

UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

IVAIR ANDRÉ NAVA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
COMERCIAIS FORMULADOS COM DIFERENTES FONTES DE ZINCO E
FITODISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS CÁDMIO, CHUMBO
E CROMO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
DEZEMBRO 2008

IVAIR ANDRÉ NAVA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
COMERCIAIS FORMULADOS COM DIFERENTES FONTES DE ZINCO E
FITODISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS CÁDMIO, CHUMBO
E CROMO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: PROF. Dr. AFFONSO CELSO GONÇALVES JUNIOR

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
DEZEMBRO 2008

DEDICATÓRIA

Em especial ao meu pai, Isaias Nava (*in memoriam*) pelo exemplo de força e coragem, à minha mãe Terezinha Leonilda Nava, pelo incentivo ao estudo e esperança para o futuro. Aos meus irmãos, Ivan Luiz Nava e Idian Martinho Nava, que sempre prestaram apoio quando precisei e que muito contribuíram para a minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Em especial ao professor e orientador Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior, pela amizade, incentivo, ensinamentos e orientação na condução deste trabalho.

Ao amigo e excelente pesquisador Valdir Luiz Guerini, pela ajuda prestada na implantação e condução do experimento.

Aos colegas com os quais realizei trabalhos em equipe durante o curso.

Aos demais professores do curso de Mestrado em Agronomia, pelos ensinamentos recebidos.

Aos amigos Leonardo Strey, Daniel Schwantes, Gilmar Divino Gomes e Herbert Nacke pela ajuda prestada nas análises de dados do trabalho.

A todos que participaram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA	2
2.2 A IMPORTÂNCIA DO ZINCO NA CULTURA DA SOJA.....	4
2.3 MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA E SEUS PRODUTOS COMERCIAIS.....	6
2.4 METAIS PESADOS TÓXICOS EM INSUMOS AGRÍCOLAS.....	8
2.5 ASPECTOS IMPORTANTES E OS EFEITOS DOS METAIS PESADOS TÓXICOS	14
2.5.1 Cádmio (Cd).....	15
2.5.2 Chumbo (Pb).....	15
2.5.3 Cromo (Cr).....	16
2.6 METAIS PESADOS TÓXICOS E AS PLANTAS	17
3 OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	19
4.2 COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SOLO	20
4.3 ANÁLISE QUÍMICA DOS FERTILIZANTES	20
4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	21
4.5 TRATAMENTOS	22
4.6 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	23
4.7 COLETA E ANÁLISE DE TECIDO VEGETAL.....	24
4.8 COLHEITA DA SOJA NA ÁREA EXPERIMENTAL	25
4.9 ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SOLO PÓS-COLHEITA.....	25
4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 TECIDO VEGETAL	27
5.2 COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE	30
5.3 SOLO.....	33
6 CONCLUSÃO	36
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do delineamento experimental e distribuição das parcelas.....**22**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Produção mundial de 2006 a 2008 em milhões de toneladas.	4
Quadro 2. Concentrações normais e críticas para alguns metais pesados em tecido foliar.	29
Quadro 3. Teores máximos a serem atingidos no solo.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica do solo.....	19
Tabela 2. Médias de precipitações pluviiais (mm), temperaturas máxima (MAX) e mínima (MIN) e umidade relativa (UR) durante a realização do experimento, no período de novembro/2007 a fevereiro/2008.	19
Tabela 3. Características químicas do solo no início do experimento.	20
Tabela 4. Valores médios dos metais pesados tóxicos no solo.....	20
Tabela 5. Valores médios de metais pesados tóxicos nos fertilizantes.	21
Tabela 6. Análise de variância para os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr no tecido foliar da soja.	27
Tabela 7. Valores médios dos teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr no tecido foliar da soja em função da dose de fertilizante.	28
Tabela 8. Análise de variância para os componentes da produção e da produtividade da soja.....	30
Tabela 9. Valores médios dos componentes da produção e da produtividade da soja, em função da dose de fertilizante.....	30
Tabela 10. Valores médios dos componentes da produção e da produtividade da soja, em função das diferentes fontes de fertilizantes.	32
Tabela 11. Análise de variância para os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Pb, Cd e Cr, no solo.	33
Tabela 12. Valores médios dos teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr, no solo, em função da dose de fertilizante.	33
Tabela 13. Desdobramento da interação fontes versus dose de aplicação de fertilizantes sobre a análise de solo para o elemento Zn.....	35

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% – Porcentagem
' – Minutos
" – Segundos
 μg – Micrograma
Al – Alumínio
ANAVA – Análise de variância
As – Arsênio
Ca – Cálcio
Cd – Cádmiio
Cfa – Clima temperado úmido com verão quente
cm – Centímetros
 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ – Centimol de carga por decímetro cúbico
Co – Cobalto
 CO_2 – Dióxido de carbono
Cr – Cromo
CTC – Capacidade de troca catiônica
Cu – Cobre
DAE – Dias após emergência
DBC – Delineamento em blocos ao acaso
Fe – Ferro
FTE – Fritted Trace Elements
 g dm^{-3} – Gramas por decímetro cúbico
 g ha^{-1} – Gramas por hectare
 g kg^{-1} – Gramas por quilograma
g – Gramas
h – Horas
Hg – Mercúrio
K – Potássio
kg – Quilograma
 kg ha^{-1} – Quilograma por hectare
L – Litros

m – Metros
m² – Metro quadrado
Mg – Magnésio
mg dm⁻³ – Miligramas por decímetro cúbico
mg kg⁻¹ – Miligramas por quilograma
mL/kg⁻¹ – Mililitros por quilograma
Mn – Manganês
MP-SP – Ministério Público de São Paulo
Mo – Molibdênio
N – Nitrogênio
Ni – Níquel
° – Graus
° C – Graus Celsius
P – Fósforo
Pb – Chumbo
pH – Potencial hidrogeniônico
PR – Paraná
Se – Selênio
sp – Espécies
V – Vanádio
Zn – Zinco

RESUMO

NAVA, Ivair André, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil, dezembro de 2008. **Produtividade da soja em função da aplicação de fertilizantes comerciais formulados com diferentes fontes de zinco e fitodisponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo.** Orientador: Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior.

