



MAYKOM FERREIRA INOCÊNCIO

**RESPOSTAS DA SOJA A DIFERENTES
ALTERNATIVAS DE ADUBAÇÃO DE
RESTITUIÇÃO DE ZINCO EM SOLO DE
CERRADO**

**LAVRAS – MG
2010**

MAYKOM FERREIRA INOCÊNCIO

**RESPOSTAS DA SOJA A DIFERENTES ALTERNATIVAS DE
ADUBAÇÃO DE RESTITUIÇÃO DE ZINCO EM SOLO DE CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto

Co-orientador

Dr. Álvaro Vilela de Resende

**LAVRAS - MG
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Inocêncio, Maykom Ferreira.

Respostas da soja a diferentes alternativas de adubação de
restituição de zinco em solo de cerrado / Maykom Ferreira

Inocêncio. – Lavras: UFLA, 2010.

68 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. *Glycine max* L. 2. Produção de grãos. 3. Adubação foliar. 4.
Fertilidade do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.422

MAYKOM FERREIRA INOCÊNCIO

**RESPOSTAS DA SOJA A DIFERENTES ALTERNATIVAS DE
ADUBAÇÃO DE RESTITUIÇÃO DE ZINCO EM SOLO DE CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de julho de 2010.

Dr. Álvaro Vilela de Resende EMBRAPA Milho e Sorgo

Dr. Silvino Guimarães Moreira UFSJ - Campus de Sete Lagoas

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto
Orientador

**LAVRAS - MG
2010**

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e a saúde.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Silvia e aos meus irmãos Michelly e Alexssander, pelo apoio incondicional durante o Mestrado.

A toda minha família, tios, primos e avós pelo apoio e confiança.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras pelo apoio na realização do Mestrado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo (EMBRAPA Milho e Sorgo) por ceder à área de cultivo e pelo suporte técnico.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro para a execução do estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Antonio Eduardo Furtini Neto, pela orientação, confiança e ensinamentos na minha vida profissional.

Aos membros da banca, Dr. Álvaro Vilela de Resende (EMBRAPA Milho e Sorgo) e Dr. Silvino Guimarães Moreira (Universidade Federal de São João del Rei – Campus de Sete Lagoas) pela sugestões para a melhoria da dissertação.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo que contribuíram na minha formação profissional.

Aos funcionários da EMBRAPA Milho e Sorgo, Marquinhos, Geraldo e Itamar, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Ao Clério Hickmann, bolsista da EMBRAPA Milho e Sorgo, pela colaboração no estudo.

À Stella Consorte Cato, gerente técnica da Stoller por ceder alguns produtos para o estudo.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo - UFLA, Roberto, Cristina, Humberto, Gilson, José Roberto (Pezão), Alessandro, Regina e Luciane.

Aos meus amigos, Leandro Paim, Lidiane, Thiago Mota, Silvia Maria, Silmara, Lucimara, Élder, Cristiane, Jerusa Bazzo, Carla, Bárbara, Matheus Veloso, Fernanda Ferraz, Érika, Samara, Elisa e Kelly, pelo incentivo e amizade.

RESUMO

Até o início da década de 1960, antes da grande expansão tecnológica ocorrida na agricultura brasileira, não havia grande preocupação com os micronutrientes no Brasil, uma vez que a maior parte da área cultivada era formada por solos originados de rochas básicas, ricas em nutrientes. Com a expansão da agricultura para outras áreas, notoriamente para solos sob cerrado, problemas relacionados a deficiência de micronutriente começaram a aparecer. Com isso foram desenvolvidos novos produtos pela indústria de fertilizantes, na busca de novas soluções, mas poucas informações foram geradas pela pesquisa. Como existem poucas informações sobre o tema, principalmente relacionadas ao sistema de semeadura direta, a primeira parte desse trabalho constitui-se numa revisão da literatura disponível sobre o assunto. A outra parte do trabalho foi um estudo desenvolvido a campo, sobre fontes e formas de aplicação de zinco em um solo do cerrado do município de Sete Lagoas, MG, com o objetivo de avaliar estratégias de adubação com zinco para a produção de biomassa, grãos e a nutrição mineral da soja (*Glycine max* L.). Os tratamentos constituíram de fontes de zinco (sulfato, óxido, quelatos, coquetéis de micronutrientes e junto ao grânulo NPK) e formas de aplicação (sulco de plantio, a lanço, incorporado, via semente e via foliar), totalizando 16 tratamentos, com quatro repetições. Nas parcelas com dimensões de 6 x 4 m e um estande final de 240 mil plantas ha⁻¹, foram avaliadas a produção de biomassa e de grãos e os teores e conteúdos de nutrientes nas folhas e na parte aérea das plantas na época de florescimento pleno e grãos. As diferentes alternativas usadas para o fornecimento de zinco promoveram respostas distintas em produtividade da soja. Os ganhos de produtividade de grãos promovidos por alguns dos tratamentos podem estar relacionados a outros nutrientes presentes nas fontes de zinco. A aplicação de zinco não promove diferença nas concentrações de outros nutrientes nas folhas e biomassa aérea na época de florescimento pleno (exceto o potássio) e nos grãos da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Produtividade de grãos. Nutrição mineral. Zinco.

ABSTRACT

Until the early 1960s, before the technology boom that occurred in Brazilian agriculture, there was great concern about the micronutrients in Brazil, since most of the acreage consisted of soils originated from basic rocks, rich in nutrients. With the expansion agriculture into other areas, notably for soils under cerrado, problems related to micronutrient deficiency began to appear. With that, new products were developed by the fertilizer industry in the search for new solutions, but little information has been generated by research. As there is little information on the subject, primarily related to tillage, the first part of this paper presents a review of available literature on the object. The other part of the work was a study conducted in the field, on sources and application forms of zinc a soil of savanna in Sete Lagoas, MG, to evaluate strategies of zinc fertilization for biomass production, grain and mineral nutrition of soybean (*Glycine max* L.). The treatments zinc sources (sulfate, oxide, chelates, micronutrients and cocktails next to the bead NPK) and application methods (furrow, broadcast, corporate, via seed and foliar application), totaling 16 treatments with four repetitions. In plots with dimensions of 6x4 m and a final stand of 240,000 plants ha⁻¹ were evaluated for biomass production, grain yield and the levels and nutrient content in leaves and shoots of plants at flowering and full grains. The various alternatives used to supply zinc promoted different responses in soybean yield. The gains in grain yield promoted by some of the treatments may be related to other nutrients in the sources of zinc. The zinc application promotes no difference in the concentrations of the other nutrients in leaves and biomass at the time of full flowering (except potassium) and soybeans.

Keywords: *Glycine max* L. Yield. Mineral nutrition. Zinc.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análises químicas antes e após as correções do Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no experimento sobre alternativas de adubação para a restituição de zinco em soja (Sete Lagoas, MG).....	33
Tabela 2	Descrição dos tratamentos utilizados para a restituição de zinco na cultura da soja (Sete Lagoas, MG).....	37
Tabela 3	Matéria seca da parte aérea de quatro plantas na época do florescimento (MSPA), matéria seca de 100 grãos (MCG), produção de grãos, matéria seca de hastes e vagens na colheita (MSHV) e matéria seca total na colheita (MST) da soja em resposta a diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	42
Tabela 4	Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas de plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	47
Tabela 5	Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas folhas de plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	48
Tabela 6	Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	51
Tabela 7	Conteúdo de macronutrientes em plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	52
Tabela 8	Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	53
Tabela 9	Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja (<i>Glycine max</i> L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	54

Tabela 10	Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em grãos de soja (<i>Glycine max</i> L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	55
Tabela 11	Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) exportado pelos grãos de soja (<i>Glycine max</i> L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	56
Tabela 12	Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em grãos de soja (<i>Glycine max</i> L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	57
Tabela 13	Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) exportado em forma de grãos de soja (<i>Glycine max</i> L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG).....	59

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1: O ZINCO NA AGRICULTURA BRASILEIRA.....	11
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Dinâmica de zinco no solo.....	14
2.2	Zinco na planta.....	16
2.3	O zinco na cultura da soja.....	16
2.4	Adubações com zinco.....	17
2.5	Zinco no sistema de plantio direto.....	19
2.6	Fertilizantes com zinco.....	20
	REFERÊNCIAS.....	22
	CAPÍTULO 2: BIOMASSA, PRODUÇÃO DE GRÃOS E NUTRIÇÃO MINERAL DA SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM ZINCO.....	26
1	INTRODUÇÃO.....	29
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1	Descrição da área experimental.....	31
2.2	Descrição dos tratamentos.....	34
2.3	Semeadura da soja e tratos culturais.....	39
2.4	Avaliação da biomassa e nutrição mineral da soja.....	39
2.5	Análise estatística.....	40
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
3.1	Biomassa e produção de grãos.....	41
3.2	Nutrientes nas folhas de plantas de soja no florescimento pleno (R2).....	46
3.3	Nutrientes nas plantas de soja na época do florescimento (R2).....	50
3.4	Concentração e quantidade exportada de nutrientes nos grãos de soja.....	54
4	CONCLUSÕES.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE.....	66

CAPÍTULO 1

O ZINCO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os solos da região do cerrado em sua condição natural são caracterizados como ácidos, pobres em nutrientes e matéria orgânica e, com elevados teores de alumínio. A aptidão dos solos do cerrado para a prática agrícola foi resultado da correção das suas limitações químicas, com o uso de corretivos e de fertilizantes (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A partir das correções químicas dos solos do cerrado, associado ao desenvolvimento da agricultura, novas técnicas foram criadas para aumentar a produtividade das espécies cultivadas. Entre essas estratégias, houve a participação do melhoramento de plantas, da criação de agroquímicos mais eficientes e o uso mais intensivo de fertilizantes. Dessa forma, a produtividade das culturas teve um crescimento considerável a partir da década de 1980, especialmente sob plantio direto no cerrado.

Até o início da década de 1960, antes da grande expansão tecnológica ocorrida na agricultura brasileira, não havia grande preocupação com os micronutrientes, uma vez que a maior parte da área cultivada era formada por solos originados de rochas básicas, ricas em micronutrientes. Com a expansão da agricultura para outras áreas, notoriamente para a região dos cerrados, composta por muitos solos com teores naturalmente baixos de micronutrientes, além do esgotamento de solos originalmente férteis e, ou, da má incorporação do calcário em outras áreas, problemas relacionados às deficiências de micronutrientes começaram a surgir nos campos de produção. Com isso foram desenvolvidos novos produtos pela indústria de fertilizantes, na busca de soluções para a correção das deficiências, mas poucas informações foram geradas pela pesquisa.

Apesar da exploração agrícola dos solos do cerrado, eram raras as deficiências de micronutrientes em lavouras (GALRÃO, 1996). Porém, com o uso de fertilizantes mais concentrados, o suprimento especialmente de zinco foi

decrecendo ao longo das safras e, associado ao cultivo de genótipos de maior potencial produtivo, levaram a remoção de zinco da área através da colheita de grãos.

Para que não haja o empobrecimento do solo, é necessária a reposição dos nutrientes exportados, pois estes controlam a dinâmica da vida no solo incluindo o crescimento das plantas, da micro e meso fauna e a decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2004; SANTOS; TOMM, 2003). O manejo inadequado do solo resulta no desequilíbrio entre os nutrientes, reduzindo a produtividade de grãos, levando ao processo de degradação do solo.

Dentre algumas medidas para retomada do aumento produtivo em solos brasileiros, tem-se o uso de fertilizantes contendo zinco (GALRÃO, 1995). Os estudos concluem que as espécies respondem à aplicação de micronutrientes, sendo as gramíneas aquelas plantas que possuem uma maior exigência de zinco para o seu desenvolvimento (MARSCHNER, 1995).

