,2 Aa	58,8
20	41,5 Aa	29,4 Bbc	35,5	121,6	67,6	94,6 a	80,7 Aa	59,0 Ba	69,9
Média	38,6	35,1		120,5 A	71,3 B		60,8	53,5	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor.

Para o Mg e Mn não houve alteração conforme o aumento dos teores de Zn, obtendo diferença significativa no tratamento sem a incorporação de calcário com 2,6 g kg⁻¹ e 120,5 g kg⁻¹ respectivamente. Já o Zn obteve o melhor resultado quando não empregou o calcário na dose de 20 mg kg⁻¹ com média de 80,7 mg kg⁻¹. Mesmo com a ausência de diferenças nos teores dos micronutrientes nos grãos de soja observou-se um ligeiro incremento nos teores de zinco em alguns tratamentos. Tais resultados podem indicar que as plantas de soja apresentam baixa mobilidade do micronutriente para os grãos, independentemente da quantidade aplicada. Isso pode estar associado aos teores altos encontrados nesse compartimento (SANTOS; ESTEFANEL, 1986), os quais já estariam acima do nível crítico (MARSCHNER, 1995). Isto pode explicar que apesar da variação do zinco nas folhas, não houve variação nos teores nos grãos, o que sugere uma baixa

mobilidade do zinco dos tecidos vegetais para os grãos de soja (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Em relação ao trigo, nos micronutrientes não houve influência nos tratamentos para o teor de Fe e Zn, por outro lado houve para o Cu onde as combinações 5 mg kg⁻¹ de Zn com o uso de calcário e, 20 mg kg⁻¹ de Zn sem calagem obtiveram as melhores médias. O Mn, houve interação no uso de calagem, não sendo responsivo as doses de Zn.

Ao analisar os dados da tabela 8, pode-se observar que o N e o K (6,2 kg.ha⁻¹) obtiveram uma disparidade apenas quando não houve incorporação do calcário. Já o Ca, em nenhum dos métodos alcançou significância. O Mg, Fe e o Mn lograram relação entre as ações, com melhor efeito sem aplicação de calcário e de Zn.

Já o Cu portou uma influência entre as ações, com melhor efeito na dose de 5 mg kg⁻¹ sem uso de calagem. O Zn obteve efeito apenas no tratamento com a utilização de Zn nas doses de 20 mg kg⁻¹.

Entretanto, são necessários estudos em longo prazo que possam ou não confirmar os resultados obtidos na safra de soja e o residual no trigo. A avaliação continuada dos tratamentos possibilitará avaliar o efeito residual do zinco, principalmente na produção de grãos e na nutrição mineral de ambas culturas.

Tabela 9 – Média das leituras de nitrogênio (N, g kg⁻¹), fósforo (P, g kg⁻¹), potássio (K, g kg⁻¹), cálcio (Ca, g kg⁻¹), magnésio (Mg, g kg⁻¹), ferro (Fe, mg kg⁻¹), cobre (Cu, mg kg⁻¹), manganês (Mn, mg kg⁻¹) e zinco (Zn, mg kg⁻¹) nos grãos do trigo

Trat	N - G			P - G			K - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	61,7	54,2	58,0 a	4,5	4,1	4,3 a	6,2	5,5	5,9 a
5	64,2	55,5	59,9 a	4,2	4	4,1 a	6,5	5,6	6,1 a
10	58	54,2	56,1 a	4,1	4	4,1 a	5,9	5,5	5,7 a
20	60,4	60,4	60,4 a	3,8	4,3	4,1 a	6,1	6,1	6,1 a
Média	61,1 A	56,1 B		4,2 A	4,1 A		6,2 A	5,7 B	
Trat	Ca - G			Mg - G			Fe - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	1,9	1,6	1,8 a	1,5 Aa	0,6 Ba	1,1	256,8	163,9	210,4 a
5	1,5	1,7	1,6 a	0,9 Ab	0,7 Aa	0,8	194,9	159,4	177,2 ab
10	1,7	1,7	1,7 a	0,6 Abc	0,7 Aa	0,7	215,8	111,5	163,7 ab
20	1,5	1,6	1,6 a	0,3 Ac	0,5 Aa	0,4	191,1	101,2	146,2 b
Média	1,7 A	1,7 A		0,8	0,6		214,7 A	134,0 B	
Trat	Cu - G			Mn - G			Zn - G		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Doze de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	11,3 Aab	13,2 Ab	12,3	105,6	57,8	81,7	47,5	44,1	45,8 b
5	9,8 Bb	34,8 Aa	22,3	81,3	56,7	69,0	50,3	48,7	49,5 b
10	27,0 Aa	22,9 Aab	25	83,8	60,3	72,1	57,8	49,7	53,8 b
20	6,8 Bb	26,2 Aab	16,5	73,5	53,9	63,7	68,3	63,4	65,9 a
Média	13,7	24,3		86,1 A	57,2 B		56,0 A	51,5 A	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor.

8.1.4 Análise Química do Solo Após o Cultivo da Soja e Após o Cultivo do Trigo

Após o cultivo da soja, foi realizada análise dos atributos químicos do Latossolo Vermelho eutroférico proveniente da cidade de Mauá da Serra – PR (23°54'05"LS e 51°13'46" LW), que foi obtido da camada 0 – 20 cm oriundo de pasto degradado e sem manejo. A tabela 10, mostra as médias das leituras com a aplicação das doses de Zn, correlacionado com aplicação e sem aplicação de calcário.