A agricultura brasileira, referente a cultura da soja (*Glycine max L.*), passa por uma fase em que a busca da produtividade máxima é de importância fundamental. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produtividade e componentes da produção de soja, com a aplicação de fertilizantes comerciais formulados com diferentes fontes de Zn e a fitodisponibilidade de metais pesados tóxicos Cd, Pb, e Cr para esta cultura. O delineamento experimental utilizado foi na forma de blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial [(5x2)+1], com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco fontes de fertilizantes, duas doses de adubação e uma testemunha. O fertilizante possui a fórmula de NPK (2-20-18) com 0,3% de Zn na forma de grânulos, aplicados na base. Foram utilizadas cinco fontes de fertilizante: NPK formulado + fonte de Zn da marca A; NPK formulado + fonte de Zn da marca B; NPK formulado + fonte de Zn da marca C; NPK formulado + fonte de Zn da marca D; NPK formulado sem Zn na mistura. Serão consideradas as seguintes doses de adubação: uma vez a recomendação de adubação (NPK+Zn) para a cultura da soja e o dobro da recomendação de adubação. A testemunha se caracteriza por não conter fertilizante de base. Foram determinados os metais pesados tóxicos (Cd, Pb e Cr) e os nutrientes (P, K, Ca, Mg e Zn) na estrutura vegetal da soja e avaliação dos componentes da produção e da produtividade, em cada parcela útil (2,7 m²). Após a colheita, dentro de cada parcela útil, foram coletadas amostras de solos para determinação de macro e micronutrientes. Todos os dados obtidos experimentalmente foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Pelas condições de campo, em que foi realizado o referido experimento e com base nos resultados obtidos, podem-se chegar às seguintes conclusões: A aplicação do dobro da dose recomendada proporcionou elevação da média dos componentes da produção e

produtividade bem como dos teores de P, K, Zn e Cr no solo. A aplicação da dose recomendada proporcionou elevação das médias, dos teores foliares de Ca, Zn, Pb, Cr e dos teores de Mg, Cd e Pb no solo, em relação à utilização do dobro da dose recomendada.

Palavras-chave: soja, metal pesado tóxico, nutrição de plantas, micronutriente zinco.

ABSTRACT

NAVA, Ivair André. State University of West of Paraná, Brazil, December 2008. **Productivity of soybean according to the application of commercial fertilizers formulated with different sources of zinc and phytoavailability of toxic heavy metals cadmium, lead and chromium.** Advisor: Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior.

The Brazilian agriculture, covering the cultivation of soybeans (*Glycine max* L.), is going through a phase in which the pursuit of maximum productivity is of fundamental importance. The objective of this work is to evaluate the productivity and yield components of soybeans, with the application of fertilizers formulated with different sources of Zn and phytoavailability poisonous heavy metals Cd, Pb and Cr for this culture. The experimental design was in the form of randomized (BDC) in factorial [(5x2) + 1], with three replicates. The treatments consisted of five sources of fertilizer, two doses of fertilizer and a witness. The fertilizer has the formula of NPK (2-20-18) with 0.3% of Zn in the form of granules, applied at the base. We used five sources of fertilizer: NPK made source of Zn + Brand A; made NPK + Zn source of the mark B; made NPK + Zn source of the mark C; made NPK + Zn source of the mark D; NPK made without Zn in the mixture. Will be considered following doses of fertilizer: once the recommendation of fertilizer (NPK + Zn) for the soybean crop and twice the recommendation of fertilization. The witness is characterized by not contain the basic fertilizer. There were certain toxic heavy metals (Cd, Pb and Cr) and nutrients (P, K, Ca, Mg and Zn) in the structure of the soybean plant and evaluation of the components of output and productivity in each plot useful (2.7 m²) in kg ha⁻¹. After harvest, within each parcel useful, soil samples were collected for determination of macro-and micronutrients. All data obtained experimentally were subjected to analysis of variance and the averages compared by Tukey test at 5% probability. For the field conditions, where the experiment was conducted and based on the results obtained, the following conclusions were reached: The application of twice the recommended dose provided the average elevation of the components of output and productivity as well as the levels of P, K, Zn and Cr in soil. The implementation of the recommended dose has increased medium, the levels of leaf Ca, Zn, Pb, Cr and the

levels of Mg, Cd and Pb in soil, for use twice the recommended dose.

Key words: soybean, toxic metal, plant nutrition, toxicity, zinc micronutrient.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira, principalmente referente às grandes culturas como a soja (*Glycine max L.*), passa por uma fase em que a busca da produtividade máxima é de importância fundamental. Para que o homem do campo possa aumentar a eficácia nesta atividade, em decorrência da maior exigência pela competitividade da globalização da economia, uma das ferramentas encontradas pelos agricultores é o uso de micronutrientes em suas lavouras.

Entre os vários fatores de produção, cada vez mais ocupa um lugar de destaque a necessidade do uso de uma adubação equilibrada, que deve incluir não apenas os macronutrientes primários e secundários, mas também os micronutrientes, os quais ainda não são considerados na rotina das adubações pela maioria dos agricultores. Atualmente, com o avanço das indústrias de fertilizantes, esses micronutrientes são adicionados diretamente nas formulações de fertilizantes de base, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), encontrados no mercado de insumos agrícolas nacionais e importados.

A absorção de nutrientes pela cultura da soja é influenciada por diversos fatores, dentre eles, as condições climáticas como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratamentos culturais. A essencialidade do zinco (Zn) para as plantas, por exemplo, foi cientificamente estabelecida há mais de 70 anos e suas principais funções estão relacionadas com a fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e com a permeabilidade da membrana vegetal.

Diversos pesquisadores estão divulgando, em seus trabalhos científicos, fatos que geram críticas severas às indústrias de fertilizantes, no sentido de estarem envolvidas em operações que comprometem o meio ambiente, no qual o principal fato é a utilização de matéria-prima contendo metais pesados tóxicos como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e o cromo (Cr) na fabricação de fertilizantes.

No mundo do agronegócio, que precisa ser altamente competitivo, conceitos como rastreabilidade, meio ambiente e avaliação de riscos, são pontos de partida fundamentais para quem quer se estabelecer e crescer economicamente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

Dentre as principais oleaginosas cultivadas no mundo, a soja participa com pouco mais de 50% da produção total. Entre suas principais utilidades está o suprimento da demanda mundial de óleos vegetais e a produção de ração para a alimentação de bovinos, suínos e aves (OLIC, 2007).

A soja chegou ao Brasil via Estados Unidos, em 1882. A revolução socioeconômica e tecnológica protagonizada pela soja no Brasil Moderno pode ser comparada ao fenômeno ocorrido com a cana-de-açúcar, no Brasil Colônia e com o café, no Brasil Império/República, que em épocas diferentes, comandou o comércio exterior do país. A soja responde por uma receita cambial direta para o Brasil de mais de sete bilhões de dólares anuais (superior a 11% do total das receitas cambiais brasileiras) e cinco vezes esse valor, se considerados os benefícios que gera ao longo da sua extensa cadeia produtiva (EMBRAPA SOJA, 2003).

Impulsionada pela expansão da demanda, principalmente internacional, a cultura da soja começou a se expandir mais vigorosamente no Brasil, em meados do ano de 1975. Essa expansão atingiu principalmente os estados do Sul do país em regiões de ocupação agrícola antiga, onde a soja passou a ocupar áreas antes exploradas com outras lavouras, ou áreas de pastagem. A soja começou a ser cultivada no Estado do Rio Grande do Sul, como uma opção de rotação com o trigo, posteriormente, expandiu-se para os Estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo (MÜELLER, 2002).