Entretanto, as informações disponíveis se resumem praticamente ao sistema de plantio convencional. Neste sentido, torna-se importante obter informações sobre a dinâmica de zinco no solo e na planta, a fim de avaliar quais as melhores alternativas de restituição de zinco em sistema de plantio direto. Com isso, estudos sobre as fontes consideradas “modernas”, especialmente aquelas cuja aplicação é foliar, são o alvo principal das futuras pesquisas, pois além de conter zinco, esses produtos podem ter em sua constituição outros nutrientes e, ou hormônios de crescimento, ao qual possibilitam melhor desenvolvimento das plantas e aumento na produção de grãos. Como são produtos aplicados via foliar, a interação com os colóides do solo é praticamente nula e com isso há o melhor aproveitamento do micronutriente, uma vez que a quantidade aplicada é inferior à dose que seria recomendada para a aplicação ao solo, além de evitar uma possível contaminação do solo pelo excesso de zinco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico serão exploradas informações sobre o zinco na agricultura brasileira, dinâmica no solo, na planta e a sua interação com outros nutrientes.

2.1 Dinâmica de zinco no solo

O zinco apresenta uma dinâmica complexa no solo, sendo influenciado pelo pH, tipo e teor de argila, cátions, ânions, adubação fosfatada e sistema de cultivo (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). A deficiência de zinco ocorre em solos com pH elevado e saturação por bases acima de 50%, provavelmente pela formação de $Zn(OH)_2$ e $ZnCO_3$ (MARSCHNER, 1995). Mesmo em solos calcários, pode não ocorrer à deficiência de zinco, desde que haja elevados teores de matéria orgânica no solo (GALRÃO, 1995), em razão da formação de quelatos de zinco. Em relação aos teores e tipos de argila, a adsorção está ligada diretamente aos óxidos de ferro, alumínio e manganês (RESENDE et al., 2002).

Em relação às interações com os nutrientes, o zinco possui uma interação não competitiva com o fósforo (FERNANDES et al., 2007), porém na literatura, não há uma generalização do efeito antagônico entre esses dois nutrientes. No entanto, para o cálcio, magnésio e potássio a interação é do tipo competitiva, pois são nutrientes que competem pelo mesmo sítio de absorção do zinco (MARSCHNER, 1995) e com isso, em solos que possuem teores elevados de um desses macronutrientes, pode haver redução da absorção de zinco (TAIZ; ZEIGER, 2004), mesmo onde os teores do micronutriente sejam considerados adequados (GALRÃO, 2002). Por isso, o equilíbrio dos nutrientes no solo é um dos principais aspectos para a obtenção de altas produtividades de grãos (BAYER et al., 2004).

O zinco possui um mecanismo de retenção denominado de adsorção específica ou complexo de esfera interna, caracterizada como uma ligação de alta energia, devido à ausência de moléculas de água entre o colóide mineral e o íon. Dessa forma, solos mais intemperizados como os latossolos, possuem alta capacidade de retenção do micronutriente (GALRÃO, 2002). A adsorção de zinco se dá através das ligações com os grupos OH^- das argilas silicatadas ou em regiões dos minerais que apresentam rupturas da rede cristalina (CUNHA, 1989). Por isso, as concentrações de zinco na maioria dos solos são determinadas principalmente pelas reações de adsorção e dessorção, uma vez que as reações de precipitação e dissolução têm um período maior de duração, deixando assim, o micronutriente em formas não solúveis às plantas (HARTER, 1991).

As principais formas de zinco que permanecem nos solos intemperizados, em ordem decrescente, são as formas residuais, as oxídicas (ligadas a óxidos de manganês, ferro cristalino e ferro amorfo) e aquelas ligadas à matéria orgânica (ANDRÉ et al., 2003; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005; NASCIMENTO, 2001). Com a elevação da saturação por bases para 70% em solos intemperizados, há predominância do zinco ligado aos óxidos de manganês (ANDRÉ et al., 2003). Nascimento e Fontes (2004) avaliaram a energia de ligação de zinco e cobre em seis latossolos do estado de Minas Gerais pelas equações de Langmuir e Freudlich, e concluíram que as equações têm boa correlação com os micronutrientes, sendo os teores de argila e de matéria orgânica os principais atributos determinantes da capacidade de adsorção de zinco e cobre, respectivamente.

2.2 Zinco na planta

A dinâmica do zinco na planta ainda não está totalmente esclarecida e na literatura e há divergências quanto a sua mobilidade. Provavelmente, o zinco seja absorvido na forma bivalente e, ou, de quelatos. Em ensaio realizado por Ferradon e Chamel (1988), a melhor distribuição interna de zinco nos tecidos vegetais foi quando houve a aplicação do micronutriente na forma de Zn-EDTA, que funcionou como um quelato natural.

A atividade iônica do micronutriente no floema é reduzida por causa do pH alcalino (em torno de 8,0) e da alta concentração de íons fosfato (14 mM). Essas duas características promoveriam a formação de complexos de baixa solubilidade na forma de óxidos, hidróxidos e fosfatos, acarretando na menor redistribuição do zinco para as áreas de crescimento meristemático (WELCH, 1995).

O zinco atua principalmente na síntese de proteínas e no crescimento meristemático, pois participa da formação do aminoácido triptofano, precursor do ácido indolilacético (TAIZ; ZEIGER, 2004). Nesse contexto, os sintomas de deficiência do micronutriente são: a redução da altura de plantas, internódios, folhas e produtividade. Em folhas há uma clorose do limbo foliar, permanecendo apenas as nervuras verdes. No caso de espécies cítricas, há o efeito de roseta, com a emissão de muitas folhas pequenas na ponta dos ramos (FAQUIN, 2005).

2.3 O zinco na cultura da soja

O nível crítico de zinco no solo para a soja é de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$, extraído pelo Mehlich 1 (GALRÃO, 2002), embora sejam observados sintomas de deficiência em solos que apresentam teores de zinco acima do nível crítico. Isso reflete que os níveis críticos estabelecidos anteriormente, já não são adequados

para o sistema produtivo atual, uma vez que as lavouras estão cada vez mais tecnificadas e as exigências nutricionais da cultura são maiores em relação às décadas anteriores. Por isso, os níveis críticos da literatura podem estar subestimados para a atual situação agrícola do país.

A produção de soja no cerrado tem sido conduzida, a cada ano, com maior nível de tecnologia. Nessas condições, a aplicação sistemática de zinco é comprovada pela baixa frequência da deficiência nas análises de solo e planta. Staut et al. (1998) avaliaram os resultados de análises químicas de 27 lavouras de soja em sistema de plantio direto, nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo e detectaram a deficiência de zinco apenas na profundidade de 10-20 cm, o que não comprometeu a produtividade. Na maioria das análises de solos cultivados sob sistema de plantio direto, os teores de zinco nas camadas de 0-5 e 5-10 cm são maiores nesses solos, comparados aos solos cultivados de forma convencional.

Em outras 119 lavouras de soja no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com rendimentos de grãos entre 1.950 a 5.529 kg ha⁻¹, Staut, Kurihara e Silva (1999) não encontraram limitações relacionadas à deficiência de zinco no solo. Esses resultados sugerem que a adubação com zinco, em alguns casos, não seria necessária, uma vez que há o efeito de adubações corretivas anteriores, elevando os teores disponíveis de zinco acima do nível crítico das culturas.

2.4 Adubações com zinco

Dentre os micronutrientes, o zinco e o boro são os mais limitantes na produtividade das culturas em solos de cerrado, em razão dos seus baixos teores originais nas rochas de origem ou de rochas ferromagnesianas que sofreram um intenso processo de intemperismo (RESENDE et al., 2002). Apesar da pobreza natural de zinco nesses solos, a deficiência não era comum nas lavouras, pelo

fato do micronutriente ser adicionado na formas de impureza na fertilização básica (GALRÃO, 1996).

Um dos fatores que levaram aos estudos sobre zinco no cerrado foi à redução da produtividade das culturas, devido aos teores de zinco ficarem abaixo do nível crítico, provavelmente pelo resultado da concentração dos fertilizantes e remoção de zinco na forma de grãos. Com os sintomas de deficiência de zinco e a resposta positiva à sua aplicação, consolidou-se a prática de fertilização do micronutriente de maneira generalizada, como forma de garantir elevadas produtividades.

A partir de uma série de experimentos, Galvão (1986) fundamentou as recomendações para o manejo da adubação com zinco em solos sob cultivo do cerrado, com a aplicação de $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco a lanço e incorporado em área total, como suficiente para quatro colheitas em Latossolo Vermelho Escuro argiloso.

Entretanto, o cenário atual constitui uma situação preocupante, onde muitas vezes, a adubação com o zinco é praticada sem se atentar para a real necessidade, principalmente em áreas cultivadas há mais tempo e que apresentam um residual de adubações anteriores. Por outro lado, a recente introdução do sistema de plantio direto e o contínuo incremento das produtividades (BAYER et al., 2004; BRANDT et al., 2006) são novos fatores que podem influenciar o manejo da adubação com zinco. A respeito de sua importância, todos esses aspectos não têm sido devidamente considerados nas ações de pesquisa, promovendo questionamentos a respeito do uso de zinco nas lavouras, ainda sem respostas sobre o assunto.

Fageria (2000), avaliando níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de grandes culturas, dentre elas a soja e o milho, em casa-de-vegetação em Latossolo Vermelho Distroférico de textura muito argilosa do cerrado, observou que o milho é mais sensível à deficiência e mais tolerante à toxidez de

zinco em relação à soja. Informações dessa natureza indicam a necessidade de se promover estudos com o micronutriente, inclusive considerando-se a especificidade das culturas. Também há que se considerar a produção pelas empresas do setor de fertilizantes de novos produtos como fontes de zinco e cuja eficácia depende de confirmação em estudos de campo.

2.5 Zinco no sistema de plantio direto

O sistema de plantio direto é uma prática em plena expansão na região do cerrado, sendo caracterizado pelo não revolvimento do solo, semeadura direta e rotação de culturas (BAYER et al., 2004). Os restos vegetais das culturas antecessoras promovem a cobertura do solo, aumentam a taxa de infiltração, armazenamento de água no solo e a atividade microbiológica (COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006), reduzem a oscilação térmica e promovem o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica superficialmente (BAYER et al., 2004; SANTOS; TOMM, 2003; SCHERER; BALDISSERA; NESI, 2007), além do aumento na produção de grãos (BRANDT et al., 2006). O plantio direto está substituindo, progressivamente, o plantio convencional, pois o novo sistema de plantio tem melhorado as características químicas, físicas e biológicas do solo (BAYER et al., 2004).

O zinco, assim como os demais nutrientes, em sistema de plantio direto se acumula nos primeiros centímetros do solo. Por outro lado, em solos que já possuem o sistema de plantio direto consolidado, há alta quantidade de quelatos, que são substâncias orgânicas que podem complexar o zinco. Dessa forma a planta pode aproveitar o micronutriente mesmo com a aplicação de calcário superficialmente.

O sistema de plantio direto proporciona um ambiente com maior teor de matéria orgânica (BAYER et al., 2004; SANTOS; TOMM, 2003), o que eleva

também a concentração de ânions de ácidos orgânicos, capazes de se ligar aos óxidos de ferro e alumínio, ocupando os sítios de adsorção de fósforo, reduzindo assim a adsorção do nutriente (BAYER et al., 2004). Com o aumento em solução de fósforo pode haver a formação de compostos de baixa solubilidade (ARAÚJO et al., 2003), na forma de fosfato de zinco e, em alguns casos, ao aparecimento de deficiências de zinco, mesmo com teores do micronutriente considerados adequados no solo (CARNEIRO et al., 2008; GALRÃO, 2002).