Os teores de C (36,2 g kg⁻¹), Al³⁺ (0,4 cmol_c dm⁻³) H⁺ + Al³⁺ (13,3 cmol_c dm⁻³), Cu (2,4 mg dm⁻³) e Fe (67,8 mg dm⁻³) tiveram respostas expressivas apenas ao tratamento sem uso de calagem. Embora a disponibilidade de Cu seja diminuída com a elevação do pH do solo (HARMSSEN; VLEK, 1985), não foi observada redução significativa de sua absorção, com a calagem. A forte complexação de Cu pela matéria orgânica pode explicar, em parte, a menor

absorção desse nutriente com o aumento do pH do solo, apesar de apresentar diminuição de sua solubilidade com o aumento do pH (LINDSAY, 1972).

De maneira contrária o Ca ($5,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mn ($116,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), pH com 4,8 e 5,0 para o controle (0 mg kg^{-1} de Zn) e 5 mg kg^{-1} de Zn, respectivamente, resultaram em excelentes médias quando incorporado calcário ao solo. Os resultados para Mn discordam de Fageria e Baligar (2002), que afirmam diminuir significativamente o teor deste nutriente com o aumento de pH, o que pode estar relacionado com a absorção ou precipitação desse micronutriente. Efeitos positivos da calagem sobre a nutrição de Mg na cultura da soja também foram observados em outros trabalhos com calcário incorporado, no sistema convencional de preparo do solo (RAIJ et al., 1977; QUAGGIO; MASCARENHAS; BATAGLIA, 1982), e na superfície, em sistema de plantio direto (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999). Ressalta-se que, apesar dos valores relativamente baixos de pH, os teores de Al trocável não eram tóxicos, e os teores de Ca e Mg trocáveis foram suficientes para o desenvolvimento da cultura de soja. Entretanto, altas produtividades também têm sido observadas em solos ácidos sob plantio direto, com teores elevados de Al trocável (PÖTTKER; BEN, 1998), devido ao seu menor efeito tóxico decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis (MIYAZAWA; PAVAN; SANTOS, 1996).

O P não apresentou divergência entre os procedimentos, provavelmente devido a precipitação em decorrência a reação com o Ca que é considerada uma das principais vias para diminuição da disponibilidade desses nutrientes para as plantas (SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980), já o K teve relação entre os dois tratamentos (Calcário x Zn), sendo os maiores teores encontrado a partir da dose 5 mg kg^{-1} de Zn, com uso de calcário, porventura de não participar de reações de precipitação ou adsorção por efeito do Ca (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Para o Zn, também observou-se relação entre os dois métodos, porém, obtendo melhores resultados a partir de 10 mg kg^{-1} de Zn sem calagem. Pode se observar também que houve redução da absorção de Zn pela soja com a calagem. Entretanto, não foram observados sintomas de deficiência do nutriente. Resultados semelhantes foram obtidos por Mascarenhas et al. (1988), que observaram decréscimo de Zn nos teores foliares, em consequência da correção da acidez do solo, o que não foi suficiente para acarretar deficiência do elemento,

mesmo na dose mais elevada de calcário. Destaca-se que a menor disponibilidade de Zn coincide com valores elevados de pH (LINDSAY, 1972).

Tabela 10 – Média das leituras de pH (H₂O), Al³⁺ (cmol_c dm⁻³), H⁺ + Al³⁺ (cmol_c dm⁻³), fósforo (mg dm⁻³), potássio (mg dm⁻³), cálcio (cmol_c dm⁻³), magnésio (cmol_c dm⁻³), ferro (mg dm⁻³), cobre (mg dm⁻³), manganês (mg dm⁻³), zinco (mg dm⁻³) e carbono orgânico (g kg⁻¹) após o cultivo da soja

Trat	pH (H ₂ O)			Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)			H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	4,1 Ba	4,8 Aa	4,5	0,3	0,1	0,2 a	12,1	8,4	10,3 a
5	4,2 Aa	4,3 Ab	4,3	0,4	0,3	0,4 a	12,8	9,9	11,4 a
10	4,0 Ba	5,0 Aa	4,5	0,6	0,1	0,4 a	13,1	8,0	10,6 a
20	4,1 Ba	4,8 Aab	4,5	0,4	0,1	0,3 a	15,0	8,8	11,9 a
Média	4,1	4,7		0,4 A	0,2 B		13,3 A	8,8 B	
Trat	P (mg.dm ⁻³)			K (cmol _c dm ⁻³)			Ca (cmol _c dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	3,5	3,8	3,7 a	0,6 Aa	0,2 Ba	0,4	v	5,2	5,2 a
5	5,3	5,7	5,5 a	0,3 Aab	0,2 Aa	0,3	4,0	4,8	4,4 a
10	4,8	5,6	5,2 a	0,2 Bb	0,5 Aa	0,4	3,5	4,8	4,2 a
20	3,8	4,9	4,4 a	0,3 Aab	0,2 Aa	0,3	4,1	5,4	4,8 a
Média	4,4 A	5,0 A		0,4	0,3		3,9 B	5,1 A	
Trat	Mg (cmol _c dm ⁻³)			Fe (mg.dm ⁻³)			Cu (mg.dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	1,5	3,1	2,3 a	70,7	36,7	53,7 a	2,6	2,1	2,4 a
5	1,8	2,6	2,2 a	65,3	36,3	50,8 a	2,3	2,3	2,3 a
10	1,6	3,6	2,6 a	72,3	31,0	51,7 a	2,2	1,9	2,1 a
20	1,8	3,1	2,5 a	63,0	35,8	49,4 a	2,3	2,0	2,2 a
Média	1,7 B	3,1 A		67,8 A	35,0 B		2,4 A	2,1 B	
Trat	Mn (mg.dm ⁻³)			Zn (mg.dm ⁻³)			C - orgânico (g.kg ⁻¹)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	92,1	130,1	111,1 a	3,3 Ac	2,1 Ab	2,7	34,0	35,1	34,6 a
5	97,6	111,3	104,5 a	8,1 Ab	4,2 Bab	6,2	36,0	31,8	33,9 a
10	96,3	114,5	105,4 a	11,5 Aa	4,3 Bab	7,9	37,6	34,1	35,9 a
20	93,7	111,3	102,5 a	12,6 Aa	5,4 Ba	9,0	37,2	32,3	34,8 a
Média	94,9 B	116,8 A		8,9	4,0		36,2 A	33,3 B	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Para a cultura do trigo, apontou-se que o carbono orgânico (29,8), o Mn (120,7), e o pH (5,2), resultaram e uma disparidade importante, apenas quando realizado a calagem.