Em comparação com os dados de 1980, ocorreu uma forte expansão da soja na região do Cerrado, onde os dados de 1990 revelaram considerável intensificação da produção dessa região, também o Mato Grosso já era o terceiro produtor do país, com cerca de 1,6 milhões de hectares plantados e a soja já era significativa em uma parcela importante do Centro-Leste e do Centro-Oeste do estado (MÜELLER, 2002).

O Brasil caminha para novos rumos na utilização da soja. A necessidade de reduzir a dependência do petróleo, aliada às exigências do Tratado de Kyoto, vem motivando o governo e agentes privados a se unirem no Projeto Biodiesel; um

exemplo disso é a Lei Federal número 11.097/2005, que estabelece a regulamentação sobre o uso do biodiesel, que será aplicada em três fases: de 2005 a dezembro de 2007, o combustível vegetal será adotado na proporção de 2% ao óleo diesel; em 2008 passa a ser obrigatório e a partir de 2013 o percentual de adição saltará para 5%. Este projeto pode levar o país à liderança mundial em produção de biodiesel num prazo de 10 anos (MELLO et al., 2007).

A produção de grãos de soja, no Estado do Paraná, passou de oito mil toneladas na média dos anos 1960 e 1961; para 150 mil toneladas na média dos anos 60; para 3,5 milhões de toneladas na média dos anos 70; para 4,15 milhões de toneladas na média dos anos 80 e para 6,5 milhões de toneladas na média dos anos 90. Na safra 2002/2003 foram colhidas 10,7 milhões de toneladas, consolidando o Paraná na segunda posição entre os estados produtores, atrás apenas, do Mato Grosso (EMBRAPA SOJA, 2003).

A soja é utilizada para a produção do óleo comestível mais vendido no mundo, além de render outros produtos, como leite e pastas (AGENCIA BRASIL, 2006).

Estima-se que crescerá o consumo e conseqüentemente a demanda por soja no mundo, pois a população humana continuará aumentando de forma exponencial. Outra situação importante da soja é referente aos estudos sobre características nutricionais da leguminosa, que têm promovido a sua incorporação à dieta alimentar da população brasileira (EMBRAPA SOJA, 2006).

Avanços na tecnologia e no desenvolvimento da soja no Brasil, em relação a variedades de soja adaptadas a diferentes ecossistemas do país, principalmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) e empresas de sementes do setor privado, permitiu um aumento continuado do rendimento da lavoura dessa leguminosa. Por exemplo, no ano de 2002, constatou-se que o rendimento da soja no Rio Grande do Sul passou de 1.438 kg ha⁻¹ em 1980, para 2.000 kg ha⁻¹ na safra de 2000/2001. No Paraná, o rendimento médio passou de 2.240 kg ha⁻¹ para 2.740 kg ha⁻¹ no mesmo período (MÜELLER, 2002).

A CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) divulgou em 2007, que o Brasil teve uma área plantada de 20.895 ha com uma produtividade de 2.802 kg ha⁻¹ e uma produção total de 58,49 milhões de toneladas. Para a próxima safra 2008/2009 existe uma previsão de produção em torno de 59,50 milhões de toneladas em uma área de 21.219 ha (CONAB, 2008).

O Quadro 1 apresenta a produção mundial de soja em milhões de toneladas, dos principais países, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Quadro 1- Produção mundial de 2006 a 2008 em milhões de toneladas.

	PART.PAÍS	06/07	07/08	08/09
EUA	35,1%	86,77	70,36	84,50
BRASIL	26,6%	59,00	61,00	64,00
ARGENTINA	19,9%	48,80	47,00	48,00
CHINA	6,6%	15,20	13,50	16,00
PARAGUAI	2,9%	3,60	7,00	7,00
CM.EUROP	0,4%	1,23	0,72	0,77
JAPÃO	0,1%	0,23	0,23	0,23
OUTROS	8,4%	21,73	18,99	20,17
TOTAL	100%	236,56	218,80	240,67

Fonte: GRANOPAR, 2008.

2.2 A IMPORTÂNCIA DO ZINCO NA CULTURA DA SOJA

O manejo da cultura agrícola tem-se tornado um dos principais fatores de produtividade de grãos nos sistemas tecnificados, em que é comum o desbalanceamento nutricional no solo, principalmente dos micronutrientes. Este fator vem aumentando o interesse por maiores estudos sobre doses e fontes, uma vez que os micronutrientes são muito importantes à manutenção dos sistemas auto-sustentáveis. Devido ao uso intensivo do solo e à utilização de variedades produtivas melhoradas e mais exigentes em relação à nutrição, há necessidade de um melhor acompanhamento dos níveis de micronutrientes nas áreas agricultáveis em relação ao manejo empregado, mesmo nos casos de pequenas quantidades (OLIVEIRA et al., 2001).

Os pesquisadores Martens & Westermann (1991), relatam que o Zn exerce funções importantes no metabolismo de carboidratos, proteínas e auxinas, e verificaram que a exportação dos micronutrientes do solo para os grãos constitui um dos principais meios de esgotamento do solo. A correção da fertilidade e o manejo adequado do solo têm sido os meios usados para manter a produção de grãos (OLIVEIRA et al., 2001; GONÇALVES Jr. & PESSOA, 2002).

Segundo Lopes (1999), o Zn tem maior disponibilidade entre o pH 5,0 e 6,5 para solos médios ou argilosos. Alguns solos, quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0; podem desenvolver sérias deficiências de Zn, principalmente se forem arenosos. Deficiências podem ocorrer quando se usam altas doses de fertilizantes fosfatados. Várias culturas comerciais já mostraram os efeitos da interação Zn/P, também a mesma sofre maior efeito quando se apresenta em valores de pH próximo a neutralidade. Grandes quantidades de Zn podem ser fixadas pela fração orgânica do solo induzindo a deficiências. Esse micronutriente pode ser também, temporariamente imobilizado nos corpos dos micronutrientes do solo especialmente quando da aplicação de esterco animal.

Baixas temperaturas associadas à alta umidade do solo podem fazer com que as deficiências de Zn sejam mais pronunciadas. Isso tende a se manifestar nos estádios iniciais de crescimento de plantas de soja e geralmente os sintomas desaparecem mais tarde, também o Zn é altamente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, aumentando o efeito residual. Entretanto, solos arenosos, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e sujeitos a alta intensidade pluviométrica, podem apresentar problemas de deficiência (GUILHERME, 1999).

As eficiências das fontes de Zn dependem de uma série de fatores ligados às características do solo e da planta e suas interações. Entretanto, sob condições de chuvas torrenciais, solos de textura arenosa e baixa CTC, as fontes não solúveis em água, tais como: óxidos inorgânicos, silicatos, Fritted Trace Elements (FTE), etc; podem ser mais eficientes, principalmente quando utilizadas na forma de pó. A aplicação preventiva de micronutrientes deve ser preferencialmente feita com produtos de baixa solubilidade como, por exemplo, as FTE. Neste caso, o efeito residual é maior (LOPES & GUILHERME, 1990; GUILHERME, 1999).