A aplicação de calcário no sistema de plantio direto, eleva o pH e os teores de cálcio e magnésio nos primeiros cinco centímetros de profundidade, resultando na redução dos teores disponíveis de micronutrientes, principalmente ferro, manganês e zinco (ALLEONI; CAMBRI; CAIRES, 2005), por causa da formação de hidróxidos, óxidos e fosfato que apresentam baixa disponibilidade às plantas.

Devido à grande influência das espécies, dos sistemas de cultivo, das interações entre cátions e ânions, da acidez do solo e da diversidade de produtos que são lançados anualmente, são necessários estudos sobre o zinco, especialmente com o uso de produtos que são aplicados via foliar, podendo ser alternativas viáveis para o aumento de produtividade das culturas.

2.6 Fertilizantes com zinco

Para corrigir as deficiências nutricionais das culturas são necessárias práticas agrícolas que elevem a disponibilidade dos nutrientes. Tais práticas podem ser o uso da calagem, gessagem, rochagem e, principalmente, a fertilização mineral. Existem muitas fontes de nutrientes à disposição dos agricultores, mas a maioria dessas necessita de estudos em campo para a confirmação de sua eficiência.

No caso específico do zinco, sulfato, óxido, quelato e fritas foram as primeiras fontes utilizadas na agricultura. Por exemplo, o sulfato de zinco foi o fertilizante que ganhou o maior impulso no mercado no final da década de 1980, quando Galvão (1986) apontou que a aplicação de $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco, utilizando essa fonte forneceria zinco para às plantas durante quatro cultivos, sem a necessidade de uma nova aplicação para solos muito argilosos do cerrado.

O aumento do nível tecnológico das lavouras, com consequente aumento da produtividade de grãos, o uso de novos produtos contendo zinco se torna uma alternativa a ser considerada. Além do zinco e enxofre, presentes no sulfato de zinco, por exemplo, outros nutrientes podem ser adicionados aos produtos. Alguns desses aditivos podem inclusive auxiliar na redistribuição do zinco para outras partes da planta (FERRADON; CHAMEL, 1988). Como a maioria desses produtos que são lançados todos os anos, são destinados para aplicação foliar, as quantidades aplicadas de zinco são menores, provavelmente pela ausência de contato direto entre o micronutriente e os colóides minerais do solo.

Na literatura há poucos estudos com fontes denominadas de “modernas” para o fornecimento de zinco e dessa forma são necessários estudos sobre o uso de diferentes fontes de aplicação de zinco em solos do cerrado submetidos ao sistema de plantio direto, principalmente em culturas de importância econômica para a região, como a soja e o milho.

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.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 923-934, nov./dez. 2005.
- ANDRÉ, E. M. et al. Fração de zinco em solos arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon* spp cv. Tifton – 85. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 451-459, maio/jun. 2003.
- ARAÚJO, I. B. et al. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 287, p. 27-39, jan./fev. 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, MG, v. 29, n. 6, p. 977-985, nov./dez. 2005.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.
- BRANDT, E. A. et al. Desempenho agrônômico de soja em função da sucessão de culturas em sistemas de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, set./out. 2006.
- CARNEIRO, L. F. et al. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, jul./ago. 2008.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.

CUNHA, R. C. A. **Retenção e movimento de zinco em solos do estado de São Paulo**. 1989. 115 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1989.

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.

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

FERNANDES, A. R. et al. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de feijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 599-608, jul./ago. 2007.

FERRADON, M.; CHAMEL, R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 11, n. 3, p. 247-263, May/June. 1988.

GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 283-289, mar./abr. 1996.

_____. Micronutrientes. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. p. 237-259.

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

_____. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 255-260, maio/ago. 1995.

HARTER, R. D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J. J. et al. (Ed.). **Micronutrients in the agriculture**. Madison: Soil Science Society of American, 1991. p. 59-88.

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

NASCIMENTO, C. W. A. **Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos**. 2001. 60 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 965-971, nov./dez. 2004.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: bases para a distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 338 p.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de manejo e de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, maio/jun. 2003.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 123-131, jan./fev. 2007.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

STAUT, A. L. et al. Fertilidade do solo e estado nutricional da soja em plantio direto. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 20., 1998, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPS, 1998. p. 362-363.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Fertilidade do solo e estado nutricional da soja cultivada no sistema plantio direto, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21., 1999, Dourados. **Anais...** Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste; EMBRAPA Soja, 1999. p. 208-209.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Colchester, v. 14, n. 1, p. 48-87, Jan./Feb. 1995.

CAPÍTULO 2

BIOMASSA, PRODUÇÃO DE GRÃOS E NUTRIÇÃO MINERAL DA SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM ZINCO

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar a produção de biomassa, de grãos e a nutrição mineral da soja (*Glycine max* L.) em função de alternativas de restituição de zinco em solo de cerrado. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho Distroférico na EMBRAPA Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG), utilizando diferentes fontes e formas de aplicação de zinco. O delineamento foi inteiramente casualizado, composto por 16 tratamentos com quatro repetições, totalizando 64 parcelas experimentais de 6x4 m (24 m²). Inicialmente foram coletadas amostras de solo para avaliar a fertilidade do solo e posteriormente a sua correção. Após a adição de calcário e fertilizante, foi cultivado o milho e depois houve um novo revolvimento do solo, visando a homogeneização da área. A soja foi semeada manualmente com um estande de 240 mil plantas ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. Os tratamentos consistiram de zinco aplicado a lanço, no sulco de plantio, na semente e foliar e nas formas NPK + Zn, óxido, sulfato e quelato, sendo aplicados na semeadura, no estádio V5 e, ou R1. As folhas e a parte aérea das plantas foram coletadas na época de florescimento pleno e os grãos no final do ciclo da soja. O material foi lavado, seco e triturado para a determinação dos teores de nutrientes. O conteúdo foi obtido pela multiplicação do teor pela biomassa de cada compartimento, exceto as folhas. Os ganhos de produtividade de grãos promovidos por alguns dos tratamentos podem estar relacionados não somente ao fornecimento de zinco, mas a presença de outros nutrientes nas fontes de zinco. A aplicação de zinco não promoveu diferença nas concentrações de outros nutrientes nas folhas, biomassa aérea na época de florescimento pleno (exceto o potássio) e nos grãos da soja. No entanto elevou a produtividade de grãos e a quantidade exportada de nutrientes em algumas alternativas de restituição de zinco.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.). Adubação com zinco. Nutrientes. Produção de grãos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the biomass production, grain and mineral nutrition soybean (*Glycine max* L.) as a function alternative repayment zinc in cerrado soil. The experiment was conducted in a Latossolo Vermelho Distroférico at the EMBRAPA Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG), using different sources and application forms of zinc. The design was completely randomized, with 16 treatments with four replications, totaling 64 plots of 6x4 (24 m²). Initially, soil samples were collected to evaluate soil fertility and its subsequent correction. After the addition of lime and fertilizer, millet was cultivated and then there was a new soil disturbance in order to homogenize the area. Soybean was sown manually with a stand of 240,000 plants ha⁻¹ with spacing of 0.50 m. The treatments consisted zinc applied broadcast, at planting, seed and leaf, forms NPK + Zn, oxide, sulfate and chelate being applied at sowing, and at V5 or R1. The plants leaves and shoots were collected at the time of full flowering and grain at harvest soybean. The material was washed and dried and ground to determine the nutrient levels. The content was obtained by multiplying the content of the biomass of each compartment, except the leaves. The gains yield promoted by some of the treatments can be related not only to supply zinc, but the presence of other nutrients in the leaves, aboveground biomass at the time of full flowering (except potassium) and soybeans. However increased grain yield and the amount of nutrients exported in a number of alternatives for the refund of zinc.

Keywords: *Glycine max* (L.). Fertilization with zinc. Nutrients. Yield.

1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, por definição, são os elementos químicos requeridos em pequenas quantidades para a nutrição mineral das plantas, atuando principalmente na composição e ativação de enzimas (FAQUIN, 2005; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O zinco é um dos micronutrientes mais estudados no Brasil, porém os estudos a campo normalmente são realizados durante um ou poucos cultivos. No caso do zinco, o seu efeito residual é prolongado devido à alta afinidade pelos colóides minerais do solo (ANDRÉ et al., 2003; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005).

Na planta, o zinco assume funções relacionadas à síntese protéica e no crescimento meristemático, cuja deficiência reduz a energia destinada à atividade metabólica, a integridade das membranas e a divisão celular, pois este micronutriente está envolvido na biossíntese do aminoácido triptofano, o qual é precursor do ácido indolilacético (MARSCHNER, 1995). Os principais sintomas de deficiência são a redução da altura de plantas e da produtividade, encurtamento dos internódios, amarelecimento e a necrose das folhas (FAQUIN, 2005).

Em relação à aplicação nas lavouras, o zinco é fornecido de diversas formas, sendo as principais via adubações NPK (sulco de semeadura), foliar e semente (GALRÃO, 2002). No mercado brasileiro, o zinco é encontrado sob diversas fontes, como sais, quelatos, fritas, coqueteis de micronutrientes, além das formulações NPK. Todos os anos são lançados produtos contendo zinco e em sua maioria para a aplicação foliar e esta grande disponibilidade de produtos no mercado, aliado à forte pressão comercial, faz com que o produtor muitas vezes utilize tais produtos sem necessidade. Nessa situação, a aplicação de zinco pode ser até desnecessária, devido ao efeito residual de adubações anteriores (GALRÃO, 2002). Se por um lado, esse fato onera os custos dos produtos, por

outro, ainda levar à contaminação do ambiente (MARQUES; CURI; SCHULZE, 2002). Isso porque muitos produtores trabalham por vários anos com altas doses do micronutriente. Poucas são as informações de pesquisa sobre esses produtos, sendo aplicados às culturas sem avaliação do seu efeito na produção de grãos e nutrição mineral das plantas.

Diante do exposto, o trabalho tem por objetivo avaliar o efeito de alternativas de restituição de zinco na nutrição mineral, biomassa e produção de grãos de soja em um Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso da região do cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção são detalhados os processos e técnicas utilizados para a execução do estudo sobre alternativas de restituição de zinco em soja em um Latossolo Vermelho Distroférico da região do cerrado.

2.1 Descrição da área experimental

O experimento foi realizado com a cultura da soja (*Glycine max* L.) em um Latossolo Vermelho Distroférico de textura muito argilosa (66% de argila) na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais de 24 m² (6m x 4m).

A área escolhida para o estudo, inicialmente, foi dividida em 40 quadrículas de 15 x 15 m, na qual foram coletadas cinco amostras simples para formar uma amostra composta para cada quadrícula. A partir dos resultados da análise química, foram aplicados em média 1,1 t ha⁻¹ de calcário (12% de magnésio) para elevar a saturação por bases a 55%, gesso agrícola (300 kg ha⁻¹), fósforo (22,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅), potássio (98,4 kg ha⁻¹ de K₂O) e boro (3 kg ha⁻¹). As adubações corretivas foram incorporadas com grade aradora, arado de disco e grade niveladora, na profundidade de 0-20 cm.

O solo para a execução do estudo foi escolhido por ser anteriormente cultivado e com teor médio de 2,4 mg dm⁻³ de zinco antes da correção química do solo. Além disso, a literatura aborda que a aplicação de zinco em solos deficientes é benéfica, porém poucos são os estudos a campo, avaliando o micronutriente acima do nível crítico. O trabalho simula uma condição de elevado nível tecnológico, devido à utilização de um genótipo de alto potencial

produtivo, uso da irrigação, controle fitossanitário adequado, além de boas condições químicas do solo e com isso verificar se há resposta do zinco em condições onde não se esperaria a resposta do micronutriente.