Não ocorreu desconformidade relevante para o P, Fe e Cu em nenhuma das ações. Já o K, reagiu apenas sob influência das dose de Zn, resultando em uma melhora performance quando aplicado a dose de 10 mg kg⁻¹ do nutriente em questão.

O Ca e o Zn apontaram uma discrepância expressiva quando utilizou-se calcário incorporado no solo, além da aplicação de 20 mg kg⁻¹ de Zn.

H⁺ + Al³⁺ e Al³⁺ tiveram resultados significativos apenas quando não foi utilizado o calcário, o que não justificar ser um bom resultado, uma vez que esses elementos são tóxicos a planta, remetendo um melhor desempenho a prática da calagem.

Tabela 11 – Média das leituras de pH (H₂O), Al³⁺ (cmol_c dm⁻³), H⁺ + Al³⁺ (cmol_c dm⁻³), fósforo (mg dm⁻³), potássio (mg dm⁻³), cálcio (cmol_c dm⁻³), magnésio (cmol_c dm⁻³), ferro (mg dm⁻³), cobre (mg dm⁻³), manganês (mg dm⁻³), zinco (mg dm⁻³) e carbono orgânico (g kg⁻¹) após o cultivo do trigo.

Trat	pH (H ₂ O)			Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)			H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	4,6	5,2	4,9 a	0,5	0,2	0,4 a	8,4	5,9	7,2 a
5	4,6	5,2	4,9 a	0,6	0,1	0,4 a	8,8	5,9	7,4 a
10	4,5	5,2	4,9 a	0,8	0,1	0,5 a	9	5,5	7,3 a
20	4,6	5,2	4,9 a	0,5	0,2	0,4 a	7,5	5,8	6,7 a
Média	4,6 B	5,2 A		0,6 A	0,2 B		8,4 A	5,8 B	
Trat	P (mg.dm ⁻³)			K (cmol _c dm ⁻³)			Ca (cmol _c dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	14,5	24,7	19,6 a	0,1 Ba	0,2 Aa	0,2	5,5 Bb	9,2 Ab	7,4
5	16,2	10,4	13,3 a	0,1 Aa	0,1 Aa	0,1	12,1 Aa	8,3 Bb	10,2
10	23,9	15,2	19,6 a	0,0 Ba	0,2 Aa	0,1	8,4 Aab	9,5 Ab	9
20	16,7	24,2	20,5 a	0,1 Ba	0,1 Aa	0,1	9,3 Bab	17,8 Aa	13,6
Média	17,8 A	18,6 A		0,1	0,2		8,8	11,2	
Trat	Mg (cmol _c dm ⁻³)			Fe (mg.dm ⁻³)			Cu (mg.dm ⁻³)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	1,5	2,9	2,2 a	138,5	103,4	121,0 a	4,4	6,2	5,3 a
5	1,5	3	2,3 a	112,1	166,6	139,4 a	6,4	5,4	5,9 a
10	1,3	3	2,2 a	154	125,4	139,7 a	6,6	5,9	6,3 a
20	1,5	2,9	2,2 a	174,9	159	167,0 a	5,8	7	6,4 a
Média	1,5 B	3,0 A		144,9 A	138,6 A		5,8 A	6,1 A	
Trat	Mn (mg.dm ⁻³)			Zn (mg.dm ⁻³)			C - orgânico (g.kg ⁻¹)		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	104,6	119,3	112,0 a	3,4 Ab	2,4 Bc	2,9	21,9	29,8	25,9 a
5	109,7	115,7	112,7 a	10,4 Aa	7,2 Bb	8,8	22,9	30,3	26,6 a
10	101,8	125	113,4 a	15,7 Aa	17,9 Aa	16,8	21,4	31,1	26,3 a
20	100,9	122,9	111,9 a	15,5 Aa	20,9 Aa	18,2	27,5	28	27,8 a
Média	104,3 B	120,7 A		11,3	12,1		23,4 B	29,8 A	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Apontou-se que o carbono orgânico (29,8), o Mn (120,7), e o pH (5,2), resultaram e uma disparidade importante, apenas quando realizado a calagem.

Não ocorreu desconformidade relevante para o P, Fe e Cu em nenhuma das ações. Já o K, reagiu apenas sob influência das dose de Zn, resultando em uma melhor performance quando aplicado a dose de 10 mg kg⁻¹ do nutriente em questão.

O Ca e o Zn apontaram uma discrepância expressiva quando utilizou-se calcário incorporado no solo, além da aplicação de 20 mg kg⁻¹ de Zn.