2.3 MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA E SEUS PRODUTOS COMERCIAIS

Na agricultura, os micronutrientes são aplicados via solo, folha ou nas sementes. Para aplicação no solo, geralmente os micronutrientes são incorporados às formulações básicas contendo N, P e K, estando esses elementos presentes em baixas concentrações. No ano de 2003 já era grande a demanda pelo uso de FTE como fonte de micronutrientes pelas misturadoras e granuladoras de fertilizantes (ALCARDE & VALE, 2003).

Atualmente não se sabe corretamente quais são as fontes de nutrientes que se compra no mercado de insumos, se fosse questionado aos técnicos brasileiros e produtores rurais, possivelmente muitos deles não saberão a resposta. O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) somente poderá nos informar que existem no mercado basicamente de quatro a cinco produtos do tipo FTE, óxidos, sulfatos, quelatos, dentre outros. O que eles não saberão explicar é o que as empresas de fertilizantes estão vendendo aos produtores brasileiros. Simplesmente porque a legislação brasileira do MAPA, quanto a micronutrientes é muita falha na questão (GONÇALVES Jr. & PESSOA, 2002).

No ano de 2006, os técnicos do Departamento de Fiscalização (Defis), da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB) afirmaram, em suas análises, que 30% dos fertilizantes encontrados em estabelecimentos comerciais do Paraná estão fora do padrão exigido, sendo que os índices de nutrientes obtidos em análises laboratoriais estão abaixo do que realmente os produtos indicam e garantem em seus rótulos. Por esse alerta, há indicativos de que se iniciem análises para verificar se os insumos em questão estão contaminados por metais pesados prejudiciais a saúde humana, que podem contaminar os solos e conseqüentemente os alimentos e cursos hídricos (RIBAS, 2007).

A legislação atual exige que os fertilizantes contendo micronutrientes, devam apresentar garantia de solubilidade em ácidos concentrados e não em uma forma mais disponível às plantas, como água, por exemplo. Assim, a legislação vigente dá margem para disponibilização de produtos de má qualidade no mercado. Deve ser ressaltado que a questão está sendo discutida seriamente pela comunidade científica brasileira, a qual vem trabalhando junto ao MAPA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e Ministério Público de São Paulo (MP-SP) para alterar a legislação. Neste caso, se um vendedor de FTE estiver comercializando algum tipo

de subproduto industrial, os quais são muito solúveis em ácidos concentrados, ele infelizmente estará infringindo a lei (MOREIRA, 2007).

Diante disso, existem pesquisadores interessados em liberar valores e teores de metais pesados tóxicos em diversos tipos de insumos agrícolas, porém muitos pesquisadores aliados ao MP-SP, estão interessados em barrar essas tentativas em prol da qualidade ambiental de nosso país (GONÇALVES Jr. & PESSOA, 2002).

Estudos desenvolvidos na ESALQ/USP, citados por Moreira (2007), com algumas fontes de micronutrientes, confirmam o fato de que nem sempre o fertilizante dito solúvel (solubilidade em ácido garantia exigida pela legislação), é disponível às plantas. Os trabalhos de Vale (2001) e Alcarde & Rodella (1993), mostram que houve redução da produtividade de arroz e milho com utilização de várias fontes comerciais de Zn, comparadas ao sulfato de zinco (100% solúvel em água). No campo, a eficiência desses produtos pode ser menor ainda, uma vez que esse trabalho foi desenvolvido em condições controladas.

Fertilizantes contendo micronutrientes, comercializados no Brasil, não possuem realmente as características químicas e físicas de FTE, ou seja, os micronutrientes não estão fundidos com silicatos, característica do produto em questão. De acordo com pesquisadores, os produtos são obtidos da solubilização parcial de resíduos com ácido sulfúrico. Dessa forma, apresentam parte dos micronutrientes na forma de sulfato, de boa solubilidade, e parte como resíduo, de disponibilidade desconhecida (VALE & ALCARDE, 1999).

As quantidades de micronutrientes exigidas pelas culturas são baixas, o que dificulta sua aplicação uniforme no campo. Por isso, tanto os fertilizantes sólidos como os fluídos são utilizados como veículos para se adicionar micronutrientes ao solo (MORTVEDT, 1979).

Os fertilizantes do tipo FTE são preparados a partir da mistura de quantidades adequadas de feldspatos, cinzas, sílica e bórax. Todos estes componentes são aquecidos entre 1000-1300 °C. O material fundido sofre adição de água (Método Quench), estando numa forma de pasta endurecida que sofre a quebra e posteriormente é seco e finamente moído (PONCHIO & BALLIO, 1988).

Alcarde & Rodella (1993), alertam que, na legislação brasileira, a garantia e os métodos oficiais de análise referem-se ao teor total dos micronutrientes. Isto possibilita comercializar diversos subprodutos industriais que contenham

micronutrientes com teores totais exigidos pela legislação, mas na verdade, são compostos de baixa solubilidade e não indicados na legislação. Um exemplo é a comercialização de Zn metálico sob o rótulo de óxido de zinco.

McCollum et al. (1966), verificaram que micronutrientes podem ser diretamente adicionados em formulações NPK durante o processo de granulação. O processo de mistura dos micronutrientes com os macronutrientes (NPK) nem sempre se traduz em benefício para as plantas. As reações químicas que ocorrem entre os compostos de Zn e os compostos contendo os macronutrientes podem resultar num decréscimo na disponibilidade do Zn para as plantas.

O Zn pode ser adicionado ao adubo de várias maneiras: por meio da incorporação deste elemento durante o processo de granulação ou por meio do revestimento dos grânulos após a fabricação do granulado NPK ou ainda, ser adicionado à mistura de grânulos na forma granulada (YOUNG, 1969).

2.4 METAIS PESADOS TÓXICOS EM INSUMOS AGRÍCOLAS

A busca do ser humano pelo seu bem estar tem levado a um aumento crescente da produção e industrialização de produtos que lhes causem conforto, mas que, em compensação, geram resíduos que coloca em risco o bem estar procurado (MELO et al., 2007).

Responsável por mais de um terço das riquezas geradas no país, o agronegócio tem sido valorizado pela economia brasileira. Apesar de seu expressivo crescimento, no entanto, a atividade tem colecionado críticas quanto a sua relação com o meio ambiente. Há problemas graves relacionados à atividade agrícola, porém, permanecem em total obscuridade, como no caso da utilização de resíduos industriais tóxicos na formulação de micronutrientes, substâncias destinadas a suprir deficiências do solo (MONTEIRO, 2005).

Alguns insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura, também representam possível fonte de contaminação. Embora menos importantes do ponto de vista quantitativo, esses insumos (fertilizantes, calcários, esterco e lodos de esgoto) podem constituir fontes de poluição de solos e sistemas aquáticos (MARCHI et al., 2007).