Para identificar possíveis áreas de baixa fertilidade, foi semeado mecanicamente no dia 18/09/2009 o milheto (*Pennisetum americanum*) com espaçamento entre linhas de 0,50 m. Após 30 dias da semeadura, foi realizada uma adubação de cobertura de 57 kg ha⁻¹ de nitrogênio, utilizando como fonte a ureia (46% de N). Após 45 dias de crescimento vegetativo, a área escolhida para o experimento de soja foi aquela considerada mais homogênea, dentro da área cultivada com milheto, escolhida através do dossel médio das plantas. Foi realizado o corte da biomassa com o implemento triton e a retirada da biomassa com um rastelo acoplado ao trator. Após a limpeza da aérea, foi realizada a homogeneização da camada de 0-20 cm de profundidade, com o revolvimento do solo com uma grade pesada e outra niveladora.

Após o processo de revolvimento do solo, foram abertos os sulcos de plantio com espaçamento de 0,50 m entre linhas e a demarcação das parcelas experimentais, sendo que cada parcela foi composta de oito linhas com seis metros de comprimento, com espaçamento entre parcelas de um metro. Antes da semeadura da soja coletaram-se cinco amostras simples na profundidade de 0-20 cm nas entrelinhas centrais da parcela, formando uma amostra composta, para caracterização inicial dos tratamentos. Os resultados médios das análises químicas, antes e após a correção do solo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Análises químicas antes e após as correções do Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no experimento sobre alternativas de adubação para a restituição de zinco em soja (Sete Lagoas, MG)

Época	.....pH.....		MO	S-SO ₄ ⁻	P	Prem	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
	H ₂ O	KCl	%	.....mg dm ⁻³.....			.....cmol _c dm ⁻³			
Antes	5,82	5,10	2,73	8,29	6,94	18,40	39,38	3,18	0,76	0,23
Depois	5,87	5,20	3,56	15,09	9,27	16,86	52,75	4,22	1,13	0,11
	H ⁺ + Al ³⁺	SB	(t)	(T)	V	B	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺
	.....cmol _c dm ⁻³.....			%	.....mg dm ⁻³					
Antes	5,03	4,05	4,28	9,07	44,8	0,24	1,19	27,46	25,56	2,39
Depois	4,09	5,48	5,59	9,57	57,2	0,58	1,03	32,28	46,27	3,60

MO: matéria orgânica (dicromato de potássio); S-SO₄²⁻: enxofre na forma de sulfato (turbidimetria); P: fósforo (Mehlich 1). Prem: fósforo remanescente; K⁺: potássio, Ca²⁺: cálcio e Mg²⁺: magnésio; Al³⁺: alumínio trocável; H⁺ + Al³⁺: acidez potencial (KCl); SB: soma de bases (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺); (t): capacidade de troca catiônica natural (SB + Al³⁺); (T) capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (SB + H⁺ + Al³⁺); V: saturação por bases ((SB/T)*100); B: boro; Cu²⁺: cobre; Fe²⁺: ferro; Mn²⁺: manganês e Zn²⁺: zinco

2.2 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos escolhidos abrangeram diferentes alternativas de restituição de zinco, constituídos de quantidades usualmente empregadas em combinações de métodos de aplicação (via solo a lanço e localizada, semente e foliar) e fontes (incorporado ao superfosfato simples granulado, na forma de sulfato, óxido, quelato, além de outros compostos comerciais) que são recomendados ou utilizados rotineiramente por agricultores.

Além da testemunha absoluta (sem aplicação de zinco), houve outro tratamento considerado testemunha (aplicação apenas de água via foliar), o qual foi escolhido por haver diferença estatística na produção de grãos de soja no trabalho de Sfredo, Borkert e Castro (1996) realizado no norte do Paraná.

A literatura indica que o suprimento de nutrientes pouco móveis, como é o caso do zinco, deve ser realizado via solo, pois a aplicação via foliar, na maioria dos produtos possui baixa mobilidade nos tecidos foliares. Assim, foram escolhidos quatro tratamentos via solo: aplicação de adubação corretiva de 3,0 kg ha⁻¹ de zinco na forma de sulfato de zinco; adubação corretiva anterior + zinco no grânulo do superfosfato simples no formulado NPK (2-20-20) a 0,5% na dose de 450 kg ha⁻¹, no sulco de plantio; apenas zinco no formulado anterior no sulco de plantio e o zinco no formulado a lanço e sem incorporação. Esses tratamentos aplicados no solo, apesar das altas quantidades aplicadas em relação aos tratamentos foliares, apresentam uma interação com os colóides minerais (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007) reduzindo a disponibilidade para as plantas de soja, porém há um efeito residual da aplicação de zinco (GALRÃO, 2002). Nesse caso, ao longo das safras, será possível avaliar o efeito residual do zinco nas culturas subsequentes.

Na literatura há relatos de que a aplicação de zinco em sementes de soja não promove o aumento da produção de grãos (YAGI et al., 2006), pois a

quantidade de zinco presente no grão, na forma de fitato, atende o crescimento inicial da cultura. Nesse caso, a aplicação de zinco na semente poderia promover um excesso de zinco que comprometeria o desenvolvimento das plântulas e o estande da cultura. Por isso, no estudo foram escolhidos dois tratamentos com aplicação de zinco nas sementes: óxido de zinco e o produto comercial Broadacre Zn-Moli.

Com o desenvolvimento tecnológico da agricultura, mesmo em solos com teor de zinco acima do nível crítico de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$, extraído por Mehlich 1, estabelecido por Fageria (2000) como o do presente estudo ($3,6 \text{ mg dm}^{-3}$), pode haver resposta das culturas. Isso se deve pela constante evolução do sistema produtivo, com adoção de medidas que promovam o aumento da produção, com o uso de genótipos mais produtivos e o manejo da fertilidade e do controle fitossanitário mais eficiente.

Com isso, a aplicação via foliar de produtos contendo zinco pode ser uma estratégia em curto prazo para corrigir possíveis deficiências do micronutriente. Dessa forma, a utilização de produtos foliares se torna uma alternativa viável para o aumento da produtividade. No entanto, muitos são os produtos que surgem no mercado, porém há falta de informações a respeito da sua eficiência em condições de campo. Por isso, foram escolhidos seis tratamentos foliares contendo zinco e um que não contém: a utilização do produto comercial Phytogard K, para se realizar uma comparação com o Phytogard Zn, sendo ambos fosfitos e possuem baixa mobilidade nas folhas (FAQUIN, 2005). Os outros tratamentos foram compostos de: Broadacre Zn-Moli, sulfato de zinco, quelato de zinco (Tradecorp Zn-EDTA), Znitro (composto de zinco e nitrogênio orgânico) e Byozime (coquetel de nutrientes).

Além dos tratamentos anteriormente citados, foi realizado um suprimento elevado de zinco na cultura, denominado coquetel de nutrientes, composto pela adição de zinco no formulado NPK no sulco de plantio,

tratamento de semente com Broadacre Zn-Moli e aplicação foliar de Phytogard K e Byozime.

Como pode ser observado, há diferentes fontes de zinco, desde óxidos, sais, quelatos, coquetel de nutrientes, além de formas de aplicação como via foliar, semente, a lanço sem incorporação, no sulco de plantio. Assim, o trabalho avalia desde alternativas que são utilizadas rotineiramente pelos agricultores como o uso de sulfato de zinco aplicado a lanço e sem incorporação até novos produtos que possuem resultados incipientes em nível de campo como a maioria dos tratamentos foliares. A melhor descrição dos tratamentos, com as quantidades aplicadas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 Descrição dos tratamentos utilizados para a restituição de zinco na cultura da soja (Sete Lagoas, MG)

Trat	Zinco aplicado (kg ha ⁻¹)	Descrição	Composição	Fornecedor
TEST	0,00	Testemunha absoluta	-	-
ZnSO ₄	3,00	Adubação corretiva de zinco na forma de ZnSO ₄ a lanço e sem incorporação	20% de Zn e 9% de S	Multizinco
NPK + nSO ₄	5,25	450 kg ha ⁻¹ de NPK (02-20-20) + 3,0 kg ha ⁻¹ de zinco na forma de ZnSO ₄ , a lanço e sem incorporação	0,5% de Zn no formulado NPK e 20% de Zn e 9% de S (ZnSO ₄)	Heringer (NPK) e Multizinco (ZnSO ₄)
NPK + Zn	2,25	450 kg ha ⁻¹ de NPK (02-20-20) + 0,5% de Zn no sulco de plantio	0,5% de Zn no formulado NPK	Heringer
NPK + Zn lan	2,25	450 kg ha ⁻¹ de NPK (02-20-20) + 0,5% de Zn a lanço e sem incorporação	0,5% de Zn no formulado NPK	Heringer
ZnO sem	0,04	0,04 kg/ 50 kg de sementes, óxido de zinco via semente	72,3% de Zn	Multitécnica
Broad Zn	0,11	0,3 L ha ⁻¹ Broadacre Zn Moli, via semente	60% de Zn e 6% de Mo	Agrichem
Broad Zn fol	0,27	0,45 L ha ⁻¹ de Broadacre Zn Moli, via foliar em V5	60% de Zn e 6% de Mo	Agrichem
ZnSO ₄ fol	0,80	2 kg ha ⁻¹ de ZnSO ₄ via foliar em V5 e R1	20% de Zn e 9% de S	Multizinco
Trad Zn	0,06	0,4 kg ha ⁻¹ de Tradecorp Zn-EDTA, via foliar em V5	14% de Zn	Tradecorp Corporation International

Tabela 2, continua....

Znitro	0,08	0,5 ha ⁻¹ de Znitro, via foliar em V5	11% de Zn e 40% de N	Quimifol
Phyt Zn	0,40	2,0 L ha ⁻¹ de Phytogard Zn, via foliar em V5 e R1	10% de Zn e 40% de P ₂ O ₅	Stoller
Phyt K	0,00	2,0 L ha ⁻¹ de Phytogard K, via foliar em V5 e R1	20% de K ₂ O e 40% de P ₂ O ₅	Stoller
Bioz	0,02	0,45 L ha ⁻¹ de Biozyme TF, via foliar em R1	2,43% de Zn; 1,73% de N; 5% de K ₂ O; 0,08% de B; 0,49% de Fe; 1% de Mn; e 2,1% de S	Arysta
Água	0,00	Apenas água via foliar em V5 e R1	-	-
Coquetel	2,81	Coquetel de nutrientes (Tratamentos 4, 7, 13 e 14)	Ver tratamentos 4, 7, 13 e 14	Ver tratamentos 4, 7, 13 e 14

2.3 Semeadura da soja e tratos culturais

Após a abertura dos sulcos de plantio, foi realizada no dia 12 de novembro de 2009 a aplicação da adubação de base NPK (450 kg ha⁻¹ de 02-20-20 com ou sem zinco, dependendo do tratamento) e a semeadura manual da soja. O genótipo utilizado foi o BRS Valiosa RR (Sementes Carol) com um estande de aproximadamente 240 mil plantas ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. As sementes foram tratadas com fungicida, inseticida, cobalto (3 g ha⁻¹), molibdênio (30 g ha⁻¹) e inoculante e, quando pertinente, o uso de zinco. No estádio V5 e R1, foram aplicados os tratamentos foliares com um volume de calda de 400 L ha⁻¹ utilizando um pulverizador de CO₂. No estádio V5 foi aplicado um fungicida preventivo (Opera) para a ferrugem asiática da soja e um lagarticida (Match). Na época de enchimento de grãos, foi realizada novamente a aplicação do fungicida (Opera) e de um inseticida (Tracer). As orientações de manejo foram voltadas para a obtenção de altas produtividades de soja, uma vez que, nestas condições, é possível ter a resposta à adubação com zinco. A irrigação foi realizada quando necessário, de forma a suprir a demanda hídrica durante o ciclo da cultura.