H⁺ + Al³⁺ e Al³⁺ tiveram resultados significativos apenas quando não foi utilizado o calcário, o que não justificar ser um bom resultado, uma vez que esses elementos são tóxicos a planta, remetendo um melhor desempenho a prática da calagem.

8.1.5 Produtividade da Soja e do Trigo

Analisando a produtividade, separado em peneiras menor que 11, 12 e maior que 12, tem-se que grãos com peneira menor que 11 não teve diferença significativa perante os métodos. Já na peneira 12 houve diferença significativa apenas para adição das doses de Zn, sendo a melhor dose de 10 mg kg⁻¹ (20,4 g/vaso). O mesmo foi verificado nas peneiras maior que 12 com melhor resultado no controle e 5 mg kg⁻¹ de Zn, novamente não havendo desequilíbrio expressivo para adição de calcário.

Tabela 12. Média das medidas de diâmetro de peneira (mm).

Trat	<11			12			>12		
	Calcário			Calcário			Calcário		
Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média
0	3,5	2,2	2,9 a	6,0	9,2	7,6 b	90,5	88,5	89,5 a
5	1,3	2,0	1,7 a	8,8	5,6	7,2 b	89,8	92,4	91,1 a
10	18,3	11,2	14,8 a	22,5	18,3	20,4 a	59,2	70,5	64,9 b
20	1,1	7,1	4,1 a	6,3	9,9	8,1 b	92,7	83,0	87,9 ab
Média	6,1 A	5,6 A		10,9 A	10,8 A		83,1 A	83,6 A	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Para a variável massa de 100 grãos na soja ocorreu diferença significativa para apresentando comportamento linear à medida que se aumentou as doses de Zn exceto para a dose de 10 mg kg⁻¹ de Zn em ambos os tratamentos, tendo os menores resultados para a cultura da soja . As médias obtidas com as diferentes doses variaram de 14,4 a 18,5 g entre a menor e a maior dose para a soja e . Choudhary, Jhajharia e Kumar (2014), Keram et al. (2014) e Kobraee e Shamsi (2015) também verificaram aumento na massa de grãos de soja, trigo e soja, respectivamente, com a aplicação de Zn nessas culturas.

Por outro lado a cultura do trigo não apresentou diferença significativa para nenhum dos tratamentos, corroborando com Mallarino et al. (2014) não encontraram aumento significativo na produtividade da soja e do milho com aplicação de Zn em solos com teores desse micronutriente considerados adequados ou altos para os solos da região.

A massa de 1000 grãos apresentou aumento, em relação às doses, semelhante ao aumento encontrado para o teor foliar de Zn. Essa relação se deve ao fato de o Zn desempenhar importantes funções nas plantas, entre elas podemos destacar seu importante papel no metabolismo do nitrogênio e dos carboidratos e na síntese de aminoácidos e proteínas (SADEGHZADEH, 2013; KERAM et al., 2014). Assim, como a formação de grãos depende de proteínas e carboidratos na planta (BELOW, 2002) a massa de grãos está diretamente relacionada com o suprimento de Zn.

Tabela 13 – Massa de 100 grãos da soja e 1000 grãos do trigo.

Tratamento	Massa de 100 grãos			Massa de 1000 grãos		
	Soja			Trigo		
	Calcário			Calcário		
	Dozes de Zn	Sem	Com	Média	Sem	Com
0	17,1 Bc	15,8 Aa	15,3	20,0	24,0	22,0 a
5	17,6 Aab	16,8 Aa	19,0	31,0	28,0	30,0 a
10	14,4 Aa	13,4 Bb	17,7	30,0	32,0	31,0 a
20	18,5 Bb	16,9 Aa	19,1	30,0	30,0	30,0 a
Média	16,7	15,7		28,0 A	29,0 A	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: O autor

Keram et al. (2014) que encontraram um aumento de produtividade de 19,19% quando se aplicou 10 kg ha⁻¹ de Zn na cultura do trigo. Inocêncio et al. (2012) obtiveram aumento da produtividade da soja com adubação com Zn mesmo em solo com o teor elevado (3,6 mg dm⁻³) desse micronutriente.

9 CONCLUSÕES

Quando analisado o solo de Mauá da Serra – PR, constatou-se que a calagem junto com a fertilização a partir do Zn com quantidade média de 10 mg kg⁻¹, para a cultura da soja, apresentou rendimentos superiores para quantidade de vagens, número de grãos, matéria seca, peso de grãos e matéria seca total. Encontrou – se nas folhas valores maiores para N, K, Mg, Ca e Zn. Nos grãos as maiores média dos nutrientes, foram para P, K, Ca, Cu e Zn, já para o solo, K, Zn e pH, bem como maior número de sementes para peneira 12 mm e maior que 12 mm. Na cultura do trigo os montantes mais absolutos foram obtidos para SPAD, Ca, Mn e Zn nas folhas, Mg, Cu e Zn nos grãos. K, Ca e Zn no solo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. L.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas, 1983a. p.11-22.
- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM, REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas, 1983b. p.10-31.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de quantidade. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. p. 97-119.
- ALLEN, S. E.; TERMAN, G. L.; CLEMENTS, L. B. **Greenhouse technique for soil-plant fertilizer research**. Muscle Shoals: Tennessee Valley Authority. 1976. 57p.
- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 29-39.
- ANDRÉ, E. M.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; PALMA, L. A. S. Fração de zinco em solos arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon spp cv. Tifton* – 85. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 451-459, maio/jun. 2003.
- ARAÚJO, J. C. T.; NASCIMENTO, C. W. A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 977-985, nov./dez. 2005.
- ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; OSORIO, F.; LÓPEZ, E.; SOTO, B. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 288, n. 1, p. 21-29, 2005.
- BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; FAGERIA, N. K. **Zinco e ferro na cultura do arroz**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 71p.
- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. 774 p.
- BARROW, N.J. The effect of phosphate on zinc sorption by a soil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 38, p. 453-459, Sep.1987.
- BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, C.E.de O; OLIVEIRA, O.F. de; NAGAY, V.; RAMOS, V.J. Resposta à calagem de três cultivares de trigo com tolerância diferencial ao alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n. 2, p.139-147, 1985.

BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Belo Horizonte, n. 99, p. 7-12, 2002.

BERETTA, M. J. G.; FOGAÇA, M.; MORAES, W. B. C. Introdução experimental de obstruções típicas de declínio em citurs e sua possível associação com fatores do solo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.21, n. 12, p. 1261-1265, 1986.

BERTRAND, J.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V. **O mundo da soja**. São Paulo: HUCITEC, 1987.

BONNECARRÉRE, R.A.G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; PILAU, F. G.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D. Resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de zinco. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v.10, n.1, p. 214-222, 2004.

BOSWELL, F.C.; PARKER, M.B.; GAINES, T.P. Soil zinc and pH effects on zinc concentrations of corn plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, p.1575-1600, 1989.

BRAMMER, S. P.; MARTINELLI, P.; MORAES-FERNANDES, M. I. B.; PRESTES, A. M.; ANGRA, D. C. **A pontecialidade de Agropyron, espécie afim ao trigo cultivado, como fonte de itrogressão de genes agronomicamente importantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

BRAMMER, S.P. **Mapeamento de genes de resistência parcial à ferrugem da folha em cultivares brasileiras de trigo** (*Triticum aestivum* L. em Thell). Porto Alegre, 2000. 105 p. Tese (Doutorado em Genética) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agronegócio. 2013**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 11 abr. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cultivo de Soja: A História da Soja do Brasil no Séc. XX**. Disponível em: <[HTTP://www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)>. Acesso em: 21 fev. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2016/2017 a 2026/2027**. Projeções de Longo prazo. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.

BRENNAN, R.F.; ARMOUR, J.D.; REUTER, D.J. Diagnosis of zinc deficiency. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.167-181.

BRUM, A. L. HECK, C. R.; LEMES, C. L.; MÜLLER, P. K. A economia mundial da soja: impactos na cadeia produtiva da oleaginosa no Rio Grande do Sul 1970-2000. In: CONGRESSO DA SOBER, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2005.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. **Biodiesel sem a agricultura familiar**. 2008. CISOJA: Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/biodiesel-agricultura-familiar-12-08-08.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

BUGBEE, G.J.; FRINK, C.R. Phosphorus and zinc fertilization of corn grown in a Connecticut soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, p.269-276, 1995.

BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Ed.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 125-137.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAKMARK, I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, The Hague, v. 247, n. 1, p.3-24, 2002.

CAMARGO, A.P. **Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo**. 1972. 59p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, Piracicaba, 1972.

CAMARGO, L.C.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p. 901-926.

CEPEA. Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada/CNA. Confederação Nacional da Agricultura. **Produto Interno Bruto do Agronegócio – Dados de 1994 a 1999**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 23 fev. 2011.

CHOUDHARY, P.; JHAJHARIA, A.; KUMAR, R. Influence of sulphur and zinc fertilization on yield, yield components and quality traits of soybean (*Glycine Max L.*). **The Bioscan**, v. 9, n. 1, p. 137-142, 2014.

CISOJA. **Utilização do grão de soja**. nov. 2017. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/index.php?p=historico>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

CNA. Confederação Nacional da Agricultura. **Agropecuária tira o Brasil da recessão**. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/agropecuaria-tira-o-brasil-da-recessao>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

CNA. Confederação Nacional da Agricultura. **Brasil pode virar líder mundial na produção de soja em 2019**. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/brasil-pode- virar-lider-mundial-em-soja-em-2019>>. Acesso em: 8 mar. 2018

COLLE, C. A. A. **Cadeia produtiva do trigo no Brasil**: contribuição para a geração de emprego e renda. 1988. 160p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos**. Safra 2017/2018, v. 5, n.5, Quinto levantamento, fev. 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_02_08_17_09_36_fevereiro_2018.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2016/2017, v.4, n.8, dez. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_22_12_08_27_boletim_graos_dezembro_2016.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2016/2017, v.4, n.9, jun. 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/1314_552b94fb6871d0dd88398f0234e90c60>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acesso em: 4 nov. 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos> Acesso em: 3 fev. 2011.

CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SARRUGE, J.R.; PALHANO, J.B.; CAMPO, R.J. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMBRAPA SOJA. **Ecologia, manejo e adubação da soja**. Londrina, 1979. p.19-49. (Circular Técnica, 2).

CRUZ NETO, Raimundo de Oliveira. **Calagem, fósforo, manganês e zinco para mudas clonais de cacaueteiro**. 2012. 77 folhas. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus –Bahia, 2012.

DE MUNER, L. H. et al. Disponibilidade de zinco para milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 29-36, 2011.

EL HAGGAN, E. A. L. M. A. Effect of micronutrients foliar application on yield and quality traits of soybean cultivars. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, Dhaka, v. 7, n. 11, p. 908-914, 2014.