Os adubos utilizados para suprir micronutrientes possuem uma composição, que além dos elementos essenciais e desejáveis, também em geral, contém metais pesados tóxicos, como Cd, Pb e Cr (GONÇALVES Jr. et al., 2002).

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza. Nos solos, os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (estercos de animais, lixo domiciliar e biossólidos); entretanto, o termo metal pesado é utilizado para elementos químicos que geralmente contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota (TSUTIYA, 1998).

Metais pesados são elementos químicos que possuem massa específica maior que 5 g cm^{-3} ou número atômico maior do que 20, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio (Se). Os metais pesados podem ser classificados como essenciais: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn); benéficos: cobalto (Co), níquel (Ni), vanádio (V); não essenciais ou tóxicos: alumínio (Al) cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg) etc. (MALAVOLTA, 1994).

Os metais pesados ocorrem naturalmente nos solos e alguns deles, tais como Cu, Zn e Co, desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como Cd, Pb, arsênio (As), Cr e Se, exercem efeitos deletérios sobre vários componentes da biosfera (ALLOWAY, 1995).

O bom desempenho do agronegócio no país tem estreita relação com o aumento da utilização desses elementos. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), enquanto a área cultivada expandiu-se 22% no país entre 1990 e 2003, a produção de grãos mais do que duplicou, passando de 59 milhões de toneladas para 125 milhões. Esse ganho de produtividade explica-se, em grande parte, pelo aumento de mais de 13 vezes no consumo de micronutrientes, no mesmo período (MONTEIRO, 2005).

Um parecer técnico de 2004, elaborado pelo consultor ambiental ligado ao Ministério da Saúde Élio Lopes dos Santos, afirma que, a partir do final da década de 1970, com o objetivo de diminuir os custos de produção, as indústrias do setor passaram a utilizar resíduos industriais perigosos na busca de elementos considerados essenciais às plantas; esses resíduos provêm primordialmente dos

setores de fundição e siderurgia das empresas nacionais, embora neste contexto, muitas dessas atividades estão sendo desenvolvidas com resíduos industriais perigosos originário de outros países (MONTEIRO, 2005).

Convém ressaltar que, embora a importação de resíduos conte com legislação proibitiva no plano Federal (Resolução CONAMA 23/96) e o Brasil seja signatário da Convenção da Basileia para Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e Outros Resíduos (Decreto Federal 875/93), ainda assim, vem ocorrendo entrada de cargas dessa natureza por importação irregular, caracterizando tráfico ilícito, a exemplo do que ocorreu por diversas vezes no Porto de Santos, envolvendo empresas e fabricantes de insumos agrícolas contendo micronutrientes, importando resíduos químicos tóxicos e perigosos dos EUA, Canadá, México, Espanha, Holanda e Inglaterra, levando inclusive a suspeita da existência de lavagem de dinheiro e evasão de divisas (SANTOS, 2007).

Essa prática citada é alvo de uma investigação do MP-SP. Em uma ação realizada, foi constatado que o problema ultrapassa as fronteiras nacionais, uma vez que, além de buscar esses sub-produtos de indústrias brasileiras, alguns fabricantes de adubos contendo micronutrientes, passaram também a importá-los sob o pretexto de ser uma matéria-prima, sendo que está comprovado ser lixo químico industrial (MONTEIRO, 2005).

O acúmulo de metais pesados tóxicos em solos agrícolas é um aspecto de grande preocupação. Esses elementos podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar, por meio das próprias plantas, ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (CHANG et al., 1987).

Alguns micronutrientes são metais pesados essenciais ao desenvolvimento das plantas. Entre os principais estão o Zn, Cu, Fe e o Mn. Todos eles estão presentes na natureza, mas em teores insuficientes para garantir uma alta produtividade à agricultura, e por essa razão são elaborados industrialmente e adicionados aos fertilizantes, contendo os macronutrientes como N, P e K. Assim, os maiores compradores de micronutrientes são as indústrias de adubo (MONTEIRO, 2005).

Até a década de 1970, os micronutrientes eram obtidos diretamente de minérios encontrados na natureza. Embora eles também contivessem metais pesados tóxicos, o processo de beneficiamento desse material era menos questionável do ponto de vista ambiental, pois os níveis de contaminantes eram muito baixos. Porém, trabalhar com os minérios adequados, exige altos investimentos em equipamentos e tecnologias. Dessa forma, a dificuldade técnica e a busca pela redução de custos de produção acabaram estimulando as empresas a buscar uma solução mais barata, assim, de forma irresponsável, as indústrias passaram a usar resíduos como matéria-prima (GONÇALVES Jr. et al., 2000; SANTOS, 2007).

Para as formuladoras de micronutrientes, os benefícios são igualmente atraentes, uma vez que adquirem matéria-prima a custos irrisórios. Além disso, essas fábricas são as únicas que não geram nenhum tipo de resíduo, porque o incorporam diretamente nos seus produtos (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

Trabalhos recentes demonstram que plantas cultivadas com altas concentrações de metais pesados tóxicos podem oferecer risco de contaminação. Essas substâncias, são identificadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como prejudicial à saúde humana (MARTINS et al., 2003; MONTEIRO, 2005).

Ficou constatado que as empresas, formuladoras de micronutrientes, de fato, utilizavam resíduos tóxicos no processo industrial. As análises realizadas tanto na matéria-prima quanto nos produtos finais revelaram índices alarmantes de contaminação. Em vistorias feitas em empresas localizadas em Paulínia-SP, a amostra do produto acabado apresentava $7.050 \mu\text{g Pb g}^{-1}$, uma concentração muito superior à do Zn ($2.800 \mu\text{g Zn g}^{-1}$), que deveria ser mais abundante, já que é o elemento de interesse do composto (MONTEIRO, 2005).

O envolvimento da indústria de fertilizantes ocorre no processo de mistura desses micronutrientes, provenientes de fontes duvidosas, contaminados com elementos tóxicos aos seus produtos finais, mais precisamente aos fertilizantes NPK, conhecidos como macronutrientes. O resultado é o acúmulo de elementos tóxicos no solo agricultável, águas superficiais e subterrâneas, sedimentos e alimentos, tornando-se um perigo latente ao meio ambiente, aos trabalhadores e à saúde pública (SANTOS, 2007).

Como se não bastasse a utilização de resíduos tóxicos industriais gerados no país para a formulação de micronutrientes, a partir de 1990 surgiram denúncias de que havia empresas que importavam esse material. A primeira apreensão noticiada, motivada por informações da organização não-governamental (ONG) *Greenpeace*, ocorreu no porto de Santos (SP), em 1992 (GONÇALVES Jr. et al., 2000). A carga era procedente da Inglaterra e tinha sido comprada por uma empresa de São Paulo, que foi obrigada a enviá-la a um aterro especial para resíduos perigosos (MONTEIRO, 2005).