2.4 Avaliação da biomassa e nutrição mineral da soja

Para a determinação dos nutrientes na época de florescimento (R2) foi coletada a 3^a folha com pecíolo do ápice para a base, num total de 20 folhas, além da biomassa aérea de quatro plantas por parcela experimental. As folhas e a biomassa aérea foram submetidas à lavagem e secas em estufa de circulação forçada de ar (65 a 70°C). Após a maturidade fisiológica da cultura foram colhidos apenas os grãos de três fileiras centrais de cada parcela, deixando-se meio metro em cada extremidade e as duas fileiras externas como bordadura de

cada lado e na quarta fileira útil, colheu-se a planta inteira, a fim de estimar a produção de biomassa de hastes + vagens e biomassa total (hastes + vagens + grãos). Além da produção de matéria seca da parte aérea na época de florescimento, da biomassa total, na colheita foram avaliadas a produtividade de grãos em kg ha^{-1} com umidade de 13% e a matéria seca de 100 grãos (g). Os restos culturais foram passados em um picador de palha e espalhados na superfície das respectivas parcelas, procurando-se simular o sistema de plantio direto, uma vez que o experimento será realizado por mais cultivos.

Os teores de nutrientes nas folhas, na biomassa aérea de plantas na época do florescimento e nos grãos de soja foram determinados segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e os acúmulos na biomassa aérea e nos grãos foram obtidos multiplicando-se os teores pela matéria seca de cada compartimento, sendo que, para os grãos foi possível calcular o conteúdo exportado via produto colhido.

2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos sobre a nutrição mineral e produção de biomassa e grãos de soja foram submetidos a análises de variância e teste de média a 5% de probabilidade (Scott-Knott), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o uso de diferentes alternativas de restituição de zinco em solo anteriormente sob vegetação de cerrado contribuíram para o conhecimento da dinâmica do micronutriente. Além disso, esse estudo é o início de um experimento de longa duração sob sistema de plantio direto e promoverá informações sobre o comportamento do nutriente nesse sistema de cultivo do solo.

3.1 Biomassa e produção de grãos

Apenas a matéria seca da parte aérea na época do florescimento pleno e a produtividade de grãos apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3; APÊNDICE A).

A TEST e a Água não apresentaram diferenças nas características avaliadas, sendo esse resultado divergente ao de Sfredo, Borkert e Costa (1996) que obtiveram um aumento de 19% na produção de grãos de soja em relação à testemunha quando aplicaram água via foliar no estágio de florescimento.

A aplicação de zinco não aumentou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de soja na época de florescimento pleno em relação à TEST. Esse resultado provavelmente foi devido a que o teor de zinco na profundidade de 0-20 cm ($3,6 \text{ mg dm}^{-3}$) era superior ao nível crítico de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (FAGERIA, 2000). Neste caso, a probabilidade de resposta à aplicação de zinco é baixa (ANDRÉ et al., 2003; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2005; ROSA et al., 2003).

Tabela 3 Matéria seca da parte aérea (soma de quatro plantas) na época do florescimento (MSPA), matéria seca de 100 grãos (MCG), produção de grãos(PG), matéria seca de hastes e vagens na colheita (MSHV) e matéria seca total na colheita (MST) da soja em resposta a diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	MSPA	MCG	PG	MSHV	MST
	kg ha ⁻¹	.....g.....		.....kg ha ⁻¹		
TEST	0,00	76,4 a	16,4 a	2690 b	5163 a	7335 a
ZnSO ₄	3,00	77,8 a	16,9 a	3033 b	5000 a	7450 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	69,8 b	18,9 a	3348 a	4913 a	7617 a
NPK + Zn	2,25	64,7 b	17,2 a	2971 b	5238 a	7637 a
NPK + Zn lan	2,25	62,2 b	16,1 a	3041 b	5075 a	7531 a
ZnO sem	0,04	71,3 b	16,9 a	2648 b	4813 a	6952 a
Broad Zn	0,11	67,3 b	16,9 a	2775 b	4988 a	7228 a
Broad Zn fol	0,27	83,8 a	17,3 a	3327 a	4375 a	7062 a
ZnSO ₄ fol	0,80	75,4 a	16,4 a	3431 a	4500 a	7271 a
Trad Zn	0,06	61,3 b	17,6 a	3004 b	4967 a	7392 a
Znitro	0,08	66,3 b	17,5 a	3327 a	4417 a	7068 a
Phyt Zn	0,40	81,8 a	17,2 a	2771 b	4738 a	6976 a
Phyt K	0,00	62,9 b	17,6 a	3002 b	4963 a	7387 a
Bioz	0,02	70,5 b	17,8 a	3485 a	5050 a	7865 a
Água	0,00	75,0 a	19,4 a	2993 b	4517 a	6934 a
Coquetel	2,81	66,2 b	17,0 a	2556 b	4723 a	6787 a
C.V.(%)		9,16	11,05	10,70	14,26	10,13

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

A produção de grãos de soja foi maior em alguns tratamentos em relação à TEST, cuja produção foi de 2690 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Em relação aos tratamentos constituídos de aplicação somente de zinco via solo, apenas as plantas submetidas à aplicação de NPK + 0,5% Zn mostraram diferenças significativas em relação à TEST, com uma produção de grãos de 3348 kg ha⁻¹, com um aumento de 658 kg ha⁻¹ ou 24% em relação àquele tratamento, fato possivelmente explicado pela maior quantidade de zinco aplicada (5,25 kg ha⁻¹). 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).

A quantidade aplicada de $ZnSO_4$, NPK + Zn e NPK + Zn lan (3; 2,25 e 2,25 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente) não promoveu ganhos significativos em relação a TEST. Provavelmente a quantidade de zinco aplicada ficou retida nos colóides minerais (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007), e seria necessária a adição de uma dose maior de zinco, a fim de que parte do micronutriente adicionado permanecesse na forma prontamente disponível às plantas.

Quanto à forma de aplicação, a produção de grãos de soja submetidos aos tratamentos NPK + Zn e o NPK + Zn lan não diferiram entre si, apresentando produtividades semelhantes de 2971 e 3041 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente. Isso indica que a resposta no primeiro ano, independe da forma de aplicação do nutriente, a lanço ou localizado no sulco de plantio.

As plantas submetidas à aplicação de zinco via semente (ZnO sem e Broad sem) não apresentaram diferenças de produção em relação à TEST. Esse resultado se deve, provavelmente, à reduzida quantidade aplicada, de 0,04 e 0,11 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente. Além disso, a literatura aponta que o zinco presente nos grãos, é suficiente para o desenvolvimento inicial da cultura (SANTOS; ESTEFANEL, 1986). A aplicação de zinco em sementes que possuem altos teores de zinco, pode inclusive acarretar em toxidez às plântulas de soja (YAGI et al., 2006), levando falhas no estande e queda na produtividade de grãos.

As plantas de soja submetidas à aplicação de zinco via foliar, apresentaram resposta positiva para a produção de grãos, com exceção do Trad Zn e o Phyt Zn. Os incrementos para o Broad Zn fol, $ZnSO_4$ fol, Znitro e Bioz foram em relação à TEST de 637, 741, 637 e 795 $kg\ ha^{-1}$ de grãos de soja, o que equivale a um aumento de 24, 28, 24 e 30%, respectivamente.

Para as plantas submetidas aos tratamentos foliares contendo zinco, não é possível afirmar que a resposta foi dependente exclusivamente do

micronutriente, uma vez que o Broad Zn fol também continha molibdênio na sua composição, que pode ter atuado na redutase do nitrito, com efeitos na produtividade.

Quando se observam as quantidades aplicadas de zinco pelos tratamentos foliares que apresentaram as maiores produções de grãos, observa-se grande amplitude nesses valores. No caso do $ZnSO_4$ fol foi aplicado $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$, no Broad Zn fol $0,27 \text{ kg ha}^{-1}$, no Znitro $0,08 \text{ kg ha}^{-1}$ e no Bioz $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco e para os tratamentos Trad Zn e Phyt Zn foram $0,06$ e $0,40 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco, respectivamente. Isso indica que a quantidade de zinco aplicada não é o principal fator para o aumento na produção de grãos de soja, pois, por exemplo, o Phyt Zn não promoveu incremento na produção de grãos de soja, mesmo com uma aplicação superior de zinco em relação ao Bioz. Possivelmente, há influência dos íons acompanhantes do zinco nos produtos utilizados, o que possibilitaria um aumento na eficiência de utilização do zinco pelas plantas de soja.

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, provavelmente devido às condições de alto nível tecnológico utilizado no estudo. Assim, é possível obter respostas quanto à aplicação de zinco em condições onde não se esperaria tal resultado.

Em relação ao Phyt Zn e Phyt K, não houve diferença na produção de grãos de soja, pois mesmo com uma alta quantidade de zinco aplicado via Phyt Zn ($0,40 \text{ kg ha}^{-1}$) a produção obtida foi semelhante à TEST (Tabela 3). Possivelmente a ausência de resposta para a produção de grãos se deve a especificidade do genótipo avaliado ou mesmo pelo teor adequado de zinco no solo (FAGERIA, 2000).

No caso do Coquetel, sua composição era formada pela combinação de quatro tratamentos (NPK + Zn, Broad sem, Phyt K e Bioz), não foi observada diferença na produção de grãos em relação à TEST. Dentre esses tratamentos, apenas o Bioz apresentou resposta positiva em relação à TEST. Assim, não é a quantidade aplicada de zinco, mas estratégias de restituição do micronutriente que podem aumentar a produção de grãos de soja.

A utilização de novos produtos e, ou, formulações se mostraram promissores, como formas de restituição de zinco, como o Broad Zn fol e do Bioz. Apesar do aumento produtivo da soja quando foi aplicado o Broad Zn fol (Tabela 3), a forma de aplicação e a quantidade do nutriente foram determinantes. O maior incremento ocorreu quando a aplicação foi via foliar, em relação à aplicação via semente (Broad sem). Santos e Estefanel (1986) encontraram incremento de 535 kg ha⁻¹ de grãos de soja em relação à testemunha com adição de 0,30 g kg⁻¹ de óxido de zinco via semente. Essas repostas diferentes em relação ao presente estudo e a literatura podem ser devidas às diferentes condições edafo-climáticas (GALRÃO, 2002), ao genótipo (BONNECARRÈRE, 2003; FAGERIA, 2000, 2001), às fontes e quantidades de zinco (BONNECARRÈRE, 2003; RESENDE et al., 2005), ao sistema de manejo (BAYER et al., 2004) e aos tratos culturais, que foram diferentes nos trabalhos.

Além do Broadacre Zn, o sulfato de zinco também apresentou resposta quanto à forma de aplicação (Tabela 3), sendo que ZnSO₄ não diferiu da TEST, enquanto que o ZnSO₄ fol foi um dos melhores tratamentos, apresentando um aumento de 741 kg ha⁻¹ na produção de grãos de soja. Novamente, a quantidade não foi o fator mais importante (GALRÃO, 2002; RESENDE et al., 2005), uma vez que a quantidade de zinco aplicada foi de 3,0 kg ha⁻¹ para o ZnSO₄ e 0,8 kg ha⁻¹ para o ZnSO₄ fol. Provavelmente, o zinco aplicado via foliar atendeu a demanda nutricional da cultura, enquanto que o zinco via solo ficou adsorvido

nos colóides minerais do solo, reduzindo a sua disponibilidade às plantas (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; FAGERIA, 2000).

Diferentemente da produção de grãos de soja, a matéria seca de hastes + vagens e a matéria seca total (hastes + vagens + grãos) não foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 3).