EL SAYED, S. A. A.; HELLAL, F. A.; MATTER, F. M. A.; MAHFOUZ, S. A. Micronutrient and compost induced changes of growth, yield, nutrient and phytochemical content of canola grown in saline soil. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 9, n. 3, p. 16-22, 2015.

EMBRAPA. **Cultivo de soja – Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

EMBRAPA. **Embrapa soja**. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 3 jun. 2003.

EMBRAPA. **Embrapa Soja**. Gestão no Campo. Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/soja/>>. Acesso em: 30 abr. 2012.

EMBRAPA. **História do trigo no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 2 jun. 2017.

EMBRAPA. **Sistema de Produção Embrapa**: Cultivo de trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo>> - Acesso em: 12 abr. 2014.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: Paraná – 2007. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 217p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil, 2001/2002. Londrina, 2001. 267 p. (Documentos, 167).

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.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230p.

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, mar. 2000.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por bases em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, set./dez. 2001.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.12, p.1211-1215, 2005.

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

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.prodstat – Crops**. 2012. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD> Acesso em:9 mar. 2014.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina**. San José, DCA, 1982. 422 p.

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

FERNANDES, A. R.; PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G. MIRANDA, J. R. P. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de feijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 599-608, jul./ago. 2007.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.

FORNES, F.; GARCIA-DE-LA-FUENTE, R.; BELDA, R.M.; ABAD, M. "Alperjo" compost amendment of contaminated calcareous and acidic soils: effects on growth and trace element uptake by Five Brassica species. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, p. 3982-3990, 2009.

FORNO, D.A.; YOSHIDA, S.; ASHER, C.J. Zinc deficiency in rice. I. Soil factors associated with the deficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v.42, n.3, p.537-550, 1975.

FRANCO, I. A. L.; MARTINEZ, H. E. P.; ZABINI, A. V.; FONTES, P. C. R. Translocação e compartimentalização de Zn aplicado via ZnSO₄ e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.332-339, 2005.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.7, n.12, 2011. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

FRITSCHI, F.B.; RAY, J.D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll *a/b* ratio. **Photosynthetica**, Prague, v. 425, p. 92-98, 2007.

FUNGUETO, C.I.; PINTO, J.F.; BAUDET, L. PESKE, S.T. Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.32, n.2, p. 117-123, 2010.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2002. p. 185-226.

GAMA, M.V. Efeitos do azoto e do potássio na composição mineral do trigo "Impeto" e do tomate "Roma". **Agronomia Lusitana**, Oeiras, v.38, p.111-121, 1977.

GAO, X.; SCHRÖDER, T.; HOFFLAND, E.; ZOU, C.; ZHANG, F.; ZEE, S.E.A.T.M. van. Geochemical modeling of zinc availability for rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 301-309, 2009.

GODINHO, W. H. C. **Trigo: Análise da conjuntura agropecuária**. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento-Departamento de Economia Rural, 2013.

GRASSI FILHO, H. **Nutrição mineral de plantas**. Disciplina do curso de pós-graduação em Agronomia. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999.

GUANZIROLI, C. E. **Agronegócio no Brasil: perspectivas e limitações** Abril/2006. Disponível em: < http://www.uff.br/econ/download/tds/UFF_TD186.pdf > Acesso em: 19 jul. 2016.

HARMSSEN, K.; VLEK, P.L.G. The chemistry of micronutrients in soil. **Fertilizer research**, The Hague, v. 7, p.1-42, 1985.

HIRAKUR, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p

INOCENCIO, M. F. et al. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p.1550-1554, 2012.

JESUS, S.V.; MARENCO, R.A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, Manaus, v.38, n.4, p.815-818, 2008.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 4.ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 331p.

KERAM, K. S.; SHARMA, B. L.; KEWAT, M. L.; SHARMA, G. D. Effect of zinc fertilization on growth, yield and quality of wheat grown under agro-climatic condition of Kymore Plateau of Madhya Pradesh, Índia. **The Bioscan**, v. 9, n. 4, p. 1479-1483, 2014.

KIEKENS, L.; COTTENIE, A. Principles of investigation on the mobility and plant uptake of heavy metals. In: LESCHBER, R.; DAVIES, R.D.; L'HERMITE, P. (Ed.) **Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils**. London: Elsevier, 1985. p.32-41.

KOBRAEE, S.; SHAMSI, K. Relationships between oil, protein and dry matter in soybean seed with some of micronutrients fertilization. **Research Journal of Soil Biology**, v. 7, n. 2, p. 56-63, 2015.

KOCHIAN, L. V. 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Winsconsin: Soil Science Society of America, 1991. p.229-296.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, p. 46, 2010. (Embrapa Soja. Documentos, 319).

LEÃO, F.S. C.; GIRAFFA, H. A. R; MOTTA, J.C.M. **O trigo no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa –CNPT, 1972.

LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2.ed. Winsconsin: Soil Science Society of America, 1991. p.89-111.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.

LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 24, p.147-186, 1972.

LOPES, A.S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo. ANDA, 1999. 72p. (Boletim Técnico, 8).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: nutrição de plantas e fertilidade do solo São Paulo: Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio. 1986. 70p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MALLARINO, A. et al. Corn and Soybean Yield Response to Micronutrients in Northeast Iowa. **Iowa State Research Farm Progress Reports**. Paper 2206, 2014. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/farms_reports/2206>. Acesso em: 5 jan. 2016.

MANDAL, L.N.; MANDAL, B. Transformation of zinc fractions in rice soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, p. 205-212, 1987.