Até o momento, não existe legislação referente à utilização de resíduos tóxicos na produção de micronutrientes. Há, no entanto, textos técnicos que definem claramente tais materiais como perigosos. Um exemplo é a Norma NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), segundo a qual esses resíduos podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada (SANTOS, 2007; MONTEIRO, 2005).

Para embasar argumentos positivos à favor da legalização do uso de resíduos químicos na indústria de fertilizantes, certos grupos empresariais têm financiado diversas publicações técnicas. Segundo Malavolta (1994), os ataques à formulação de micronutrientes a partir de resíduos contaminados são baseados em mitos. Atividades irregulares foram constatadas em indústrias de insumos agrícolas no Estado de São Paulo, na sua maioria associadas a ANDA, que objetivando diminuir os custos das matérias-primas, passaram a utilizar resíduos industriais perigosos, primordialmente o Zn e Mn, que são de interesse na agricultura, em substituição aos minérios encontrados na natureza, sem se preocupar com a presença de outros elementos químicos inorgânicos e orgânicos, os quais não estão envolvidos diretamente no metabolismo das plantas e são considerados tóxicos (SANTOS, 2007).

A entidade ANDA, que partilha da bandeira defendida pelas empresas de fertilizantes, divulga que há oito anos foi criado um comitê que já avaliou mais de 400 amostras de produtos nacionais e importados. Os resultados dessas pesquisas mostram que a contaminação é mínima quando se faz o adequado tratamento desse resíduo (MELO et al., 2007).

Outra afirmação importante, é que esse material é mais limpo do que o minério e acrescentam que as plantas são muito seletivas quanto ao que extraem do solo. Ainda garantem que existem estudos que mostram que elas não absorvem metais pesados tóxicos. Mesmo assim, admitem que não há informações suficientes sobre os problemas causados por esses contaminantes sobre a fauna ou os rios. Afinal, a infiltração das chuvas pode carregar os poluentes acumulados no solo para os lençóis freáticos, o que afetaria o abastecimento de água, principalmente das regiões contaminadas (MONTEIRO, 2005).

O aspecto mais enfatizado, pelos que são contrários à regulamentação que permitiria o uso de resíduos na formulação de micronutrientes é a falta de informação. Existem argumentos, no qual esses poluentes são conhecidos por apresentar riscos ao meio ambiente e à saúde pública e ainda não há conhecimento científico suficiente sobre os impactos causados pela disposição desses resíduos no solo (GONÇALVES Jr. et al., 2002).

Embora um consenso pareça distante, é importante dizer que não existe radicalismo nas posições contrárias à liberação do uso de resíduos tóxicos como matéria-prima para a indústria de micronutrientes. É necessário que as empresas consigam eliminar completamente os poluentes e sejam realizados todos os estudos necessários para comprovar que seus produtos não prejudicam o meio ambiente ou a saúde humana. Assim, o uso de resíduos pode até se tornar uma excelente alternativa econômica para a fabricação de micronutrientes (MELO et al., 2007).

Para o uso de matérias-primas na formulação de fertilizantes com micronutrientes, é importante que sejam previamente retirados os metais pesados não nutrientes e compostos potencialmente perigosos, para poder reaproveitar os elementos que funcionam efetivamente como nutrientes. Resta ainda a concepção e implantação de mecanismos de monitoramento, controle e fiscalização de alto nível e rigor técnico aos produtos finais gerados, ao monitoramento dos solos e outros subsistemas afetados direta ou indiretamente, sem os quais todos os procedimentos de eventuais regulamentações se tornarão inócuos (SANTOS, 2007).

Dessa forma, qualquer regulamentação deve se basear na segurança ambiental. E essa é uma palavra de ordem quando se trata da difusão de metais pesados tóxicos e outros poluentes perigosos num mercado como esse que espalha anualmente mais de 400 mil toneladas de micronutrientes pelas lavouras de todo o

país (MONTEIRO, 2005).

Toda produção de micronutrientes somente poderia ser realizada a partir da utilização de matéria-prima específica, contendo separadamente os elementos essenciais para a planta e ainda seria necessário considerar nas embalagens de micronutrientes e de fertilizantes as relações das concentrações de todos os elementos físico-químicos presentes, sejam ou não de interesse das plantas, preservando assim a defesa do consumidor (SANTOS, 2007).

2.5 ASPECTOS IMPORTANTES E OS EFEITOS DOS METAIS PESADOS TÓXICOS

Uma vez presente no solo, no ar ou na água, seja por ocorrência natural ou por ação antrópica, o metal pesado pode adentrar na cadeia alimentar e ao atingir concentrações elevadas nas plantas, animais e no ser humano, causar problemas de toxicidade, diminuindo a produtividade no caso de plantas e animais e vindo a causar doenças nos humanos, que podem culminar com a morte (MELO et al., 2007).

Grandes problemas ambientais estão relacionados à quantidade de metais que são acumulados por plantas utilizadas na alimentação animal e humana, às formas como se distribuem dentro dos tecidos das plantas e seu papel na transferência desses elementos para outros organismos. Os efeitos biológicos são de grande importância na saúde de homens e animais causados pela poluição metálica de plantas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

Existe a necessidade de diagnosticar a situação atual dos solos agricultáveis e nas águas, quanto aos atuais níveis de metais pesados que estes apresentam, considerando especialmente os teores de Cd, Pb, Cr e Hg, produto do incremento histórico de micronutrientes e fertilizantes contendo tais substâncias nos solos agricultáveis do Brasil (MONTEIRO, 2005; SANTOS, 2007).

Desta forma, os países têm se preocupado em definir as concentrações de metais pesados que possam ocorrer em solos, água e alimentos diversos, diminuindo assim o risco de intoxicações pela ingestão dos mesmos (GONÇALVES Jr. & PESSOA, 2002).

Alguns insumos agrícolas e subprodutos usados como fertilizantes e corretivos (fertilizantes, calcários, escórias, esterco, lodo de esgoto) podem contribuir para o aumento da concentração de metais pesados no solo e na água; exemplo disso são os fertilizantes nitrogenados, que podem conter quantidades elevadas de metais pesados como As e Pb (SANTOS, 2007; MELO et al., 2007).

2.5.1 Cádmi (Cd)

O Cd é encontrado na natureza quase sempre junto com o Zn, em proporções que variam de 1:100 a 1:1000, na maioria dos minérios e solos. O Cd existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de 3 g ha⁻¹ por ano. Na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo Cd é a utilização de fertilizantes fosfatados. Sabe-se que a captação de Cd pelas plantas é maior quanto menor o pH do solo. O Cd é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano. O órgão alvo primário nas exposições ao Cd são os rins. Os efeitos tóxicos provocados por ele compreendem principalmente distúrbios gastrointestinais, após a ingestão do agente químico (CAMPOS, 2008).