3.2 Nutrientes nas folhas das plantas de soja no florescimento pleno (R2)

Os teores de macronutrientes nas folhas das plantas de soja coletadas na época de florescimento (R2) não foram influenciados pela aplicação dos tratamentos (Tabela 4, APÊNDICE B), mesmo com os produtos que possuíam nitrogênio (Znitro e Bioz), fósforo (Phyt Zn e Phyt K), potássio (Phyt K, Bioz e Coquetel) e enxofre (ZnSO₄, NPK + ZnSO₄, NPK + Zn, NPK + Zn lan, ZnSO₄ fol, Bioz e Coquetel).

Certamente não houve diferença nos teores de macronutrientes 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, 2004).

Tabela 4 Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas de plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹							.....g kg^{-1}.....
TEST	0,00	41,8 a	3,0 a	16,5 a	12,0 a	4,0 a	2,7 a
ZnSO ₄	3,00	40,1 a	3,0 a	15,6 a	13,4 a	4,4 a	2,6 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	39,3 a	2,9 a	14,9 a	12,8 a	4,0 a	2,6 a
NPK + Zn	2,25	40,6 a	2,9 a	15,6 a	13,0 a	4,1 a	2,8 a
NPK + Zn lan	2,25	40,3 a	2,9 a	16,4 a	12,1 a	3,8 a	2,8 a
ZnO sem	0,04	40,3 a	2,8 a	15,6 a	12,7 a	4,1 a	2,6 a
Broad Zn	0,11	39,8 a	2,8 a	14,8 a	13,5 a	4,4 a	2,5 a
Broad Zn fol	0,27	41,9 a	3,2 a	15,7 a	12,1 a	4,1 a	2,6 a
ZnSO ₄ fol	0,80	41,6 a	2,9 a	15,2 a	13,0 a	4,4 a	2,7 a
Trad Zn	0,06	42,9 a	3,3 a	15,7 a	12,1 a	4,4 a	2,7 a
Znitro	0,08	41,6 a	3,1 a	15,9 a	13,1 a	4,5 a	2,7 a
Phyt Zn	0,40	42,3 a	3,1 a	16,0 a	12,6 a	4,3 a	2,6 a
Phyt K	0,00	41,6 a	3,2 a	16,7 a	12,2 a	4,2 a	2,6 a
Bioz	0,02	41,6 a	3,2 a	15,7 a	12,8 a	4,3 a	2,6 a
Água	0,00	42,0 a	3,2 a	15,0 a	13,1 a	4,4 a	2,9 a
Coquetel	2,81	41,6 a	2,8 a	14,4 a	13,0 a	4,4 a	2,5 a
C.V.(%)		5,9	9,8	8,2	7,1	10,3	6,5

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

No caso do potássio, as plantas de soja submetidas a aplicação de Phyt Zn e Phyt K, que possuem fosfito de zinco e fosfito de potássio, respectivamente, não diferiram estatisticamente da TEST, para os teores de potássio, mesmo o primeiro não tendo o nutriente em sua composição. Provavelmente as quantidades aplicadas não foram suficientes para elevar os teores do macronutrientes nas folhas de plantas de soja.

Comparando-se os teores encontrados para os macronutrientes, o presente estudo obteve resultados inferiores aos de Caires et al. (2001) para os

teores de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre de plantas de soja cultivadas em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média do Estado do Paraná.

A aplicação dos tratamentos não promoveu diferenças nos teores de boro, cobre, ferro e manganês nas folhas de plantas de soja (Tabela 5, APÊNDICE C), provavelmente em razão de que os teores de micronutrientes no solo (boro: 0,58 mg dm⁻³; cobre: 1,03 mg dm⁻³; ferro 32,28 mg dm⁻³ e manganês 46,27 mg dm⁻³) estavam acima do nível crítico para a cultura (FAGERIA, 2000).

Tabela 5 Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas folhas de plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
TEST	0,00	47,8 a	8,5 a	92,7 a	47,4 a	28,4 c
ZnSO ₄	3,00	43,4 a	8,2 a	102,3 a	56,6 a	37,5 c
NPK + ZnSO ₄	5,25	44,2 a	8,3 a	86,0 a	50,2 a	33,2 c
NPK + Zn	2,25	43,0 a	8,0 a	88,9 a	50,3 a	34,0 c
NPK + Zn lan	2,25	44,1 a	8,3 a	85,2 a	47,4 a	30,4 c
ZnO sem	0,04	44,0 a	7,8 a	81,9 a	44,0 a	32,1 c
Broad Zn	0,11	45,1 a	7,9 a	87,5 a	46,3 a	30,1 c
Broad Zn fol	0,27	48,8 a	8,0 a	82,6 a	45,9 a	29,8 c
ZnSO ₄ fol	0,80	43,3 a	8,4 a	93,5 a	49,2 a	52,5 b
Trad Zn	0,06	45,8 a	8,5 a	82,8 a	46,5 a	31,7 c
Znitro	0,08	46,2 a	8,8 a	92,4 a	49,5 a	33,2 c
Phyt Zn	0,40	46,3 a	8,4 a	90,8 a	49,9 a	87,3 a
Phyt K	0,00	47,4 a	7,5 a	84,6 a	43,4 a	29,8 c
Bioz	0,02	45,5 a	8,9 a	87,5 a	50,6 a	35,6 c
Água	0,00	45,4 a	9,0 a	111,4 a	51,1 a	31,8 c
Coquetel	2,81	45,3 a	7,8 a	102,6 a	45,5 a	34,0 c
C.V.(%)		12,6	10,8	15,8	14,3	16,0

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Os altos teores de zinco observados nas plantas de soja supridas com o Phyt Zn (Tabela 5) podem ser decorrentes da baixa mobilidade do micronutriente nos tecidos foliares (FAQUIN, 2005; GALRÃO, 2002; MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004). Supõe-se que, para o ZnSO₄ fol, as maiores concentrações encontradas foram resultados da aplicação de 4 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, o que corresponde a 0,8 kg ha⁻¹ de zinco (FERNANDES et al., 2007). 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). Também não foram observados sintomas de deficiência de micronutrientes nas folhas de plantas de soja durante o experimento.

Apesar das diferentes quantidades aplicadas de zinco, somente o Phyt Zn e o ZnSO₄ fol elevaram os teores de zinco nas folhas das plantas de soja. Mesmo com altas quantidades de zinco, como os tratamentos cuja aplicação foi via solo, nenhum desses foi capaz de aumentar os teores foliares do micronutriente. Esse resultado pode ser devido à elevação da saturação por bases para 57%, que pode ter ocasionado no solo a formação de precipitados de zinco através dos produtos da dissociação do calcário (CAIRES; FONSECA, 2000; MOREIRA et al., 2003). Dessa forma, além das características dos fertilizantes e dos requerimentos nutricionais das culturas (FAGERIA, 2001; OLIVEIRA et al., 2003; YAGI et al., 2006) vários fatores e suas interações podem interferir no aproveitamento do zinco adicionado na adubação via solo.

Assim como os macronutrientes, os teores de micronutrientes foram menores no presente estudo em relação ao trabalho de Caires et al. (2001). Nesse sentido, as condições edafo-climáticas e o genótipo podem influenciar a nutrição mineral da soja, como em outras espécies. Porém, os teores estão acima dos níveis críticos, relatados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), para plantas de soja.

3.3 Nutrientes nas plantas de soja na época do florescimento (R2)

Com a aplicação de zinco através de diferentes estratégias de restituição em plantas de soja, não houve diferenças nos teores de macronutrientes nas plantas, exceto para o potássio (Tabela 6, APÊNDICE D). Embora os teores de potássio nas folhas tenham sido maiores nos tratamentos que receberam zinco via solo, comparados aos demais tratamentos, as diferenças entre estes foram pequenas. 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 via solo, indicando que a forma de aplicação, pode influenciar na nutrição mineral de soja.

Tabela 6 Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco	N	P	K	Ca	Mg	S
	aplicado						
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					
TEST	0,00	27,9 a	2,2 a	16,9 a	13,4 a	4,6 a	2,1 a
ZnSO ₄	3,00	27,4 a	2,5 a	16,6 a	14,4 a	4,6 a	2,3 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	27,1 a	2,3 a	15,8 a	15,0 a	4,4 a	2,1 a
NPK + Zn	2,25	24,9 a	2,3 a	16,3 a	13,3 a	4,0 a	2,2 a
NPK + Zn lan	2,25	29,1 a	2,4 a	18,7 a	13,7 a	4,3 a	2,3 a
ZnO sem	0,04	26,0 a	2,4 a	15,2 b	13,5 a	4,3 a	1,9 a
Broad Zn	0,11	28,1 a	2,5 a	15,2 b	14,0 a	4,4 a	2,2 a
Broad Zn fol	0,27	27,6 a	2,3 a	15,5 b	13,2 a	4,1 a	2,2 a
ZnSO ₄ fol	0,80	27,5 a	2,4 a	15,1 b	13,6 a	4,4 a	2,2 a
Trad Zn	0,06	27,0 a	2,4 a	14,8 b	14,0 a	4,5 a	2,2 a
Znitro	0,08	27,0 a	2,4 a	14,3 b	14,0 a	4,6 a	2,2 a
Phyt Zn	0,40	27,5 a	2,5 a	13,8 b	13,7 a	4,3 a	2,1 a
Phyt K	0,00	28,8 a	2,5 a	14,1 b	12,3 a	4,1 a	2,0 a
Bioz	0,02	28,4 a	2,4 a	14,4 b	13,8 a	4,4 a	2,3 a
Água	0,00	28,3 a	2,7 a	16,6 a	13,5 a	4,5 a	2,2 a
Coquetel	2,81	27,5 a	2,3 a	13,8 b	15,1 a	4,6 a	2,1 a
C.V.(%)		6,3	13,6	10,8	11,4	11,3	8,9

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Com exceção do fósforo (Tabela 7, APÊNDICE E), as quantidades de macronutrientes acumuladas nas plantas na época de florescimento variaram entre os tratamentos. Esse resultado é compatível com a variação na produção de biomassa em alguns tratamentos (Tabela 3), uma vez que, exceto o potássio, os teores de macronutrientes nas plantas de soja não variaram com os tratamentos (Tabela 6). As diferenças no conteúdo dos macronutrientes na matéria seca das plantas de soja podem ser atribuídas ao efeito de concentração ou diluição, função da variação na produção de biomassa (Tabela 3).

Tabela 7 Conteúdo de macronutrientes em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹						
TEST	0,00	532 a	42 a	322 a	257 a	87 a	40 a
ZnSO ₄	3,00	532 a	50 a	322 a	280 a	90 a	42 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	475 b	40 a	275 a	262 a	77 b	37 b
NPK + Zn	2,25	402 b	37 a	260 b	215 b	65 b	35 b
NPK + Zn lan	2,25	455 b	37 a	290 a	212 b	67 b	35 b
ZnO sem	0,04	465 b	45 a	270 b	240 a	77 b	35 b
Broad Zn	0,11	475 b	42 a	255 b	235 b	75 b	37 b
Broad Zn fol	0,27	577 a	47 a	322 a	277 a	85 a	47 a
ZnSO ₄ fol	0,80	517 a	47 a	282 a	252 a	82 a	42 a
Trad Zn	0,06	412 a	37 a	227 b	212 b	67 b	35 b
Znitro	0,08	447 b	40 a	230 b	232 b	75 b	37 b
Phyt Zn	0,40	562 a	52 a	280 a	275 a	87 a	45 a
Phyt K	0,00	452 b	40 a	220 b	195 b	65 b	32 b
Bioz	0,02	502 a	52 a	255 b	242 a	77 b	40 a
Água	0,00	532 a	50 a	310 a	252 a	85 a	42 a
Coquetel	2,81	455 b	37 a	230 b	247 a	75 b	37 b
C.V.(%)		11,8	20,4	12,2	12,3	15,5	13,4

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Na Tabela 8 (APÊNDICE F), observa-se que a aplicação de zinco influenciou as concentrações foliares de cobre e zinco nas plantas de soja. Os maiores teores de zinco observados na parte aérea das plantas de soja foram obtidos com a aplicação de Phyt Zn e ZnSO₄ fol. As maiores concentrações foliares do micronutriente podem estar relacionadas à baixa mobilidade do zinco nos tecidos vegetais (WELCH, 1995), quando o nutriente foi aplicado via foliar. Observa-se que estes tratamentos estiveram entre aqueles que promoveram as maiores produções de matéria seca da parte aérea e que o ZnSO₄ fol se destaca também na produtividade da soja (Tabela 3). É importante destacar também que a quantidade de zinco aplicada via ZnSO₄ fol é o dobro daquela aplicada através

do Phyt Zn, embora este último tenha promovido o maior teor foliar do nutriente nas plantas de soja (Tabela 8), mostrando sua eficácia em promover uma maior absorção de zinco.