MARGARIDO, M. A.; FERNANDES, J. M.; TUROLLA, F. A. **Análise da formação de preços no mercado internacional de soja**: o caso do Brasil. São Paulo, 2002. p. 47-85.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Academic Press, 2012. 651 p.

MARTINS, T.D. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos** – trigo. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v.47, n.1, p.137-142, 1988.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, n.1, p.164-172, 1996.

MATHAN, K. K. Direct effect of magnesium, potassium and calcium on yield, protein content and Mg uptake by finger millet (*Eleusine caracana*) in acid soil. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v.40, n. 4, p. 609-612, 1995.

MATSUNAKA, T.; WATANABE, Y.; MIYAWAKIA, T.; ICHIKAWA, N. Prediction of grain protein content in winter wheat through leaf color measurements using a chlorophyll meter. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.43, p.127-134, 1997.

McBRIDE, M.B. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.35-84.

MENDES, A.G. (Coord.). **Liberação de mercado e integração econômica no MERCOSUL**: estudo de caso sobre o CAI tritícola. Projeto PNUD/BRASIL. Brasília: Ipea, 1994. p. 172. (Estudos de Política Agrícola, n.10).

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. p. 525-536.

MEURER, E.R.; WANG, G.M.; WANG, S.R. Função dos nutrientes e sintomas de deficiências, In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p.156-167.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. **Abstracts...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPAC/PAC, 1996. p.8.

MORAES, M.F. et al. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004.

MORAES-FERNANDES, M.I.B.; ZANATTA, A.C.A.; PRESTES, A.M ; CAETANO, V.R.; BARCELLOS, A.L.; ANGRA, D.C.; PANDOLFI, V. Cytogenetics and immature culture embryo at Embrapa Trigo breeding program: transfer of disease from related species by artificial resynthesis of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, n.4, p.1051-1062, 2000.

- MORAGHAN, J.T.; MASCAGNI JR., H.J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: SSSA, 1991. p.371-425.
- MOREIRA, A. et al. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K.; GARCIA y GARCIA, A. Effect of liming on the nutritional conditions and yield of alfafa grown in tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.34, p.1107-1119, 2011.
- 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, 2015.
- MUNDOSCK, C. M. **Quando aplicar o nitrogênio em trigo cevada e aveia**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- NOGUEIRA, F. D.; PAULA, M. B.; TANAKA, R. T.; ANDRADE, A. M. S. Interações entre níveis de calagem e de zinco para a cultura da mandioca em solo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 3, n. 2, p. 99-104, 1984.
- NOGUEIRA, P. D. M.; Sena Júnior, D. G. S.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.
- OHLROGGE, A.J.; KAMPRATH, E.J. Fertilizer use in soybeans. In: NELSON L.B. (Ed.). **Changing patters in fertilizer use**. Madison: SSSA, 1968. p.273-295.
- OHSE, S. et al. Efeito do tratamento de sementes de arroz irrigado com zinco em relação a aplicação no substrato. **Revista da Faculdade de Agronomia, Veterinária e Zootecnia**, Uruguaiana, v. 5, n. 1, p. 35- 41, 1999.
- OHSE, S. et al. Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. **Revista Faculdade Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 7, n. 1, p.73-79, 2000.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. de. **Efeitos do manganês sobre a soja em solução nutritiva e em solo do cerrado do triângulo mineiro**. 1996. 69f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). **A cultura do trigo**, Safra 2015/2016. Brasília: Conab, 2017. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.
- OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, S. C. et al. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p.387-396, 2003.

ORIOLI JUNIOR, V. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. **Revista Ciência del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, v.8, n.1, p. 28-36, 2008.

PANDOLFO, C.M.; TEDESCO, M.J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.753-758, 1996.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (IAPAR. Circular, 76).

PIANA, C. F. de B.; CARVALHO, F. I. F. Trigo. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E.R. T. (Ed). **Origem e Evolução de Plantas Cultivadas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. p. 821- 851.

PINHO, C. A soja é pop. **Istoé**, São Paulo, n.1796, p. 80-81, 2004.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998.

PRADO, R.M. et al. Crescimento inicial e estado nutricional do trigo submetido à aplicação de zinco via semente. **Revista Ciência del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, v.7, n.2, p. 22-31, 2007.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A. Respostas das culturas à calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRICOLAS, Campinas, 1983. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.123- 157.

QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; FURLANI, A.M.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.337-344, 1998.

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II - Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.113-118, 1982.

RAE, P.R. **A história do Trigo**. 2008. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br>> Acesso em: 16 maio 2016.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C.; LAUN, C.R.P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, p.28-31, 1977.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C.; LAUN, C.R.P Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, p.28-31, 1977.

RAIJ, B.van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto do Potássio e Fósforo, 1983. 142p.

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v. 133, n. 3, p. 378-382, 1982.

RODRIGUES, L. V. et al. Teor de clorofila e NDVI de soja em resposta ao ataque do percevejo-marrom, *Euschistus heros*. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8., 2013, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2013. 213 p.

ROSA, I. T. et al. Feijoeiro em solo de cerrado submetido a doses de manganês e zinco via foliar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 77-81, jan./fev. 2003.

ROSSI, M.R.; NEVES, F.M. **Estratégias para o trigo no Brasil**. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

SADEGHZADEH, B. A review of zinc nutrition and plant breeding. **Jornal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 13, p. 905-927, 2013.

SALLA, L.; RODRIGUES, J.C.; MARENCO, R.A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, Supl. 2, p.159-161, 2007.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1980. p. 263-310.