2.5.2 Chumbo (Pb)

Compostos de Pb são absorvidos por via respiratória e cutânea. Os chumbos tetraetila e tetrametila também são absorvidos através da pele intacta, por serem lipossolúveis. O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são considerados órgãos críticos para o Pb, que interfere nos processos genéticos ou cromossômicos e produz alterações na estabilidade da cromatina em cobaias, inibindo reparo de DNA e agindo como promotor do câncer (CAMPOS, 2008).

Segundo Melo et al. (2007), a estimativa de queda do Quociente Intelectual (QI) em crianças está na ordem de 1 a 3 pontos para cada aumento de 1 mg Pb mL⁻¹ de sangue. O Pb está associado a problemas neurológicos e renais (MONTEIRO,

2005).

O excesso de chumbo no solo pode causar diferentes sintomas de toxicidade em plantas, como por exemplo, a redução de crescimento, clorose e escurecimento do sistema radicular, além disso, o chumbo inibe a fotossíntese, altera a nutrição mineral e o balanço hídrico, modifica o estado hormonal e afeta a estrutura e permeabilidade da membrana (SHARMA et al., 2005).

As principais consequências da toxicidade do Pb em plantas são interrupções no metabolismo do Ca, inativação enzimática, redução na assimilação do dióxido de carbono (CO_2) com inibição da respiração e transpiração e conseqüente queda na produção (BERGMANN, 1982).

2.5.3 Cromo (Cr)

A maior parte do Cr é eliminada por meio da urina, sendo excretada após as primeiras horas de exposição. Os compostos de cromo produzem efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos. Os cutâneos são caracterizados por irritação no dorso das mãos e dos dedos, podendo transformar-se em úlceras. As lesões nasais iniciam-se com um quadro irritativo inflamatório, supuração e formação crostosa. Em níveis bronco-pulmonares e gastrointestinais produzem irritação bronquial, alteração da função respiratória e úlceras gastroduodenais (CAMPOS, 2008).

No solo, o efeito da matéria orgânica é estimular a redução do Cr^{6+} para Cr^{3+} que tem ocorrência natural. Assim, substâncias orgânicas adicionadas ao solo, como lodo de esgoto, causam um aumento significativo de duas espécies de cromos; o Cr associado a hidróxidos e o Cr ligado à matéria orgânica. O Cr^{6+} , prontamente solúvel em solos, é tóxico para plantas e animais, inclusive ao ser humano. Portanto, a variabilidade no estado oxidativo do Cr em solos é de grande importância ambiental (MELO et al., 2007).

2.6 METAIS PESADOS TÓXICOS E AS PLANTAS

De modo geral, a absorção de metais pelas plantas não ocorre de forma proporcional à concentração do mesmo no solo, exceto no caso de baixas concentrações (DUDKA & MILLER, 1999).

Nem todos os órgãos das plantas possuem a mesma sensibilidade quanto à acumulação de metais pesados; normalmente, a raiz é o órgão prioritário de entrada e acumulação dos metais pesados (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

A absorção dos metais pelas plantas envolve uma fase passiva, em que o metal adentra o sistema radicular da planta sem que esta participe do processo (via apoplasto). Uma fase ativa que envolve a participação do vegetal inclusive à custa de gasto de energia (via simplasto). Uma vez o metal absorvido vem a etapa de sua translocação para os diversos órgãos das folhas (MELO et al., 2007).

Em alguns sistemas metal-planta, o metal pode tender a se acumular nas raízes, ou o mesmo pode tender a se acumular em outros órgãos como caule, folha, fruto. Elementos como B, Mn, Zn e Ni distribuem-se de maneira mais ou menos uniforme pela planta, enquanto Co, Cu, Mo e Cd usualmente ocorrem em maiores concentrações nas raízes, com quantidades moderadas a grandes na parte aérea. Cr, Pb, Hg e Sn ocorrem principalmente nas raízes, com quantidades muito pequenas na parte aérea (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

A toxicidade de uma planta por um elemento deve ser acompanhada e por isso medida pelas seguintes variáveis: diminuição no crescimento ou redução na colheita, sintomas visíveis e concentração no tecido (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

As plantas podem acumular metais pesados em seus tecidos devido à grande habilidade de se adaptarem às várias condições químicas do ambiente. Portanto, podem ser consideradas como um reservatório dos elementos metálicos presentes no solo e também de uma parte desses elementos presentes na água e no ar, chegando até os animais e o ser humano (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produtividade e componentes da produção de soja (*Glycine max L.*), com a aplicação de fertilizante formulado com diferentes fontes de Zn e a fitodisponibilidade de metais pesados tóxicos Cd, Pb, e Cr.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de diferentes doses do micronutriente Zn na produtividade e componentes de produção da soja;
- Avaliar o custo-benefício da utilização do Zn na cultura da soja;
- Verificar quais os fertilizantes comerciais que mais disponibilizam metais pesados tóxicos;
- Caracterizar se o aumento da dosagem das aplicações dos fertilizantes contendo os metais pesados tóxicos aumentou a concentração dos mesmos nas plantas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado no município de Palotina (Linha São Roque) no Estado do Paraná; Latitude 24° 18' 58" S, Longitude 53° 55' 18" W e Altitude de 310 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), possuindo textura argilosa (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise granulométrica do solo.

Textura	g kg ⁻¹
Areia	170
Sílte	180
Argila	650

O clima é tropical quente úmido, Cfa, com temperaturas médias anual de 21,3 °C, mínima de 16 °C e máxima de 28,6 °C. Na Tabela 2 encontram-se os dados climáticos observados na região nos meses em que foi conduzido o experimento.

Tabela 2 – Médias de precipitações pluviais (mm), temperaturas máxima (MAX) e mínima (MIN) e umidade relativa (UR) durante a realização do experimento, no período de novembro/2007 a fevereiro/2008.

Mês	Precipitação pluvial (mm)	Temperaturas		UR (%)
		MAX (°C)	MIN (°C)	
Novembro	163	30,9	20,8	71
Dezembro	168	35,8	18,1	77
Janeiro	190	30,3	19,7	72
Fevereiro	176	32,3	19,5	71

Fonte: Estação meteorológica do IAPAR – PALOTINA-PR.

O local de condução foi a campo, em área de lavoura comercial com sistema de plantio direto na palha (SPDP). A cultura anterior ao experimento era de Nabo Forrageiro Pivotante (*Raphanus sativus*) variedade IPR 116, que tinha o propósito de adubação verde e produção de sementes, a área foi dessecada em outubro de 2007 com o propósito de eliminação das plantas daninhas, aplicou-se o herbicida Roundup (*Glyphosate*) na dose de 3,00 L ha⁻¹. No momento da dessecação foi

constatado a presença das seguintes plantas daninhas: Picão-Preto (*Bidens pilosa*), Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*), Fedegoso (*Cássia occidentalis*) e Grama Seda (*Cynodon dactylon*).