Tabela 8 Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
TEST	0,00	38,9 a	8,1 a	170,9 a	52,2 a	24,3 d
ZnSO ₄	3,00	39,2 a	7,0 a	175,0 a	50,6 a	23,9 d
NPK + ZnSO ₄	5,25	37,7 a	8,0 a	183,3 a	51,2 a	23,3 d
NPK + Zn	2,25	37,1 a	7,3 a	188,3 a	47,4 a	23,3 d
NPK + Zn lan	2,25	36,9 a	8,5 a	193,0 a	52,2 a	26,1 d
ZnO sem	0,04	39,1 a	7,5 a	178,4 a	44,9 a	23,5 d
Broad Zn	0,11	38,9 a	7,5 a	180,0 a	49,2 a	24,8 d
Broad Zn fol	0,27	41,9 a	7,9 a	175,7 a	40,7 a	31,9 c
ZnSO ₄ fol	0,80	40,8 a	7,4 a	195,0 a	43,8 a	50,4 b
Trad Zn	0,06	39,4 a	7,3 a	187,5 a	42,3 a	28,8 c
Znitro	0,08	44,7 a	8,1 a	186,2 a	41,8 a	29,7 c
Phyt Zn	0,40	39,5 a	7,3 a	185,4 a	45,9 a	60,2 a
Phyt K	0,00	43,6 a	7,9 a	195,0 a	42,1 a	27,0 d
Bioz	0,02	41,1 a	7,8 a	172,6 a	43,5 a	29,4 c
Água	0,00	40,8 a	8,4 a	206,0 a	49,7 a	26,3 d
Coquetel	2,81	39,1 a	7,3 a	222,3 a	51,9 a	25,5 d
C.V.(%)		11,1	10,5	16,5	19,5	12,7

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

A exemplo do comportamento obtido para os macronutrientes (Tabela 7), a variação no conteúdo dos micronutrientes (Tabela 9) pode ser atribuída às variações na matéria seca das plantas de soja (Tabela 3) ou íons acompanhantes dos produtos aplicados.

Tabela 9 Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
TEST	0,00	745 a	155 a	3272 a	999 a	465 d
ZnSO ₄	3,00	760 a	135 b	3397 a	972 a	460 d
NPK + ZnSO ₄	5,25	660 a	140 b	3212 a	895 a	460 d
NPK + Zn	2,25	600 a	117 b	3072 a	763 a	375 d
NPK + Zn lan	2,25	572 a	132 b	2965 a	812 a	402 d
ZnO sem	0,04	677 a	130 b	3055 a	780 a	405 d
Broad Zn	0,11	655 a	127 b	3195 a	827 a	417 d
Broad Zn fol	0,27	880 a	165 a	3692 a	857 a	660 c
ZnSO ₄ fol	0,80	775 a	140 b	3727 a	810 a	947 b
Trad Zn	0,06	605 a	112 b	2915 a	642 a	442 d
Znitro	0,08	750 a	135 b	3122 a	690 a	490 d
Phyt Zn	0,40	812 a	147 a	3805 a	940 a	1247 a
Phyt K	0,00	692 a	122 b	3145 a	662 a	442 d
Bioz	0,02	727 a	137 b	3060 a	765 a	520 d
Água	0,00	767 a	157 a	3880 a	930 a	510 d
Coquetel	2,81	647 a	120 b	3680 a	850 a	422 d
C.V.(%)		17,80	11,80	21,58	19,94	18,32

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

3.4 Concentração e quantidade exportada de nutrientes nos grãos de soja

As concentrações de macronutrientes nos grãos de soja não variaram com as fontes e formas de aplicação de zinco (Tabela 10, APÊNDICE H), indicando que a adubação de base foi suficiente para o seu fornecimento. É também importante destacar que as quantidades de macronutrientes presentes em alguns tratamentos, certamente por serem baixas, não influenciaram os teores de macronutrientes nos grãos de soja.

Tabela 10 Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em grãos de soja (*Glycine max* L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹						
TEST	0,00	70,5 a	6,0 a	17,0 a	2,4 a	2,3 a	3,2 a
ZnSO ₄	3,00	71,8 a	6,3 a	17,5 a	2,4 a	2,3 a	3,3 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	71,3 a	6,0 a	17,3 a	2,3 a	2,3 a	3,3 a
NPK + Zn	2,25	70,5 a	6,0 a	17,5 a	2,5 a	2,3 a	3,4 a
NPK + Zn lan	2,25	72,3 a	6,1 a	17,2 a	2,2 a	2,3 a	3,3 a
ZnO sem	0,04	69,8 a	6,0 a	17,3 a	2,3 a	2,2 a	3,3 a
Broad Zn	0,11	71,8 a	6,1 a	17,0 a	2,5 a	2,2 a	3,2 a
Broad Zn fol	0,27	69,0 a	6,4 a	17,8 a	2,3 a	2,4 a	3,4 a
ZnSO ₄ fol	0,80	72,0 a	6,5 a	17,5 a	2,6 a	2,4 a	3,4 a
Trad Zn	0,06	70,8 a	6,5 a	17,5 a	2,6 a	2,4 a	3,6 a
Znitro	0,08	70,5 a	6,5 a	17,5 a	2,4 a	2,4 a	3,4 a
Phyt Zn	0,40	70,3 a	6,4 a	18,0 a	2,3 a	2,5 a	3,4 a
Phyt K	0,00	69,5 a	6,0 a	17,2 a	2,5 a	2,3 a	3,3 a
Bioz	0,02	70,5 a	6,4 a	17,6 a	2,4 a	2,4 a	3,4 a
Água	0,00	71,2 a	6,4 a	17,6 a	2,5 a	2,4 a	3,4 a
Coquetel	2,81	69,5 a	6,3 a	17,6 a	2,5 a	2,4 a	3,5 a
C.V.(%)		4,4	7,9	5,1	17,7	4,8	5,3

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Na literatura existem relatos que apontam as interações antagônicas do zinco com o fósforo, potássio, cálcio e magnésio (ARAÚJO et al., 2003; 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.

Apenas as quantidades exportadas de cálcio através da colheita de grãos não variaram com a aplicação dos tratamentos nas plantas de soja (Tabela 11, APÊNDICE I). Como os teores de macronutrientes nos grãos de soja (Tabela

10) não variaram, as diferenças na exportação se devem às variações na produção de grãos de soja (Tabela 3).

Tabela 11 Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) exportado pelos grãos de soja (*Glycine max* L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹						
TEST	0,00	152 b	13,0 b	36,8 b	5,3 a	5,0 b	7,0 b
ZnSO ₄	3,00	175 a	15,8 a	42,8 b	6,0 a	5,8 b	7,8 b
NPK + ZnSO ₄	5,25	192 a	16,0 a	46,8 a	6,0 a	6,0 a	8,5 a
NPK + Zn	2,25	169 b	14,3 b	42,0 b	5,8 a	5,5 b	8,3 b
NPK + Zn lan	2,25	177 a	15,0 b	42,0 b	5,5 a	5,8 b	8,0 b
ZnO sem	0,04	149 b	12,5 b	36,8 b	5,0 a	4,8 b	7,0 b
Broad Zn	0,11	160 b	13,8 b	38,3 b	5,5 a	4,8 b	7,3 b
Broad Zn fol	0,27	185 a	17,3 a	48,0 a	6,3 a	6,3 a	9,3 a
ZnSO ₄ fol	0,80	200 a	18,0 a	48,3 a	7,0 a	6,5 a	9,3 a
Trad Zn	0,06	172 b	16,0 a	43,5 b	6,3 a	5,8 b	8,8 a
Znitro	0,08	188 a	17,0 a	46,0 a	6,5 a	6,8 a	9,0 a
Phyt Zn	0,40	157 b	14,3 b	40,0 b	5,0 a	5,5 b	7,5 b
Phyt K	0,00	168 b	14,5 b	41,8 b	5,8 a	6,0 a	8,0 b
Bioz	0,02	198 a	18,0 a	49,5 a	6,8 a	6,8 a	9,8 a
Água	0,00	172 b	15,5 b	42,8 b	6,3 a	5,8 b	8,3 b
Coquetel	2,81	143b	13,0 b	36,3 b	5,3 a	5,0 b	7,3 b
C.V.(%)		10,9	13,1	11,4	21,0	11,7	12,6

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

O aumento de produtividade promove a retirada dos nutrientes do solo, e, nesse sentido, há necessidade de reposição dos nutrientes removidos da área de cultivo, a fim de evitar a redução das produtividades subsequentes e a degradação do solo. Entretanto, mesmo a partir da estimativa das quantidades exportadas, não se sabe ainda qual deve ser a variação nas doses a serem aplicadas em função dos tetos de produtividade das culturas (LOPES, 1999). A

observação da Tabela 11 permite concluir que em condições de campo, para o genótipo Valiosa, a sequência de exportação de macronutrientes foi: N > K > P > S > Ca= Mg, sequência essa, obtida também para a maioria das espécies (FAGERIA, 2001).

Os teores de micronutrientes encontrados nos grãos da soja não variaram com a aplicação das fontes de zinco em plantas de soja (Tabela 12, APÊNDICE J). Esse fato pode ter ocorrido em função de os teores de micronutrientes no solo já se encontrarem em níveis adequados, independentemente da aplicação dos tratamentos.

Tabela 12 Concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em grãos de soja (*Glycine max* L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
TEST	0,00	36,1 a	11,3 a	66,0 a	22,3 a	42,9 a
ZnSO ₄	3,00	33,8 a	14,6 a	76,5 a	24,7 a	53,8 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	33,8 a	11,7 a	62,4 a	23,5 a	43,3 a
NPK + Zn	2,25	31,9 a	12,5 a	70,5 a	26,0 a	47,8 a
NPK + Zn lan	2,25	34,6 a	11,1 a	60,0 a	23,2 a	40,6 a
ZnO sem	0,04	36,3 a	10,5 a	66,2 a	23,1 a	46,4 a
Broad Zn	0,11	31,9 a	11,5 a	70,6 a	25,2 a	48,2 a
Broad Zn fol	0,27	32,5 a	12,6 a	76,8 a	21,6 a	47,4 a
ZnSO ₄ fol	0,80	34,4 a	12,7 a	72,9 a	24,1 a	40,6 a
Trad Zn	0,06	35,0 a	12,9 a	70,6 a	22,8 a	43,7 a
Znitro	0,08	35,7 a	14,4 a	65,2 a	23,7 a	51,4 a
Phyt Zn	0,40	35,1 a	12,5 a	63,0 a	22,3 a	47,8 a
Phyt K	0,00	34,2 a	11,5 a	70,6 a	23,3 a	40,1 a
Bioz	0,02	34,5 a	13,4 a	70,3 a	23,2 a	48,2 a
Água	0,00	33,7 a	12,3 a	67,9 a	23,6 a	42,5 a
Coquetel	2,81	35,2 a	10,7 a	71,7 a	23,7 a	47,9 a
C.V.(%)		8,1	13,7	9,4	7,6	14,6

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Mesmo com a ausência de diferenças nos teores dos micronutrientes nos grãos de soja (Tabela 12), observou-se um ligeiro incremento nos teores de zinco em alguns tratamentos em relação a TEST. Tais resultados podem indicar que as plantas de soja apresentam baixa mobilidade do micronutriente para os grãos, independente da quantidade aplicada. Isso pode estar associado aos teores altos encontrados nesse compartimento (SANTOS; ESTEFANEL, 1986; YAGI et al., 2006), 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).