SÁNCHEZ, P.A. **Suelos del Trópico: características y manejo**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1981. 660 p.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Calagem**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_34_711200516717.html>. Acesso em: 23 nov. 2017.

SANTOS, O. S.; ESTEFANEL, V. Efeito de micronutrientes e do enxofre aplicados nas sementes de soja. **Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 5- 17, jan./mar. 1986.

SANTOS, O.S., RIBEIRO, N.D. 1994. Fontes de zinco aplicadas em sementes de milho, em solução nutritiva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.1, p. 59-62, 1994.

SCHÖFFEL, E.R.; COLLÚCIO, A.D. Comportamento de variedades de arroz sob diferentes doses de zinco aplicadas no solo. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 7/8, n. 1, p. 27-31, 2001.

SEAB. Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Consumo aparente e demanda potencial de calcário no Paraná**. Curitiba, 1987a.

SEAB. Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Programa de calcário no Paraná: Sub-pro grama de crédito para mini e pequenos produtores**. Curitiba, 1987b.

SECEX. Secretaria do Comercio Exterior. **Agronegócio**. 2002. Disponível em: <<http://www.portal.siscomex.gov.br/>>. Acesso em: 11 abr. 2013.

SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G.M. S.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M.S. Influência do fotoperíodo e temperatura do ar sobre o crescimento, floração e maturação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, p.149-154, 1997.

SFREDO, G.J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

SHARMA, P. N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C.; SHARMA, C. P. Zinc deficiency and pollen fertility in Maize (*Zea mays*). **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, p. 221-225, 1990.

SHUKLA, U.C.; MITTAL, S.B. Characterization of zinc adsorption in some soils of India. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 905-908, 1979.

SHUKLA, V.C.; MUKHI, A.K. Ameliorative role of zinc on maize growth (*Zea mays* L.) under salt-affected soil conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v.87, p.423-432, 1985.

SILVA, M. M. **Fontes e modos de aplicação de manganês na nutrição, produção e qualidade da soja cultivada em solo sob cerrado**. 2000. 174p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba.

SMITH, C.B. Sweet com growth responses and leaf concentrations as affected by lime types and fertilizer treatments in a five-year study. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 104, n.4, p.572-577, 1984.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUSA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós, 1991. p. 219-242.

SOUSA, E. L. L. de; MARGARIDO, M. A. **Formação de Preços da Soja no Brasil**. São Paulo, 1998. p. 45-61.

SOUZA, E.C.A.; FERREIRA, M.E. Zinco no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, FCAVJ, 1988. p. 279-317.

SOUZA, P.G.A. **Resposta diferencial à calagem e ao fósforo de três cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) com diferentes graus de tolerância ao alumínio**. 1996. 137p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1996.

SPECTRUM TECHNOLOGIES. **SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter**: product manual. Plainfield: Spectrum Technologies, 2009. 23p.

STAHL, R.S.; JAMES, B.R. Zinc sorption by iron oxides coated sand as a function of pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p.1287-1290, 1991.

STEVENSON, F.J. Micronutrients soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.427-472.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Belmont: The Benjamin Cummings, 2013.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C. Effect of liming on soybean protein and oil yield. **Better Crops International**, Atlanta, v.7, n. 2, p.9, 1991.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANOD'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.463-469, 1995.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2000. p. 95-113.

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, 2004.

THONGBAI, P.; HANNAM, R. J.; GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Interaction between zinc nutritional status of cereal and Rhizoctonia root severity. **Plant and Soil**, The Hague, v.153, p. 207-214, 1993.

TOMASINI, R.G.A. Trigo: aspectos sociais e econômicos. In: FESTA NACIONAL DO TRIGO, 3., 1985, Cruz Alta. **Trigo: a auto-suficiência nacional pode ser apenas uma questão de querer.** Cruz Alta: Prefeitura Municipal Secretaria de Turismo, 1985. p.23-36.

TREHAN, S.P.;SEKHON, G.S. Effect of clay, organic matter and CaCO₃ content of zinc adsorption by soils **Plant and Soil**, The Hague, v.46, p.329-336, 1977.

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

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, PRODUCTION, SUPPLY AND DISTRIBUTION. **Foreign Agricultural Service**. 2016. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data>>. Acesso em: 5 dez. 2016.

UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 48, p.141-203, 1992.

VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes**. 2001. 91f. Dissertação (Doutorado Fertilidade de solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2001.

VALLEE, B.L.; AULD, D. S. Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. **Biochemistry**, New York, v. 29, p. 5647-5659, 1990.

VENCATO, A. Z. et al. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2010.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; LEÃO, H. C.; SILVA, M. M. Técnicas de utilização de calcário e gesso na cultura do citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 4., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1996. p.131-160.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.

WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, p.545-560, 1996.

WEAR, J. I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 81, n.4, p. 311-315, Oct. 1956.

WINTER CEREAL PRODUCTION. **Winter wheat production manual**. Saskatoon: University of Saskatchewan, 2002. Chap. 6. Disponível em: <http://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/chapter-6.php>. Acesso em: 24 jun. 2016.

WUTKE, A.C.P.; GARGANTINI, H. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 45, p. 796-805, 1962.

ZHANG, F.; ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Release of zinc mobilizing root exudates in different plant species as affected by zinc nutritional status. **Journal of plant nutrition**, New York, 14, n. 1, p. 675-686, 1991.

APÊNDICES

APENDICE A

Cultivo da soja



Fonte: O autor.



Fonte: O autor.

APÊNDICE B

Cultivo do Trigo



Fonte: O autor



Fonte: O autor