Entretanto, são necessários estudos em longo prazo que possam ou não confirmar os resultados obtidos na primeira safra de soja. A avaliação continuada dos tratamentos possibilitará avaliar o efeito residual do zinco, principalmente na produção de grãos e na nutrição mineral da soja.

Nota-se que na Tabela 13 (APÊNDICE K), os valores são em $g\ ha^{-1}$, quantidade que pode ser reposta por aplicações foliares ou via semente. As variações no conteúdo de micronutrientes acompanham as diferenças na produção de grãos (Tabela 3). Esta aplicação deve ser efetuada de forma criteriosa, pois foi observado pela EMBRAPA (2001) ausência de resposta da soja quanto à aplicação foliar de zinco na cultura da soja, podendo até reduzir a produtividade de grãos (FERNANDES et al., 2007).

Tabela 13 Conteúdo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) exportado em forma de grãos de soja (*Glycine max* L.) em diferentes alternativas de restituição de zinco (Sete Lagoas, MG)

Tratamento	Zinco aplicado	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
TEST	0,00	78,8 b	24,3 b	143,3 b	48,3 b	93,5 b
ZnSO ₄	3,00	83,0 b	35,8 a	187,8 a	60,3 a	132,8 a
NPK + ZnSO ₄	5,25	91,5 a	31,5 a	169,8 b	63,3 a	117,3 a
NPK + Zn	2,25	76,8 b	30,3 b	169,3 b	62,5 a	115,3 a
NPK + Zn lan	2,25	85,0 b	27,3 b	147,3 b	57,0 b	100,3 b
ZnO sem	0,04	78,0 b	22,5 b	141,3 b	49,3 b	100,3 b
Broad Zn	0,11	71,8 b	25,5 b	158,3 b	56,3 b	107,5 b
Broad Zn fol	0,27	87,3 b	33,8 a	206,3 a	58,0 b	127,5 a
ZnSO ₄ fol	0,80	104,8 a	35,8 a	201,3 a	69,3 a	112,8 b
Trad Zn	0,06	85,0 b	31,3 a	170,5 b	55,0 b	105,5 b
Znitro	0,08	94,3 a	38,3 a	172,3 b	62,8 a	137,0 a
Phyt Zn	0,40	79,0 b	28,3 b	141,3 b	50,0 b	108,8 b
Phyt K	0,00	83,0 b	28,0 b	171,8 b	57,0 b	102,8 b
Bioz	0,02	96,8 a	37,8 a	197,5 a	65,3 a	135,5 a
Água	0,00	82,0 b	29,8 b	163,5 b	57,0 b	102,3 b
Coquetel	2,81	72,8 b	22,0 b	149,0 b	49,0 b	98,8 b
C.V.(%)		15,1	19,6	14,4	13,2	20,5

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

No caso do zinco, os teores encontrados nos grãos de soja (Tabela 12) estavam acima do nível crítico (10 mg kg⁻¹) estabelecido por Marschner (1995), o que indica uma baixa probabilidade de resposta da aplicação do micronutriente (BONNECARRÈRE et al., 2003). Mesmo assim, houve aumento na produção de grãos (Tabela 3) e conseqüentemente o aumento da exportação de micronutrientes. Mesmo em solos com teores de micronutrientes adequados é necessária a reposição do que foi removido a fim de não comprometer as safras sucessivas (GALRÃO, 2002; LOPES, 1999).

Apesar dos resultados encontrados nesse estudo, aqueles tratamentos que não apresentaram nesta etapa respostas à aplicação de zinco, podem

apresentar comportamento distinto em condições em que os teores de zinco estejam abaixo do nível crítico.

Uma vez que o trabalho terá continuidade na mesma área com culturas em sucessão, informações mais detalhadas certamente serão obtidas, inclusive considerando o efeito residual de alguns tratamentos de restituição de zinco e suas interações, permitindo que se avance no conhecimento da dinâmica do nutriente em áreas com alto nível tecnológico.

4 CONCLUSÕES

Mesmo com a disponibilidade inicial de zinco acima dos níveis críticos descritos na literatura, a soja apresentou resposta em produtividade aos tratamentos de restituição com o micronutriente.

As diferentes alternativas usadas para o fornecimento de zinco promoveram respostas distintas na produtividade da soja.

Em função de variações na composição dos tratamentos de restituição de zinco, os ganhos de produtividade podem estar relacionados a outros nutrientes presentes nas fontes de zinco.

A resposta em produtividade da soja não dependeu da quantidade aplicada de zinco, mas da estratégia de restituição do nutriente.

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.
- ANDRÉ, E. M. et al. Fração de zinco em solos arenoso e suas relações com disponibilidade para *Cynodon* spp cv. Tifton – 85. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 451-459, maio/jun. 2003.
- ARAÚJO, I. B. et al. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 287, p. 27-39, jan./fev. 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, MG, v. 29, n. 6, p. 977-985, nov./dez. 2005.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.
- BONNECARRÈRE, R. A. G. et al. Resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de zinco. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 109-116, jan./jun. 2003.
- CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 6, p. 1029-1040, nov./dez. 2001.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, jul./dez. 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil, 2001/2002. Londrina, 2001. 267 p. (Documentos, 167).

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.

_____. 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.

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

FERNANDES, A. R. et al. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 599-608, jul./ago. 2007.

FERREIRA, D. F. **SISVAR, Sistema de Análise de Variância**. Lavras: UFLA, 2000. Software.

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.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; SCHULZE, D. G. Trace elements in Cerrado soils. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, n. 1, p. 103-142, 2002.

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

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.

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, mar. 2003.

RESENDE, G. M. et al. Resposta da alface tipo americana a doses e épocas de aplicação de zinco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 66-72, abr./jun. 2005.

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.

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.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 75, p. 2/3, set. 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Colchester, v. 14, n. 1, p. 48-87, Jan./Feb. 1995.

YAGI, A. et al. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 655-660, abr. 2006.

APÊNDICE

APÊNDICE A Análise de variância da matéria seca da parte aérea de quatro plantas na época do florescimento (MSPA), matéria seca de 100 grãos (MCG), produção de grãos de soja (kg ha^{-1}), matéria seca de hastes e vagens (MSHV) e matéria seca total (MST), submetidos a aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		MSPA	MCG	PG	MSHV	MST
Tratamento	15	194**	2,91 ^{ns}	331846**	28953 ^{ns}	362536 ^{ns}
Resíduo	48	42	3,66	104663	476601	543586
Total	63					
Média		70,80	17,31	3022,34	4839,69	7280,81
C.V.(%)		9,16	11,05	10,70	14,26	10,13

^{ns} e ** : não significativo e significativo a 1% pelo teste F

APÊNDICE B Análise de variância da concentração de macronutrientes nas folhas de plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em função da adubação com zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	15	4,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	48	5,81	0,09	1,65	0,81	0,19	0,03
Total	63						
Média		41,20	3,01	15,59	12,70	4,23	2,66
C.V.(%)		5,85	9,76	8,24	7,11	10,26	6,54

^{ns}: não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE C Análise de variância da concentração de micronutrientes nas folhas de plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno submetidos a aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	15	11,12 ^{ns}	0,70 ^{ns}	277,15 ^{ns}	42,36 ^{ns}	844,93*
Resíduo	48	33,00	0,80	206,81	47,67	34,89
Total	63					
Média		45,36	8,29	90,78	48,35	36,95
C.V.(%)		12,66	10,82	15,84	14,28	15,99

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE D Análise de variância da concentração de macronutrientes em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em função da adubação com zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	15	4,23 ^{ns}	0,06 ^{ns}	7,01*	1,80 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo	48	3,03	0,11	2,79	2,47	0,25	0,04
Total	63						
Média		27,50	2,40	15,42	13,80	4,37	2,17
C.V.(%)		6,33	13,55	10,83	11,41	11,34	8,86

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE E Análise de variância do conteúdo de macronutrientes em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno em função da adubação com zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	15	0,17**	0,00 ^{ns}	0,08**	0,04**	0,01*	0,00**
Resíduo	48	0,05	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Total	63						
Média		1,95	0,17	1,09	0,97	0,31	0,15
C.V.(%)		11,75	20,36	12,21	12,27	15,52	13,40

^{ns}, * e ** : não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F

APÊNDICE F Análise de variância da concentração de micronutrientes em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno submetidos a aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	15	18,73 ^{ns}	0,81 ^{ns}	702,83 ^{ns}	96,61 ^{ns}	420,49 ^{**}
Resíduo	48	19,50	0,65	962,17	83,40	14,57
Total	63					
Média		39,90	7,70	187,85	46,84	30,17
C.V.(%)		11,07	10,45	16,51	19,49	12,65

^{ns} e ^{**} : não significativo e significativo a 1% pelo teste F

APÊNDICE G Análise de variância do conteúdo de micronutrientes em plantas de soja (*Glycine max* L.) na época de florescimento pleno submetidos a aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	15	0,45 ^{ns}	0,01 ^{**}	6,72 ^{ns}	0,73 ^{ns}	3,44 ^{**}
Resíduo	48	0,25	0,00	8,24	0,43	0,16
Total	63					
Média		2,83	0,54	13,30	3,30	2,17
C.V.(%)		17,80	11,80	21,58	19,94	18,32

^{ns} e ^{**} : não significativo e significativo a 1% pelo teste F

APÊNDICE H Análise de variância da concentração de macronutrientes em grãos de soja (*Glycine max* L.) em função da adubação com zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	15	3,72 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	48	9,75	0,24	0,79	0,18	0,01	0,03
Total	63						
Média		70,29	6,23	17,45	2,41	2,33	3,35
C.V.(%)		4,42	7,88	5,09	17,68	4,77	5,27

^{ns}: não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE I Análise de variância da quantidade de macronutrientes exportados pelos grãos de soja (*Glycine max* L.) em função da adubação com zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	15	1195**	12,3**	73,1**	1,47 ^{ns}	1,65**	2,96**
Resíduo	48	352,25	3,97	23,35	1,52	0,45	1,06
Total	63						
Média		172,50	15,23	42,58	5,88	5,73	8,17
C.V.(%)		10,88	13,09	11,35	20,99	11,74	12,58

^{ns} e ^{**} : não significativo e significativo a 1% pelo teste F

APÊNDICE J Análise de variância da concentração de micronutrientes em grãos de soja (*Glycine max* L.) em função da aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	15	9,62 ^{ns}	5,74 ^{ns}	91,32 ^{ns}	4,91 ^{ns}	58,77 ^{ns}
Resíduo	48	7,80	2,80	41,89	3,16	44,64
Total	63					
Média		34,48	12,25	68,81	23,52	45,91
C.V.(%)		8,10	13,68	9,41	7,56	14,55

^{ns}: não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE K Análise de variância da quantidade de micronutrientes exportados em forma de grãos de soja (*Glycine max* L.) em função da aplicação de diferentes fontes e formas de aplicação de zinco (Sete Lagoas, MG)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	15	317,03*	107,50**	1819,27**	143,73**	778,83*
Resíduo	48	161,52	34,84	581,92	57,10	529,51
Total	63					
Média		84,34	30,13	168,13	57,38	112,38
C.V.(%)		15,07	19,59	14,35	13,17	20,48

* e ^{**} : não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F