A área escolhida apresenta uma topografia plana, sem curva de nível, com solo uniforme não pedregoso, sem presença de árvores ou sombra, com boa drenagem e no perímetro ao seu redor será conduzido a mesma cultura do experimento.

4.2 COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solos foram coletadas na área do experimento, em outubro de 2007, na profundidade de 0 a 20 cm em cinco pontos distintos, sendo as subamostras misturadas até obtenção de uma amostra composta. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, empregando a metodologia proposta pelo IAPAR (1992), conforme se observa nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Características químicas do solo no início do experimento.

pH	MO	P	K ⁺	Ca	Mg	Al	V	Al
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----%-----		
4,90	23,59	12,00	0,85	3,57	1,32	0,18	47,00	3,00

Tabela 4 – Valores médios dos metais pesados tóxicos no solo.

Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Pb	Cr
-----µg g ⁻¹ -----						
17,75	91,80	3,65	26,10	3,50	85,00	0,25

4.3 ANÁLISE QUÍMICA DOS FERTILIZANTES

Os fertilizantes químicos comerciais, utilizados no experimento, foram analisados no Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da UNIOESTE, para determinação dos metais pesados tóxicos (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios de metais pesados tóxicos nos fertilizantes.

Fertilizantes	Cd	Pb	Cr
	----- $\mu\text{g g}^{-1}$ -----		
Fonte Zn Marca A	5,67	25,00	26,00
Fonte Zn Marca B	5,33	20,00	32,67
Fonte Zn Marca C	5,33	23,33	28,00
Fonte Zn Marca D	5,33	23,33	23,33
Super Simples	5,33	23,00	15,67
Uréia	5,00	18,00	47,33
Cloreto de Potássio	5,67	24,67	24,00
Super Triplo	5,67	22,00	21,33

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi na forma de blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial [(5x2)+1] com três repetições.

As parcelas (Figura 1) foram constituídas de cinco linhas de soja com 4 m de comprimento, espaçamento entre-linhas de 45 cm, com um espaço de 90 cm de distância entre cada parcela. Utilizou-se como parcela útil as três linhas centrais da parcela, desprezando-se ainda como bordadura 1 m da extremidade de cada linha, restando uma área útil de 2,7 m² (ANDREOTTI et al., 2005).

Cada bloco foi separado por um corredor de 1 m de largura e o sorteio das parcelas foi realizado pelo método dos números randômicos.

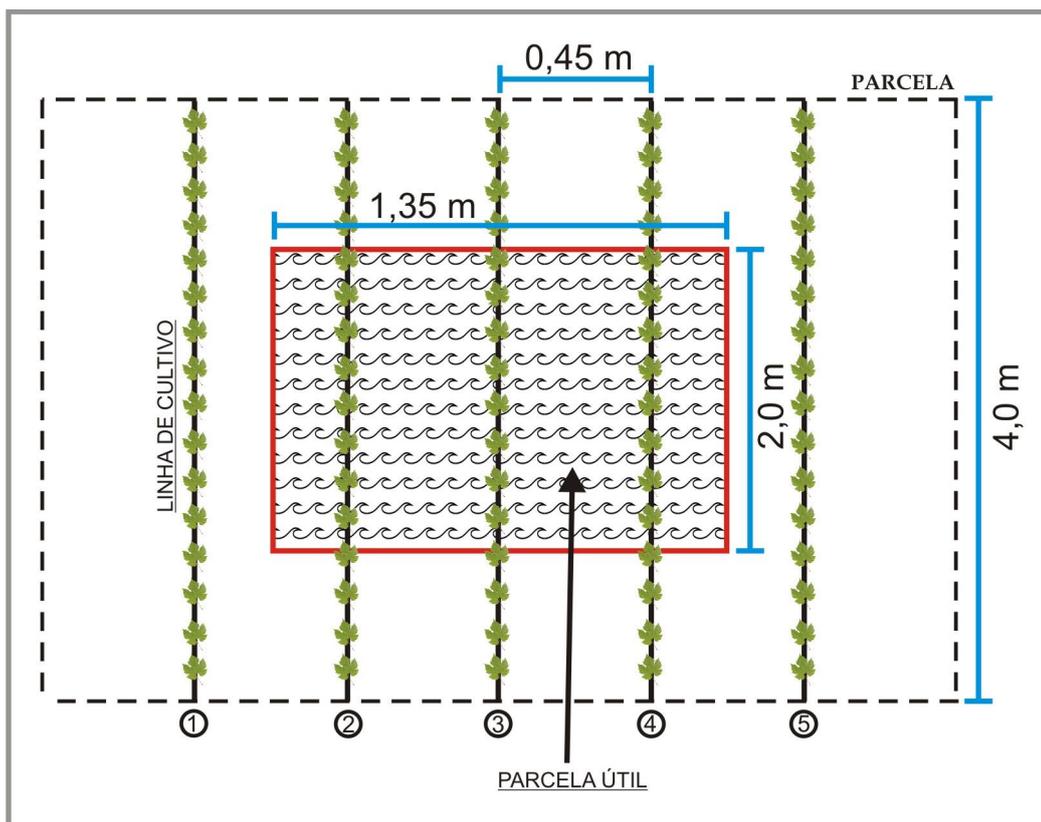


Figura 1. Ilustração do delineamento experimental e distribuição das parcelas

Fonte: O autor

4.5 TRATAMENTOS

Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial $[(5 \times 2) + 1]$, constituídos de cinco fontes de fertilizantes, duas doses e uma testemunha.

O fertilizante possui a fórmula de NPK (2-20-18) com 0,3% de Zn na forma de grânulos, aplicados na base. Foram utilizadas cinco fontes de fertilizante comerciais de marcas diferentes.

O NPK formulado sem Zn é composto por cloreto de potássio, super simples, super triplo e uréia.

Foram consideradas para a cultura da soja as seguintes doses: uma vez a recomendação de adubação (NPK+Zn) que, segundo EMBRAPA (2006), é de 300 kg do formulado por ha, seguindo a análise química do solo para fins de fertilidade (Tabela 3 e 4), e o dobro da recomendação de adubação. A testemunha se caracteriza por não conter fertilizante de base.

Todos os tratamentos são classificados da seguinte maneira:

- ✓ NPK fórmula 02-20-18 com 0,3% de Zn da marca A;
- ✓ NPK fórmula 02-20-18 com 0,3% de Zn da marca B;
- ✓ NPK fórmula 02-20-18 com 0,3% de Zn da marca C;
- ✓ NPK fórmula 02-20-18 com 0,3% de Zn da marca D;
- ✓ NPK fórmula 02-20-18 sem Zn;
- ✓ Testemunha.

4.6 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A instalação do experimento foi realizada em novembro de 2007, sendo a área designada para o experimento balizada de acordo com as medidas necessárias e em seguida realizou-se a abertura de sulcos no solo com o uso de discos de corte de uma semeadora com a profundidade de 4 cm para a distribuição do fertilizante.

No campo, as parcelas foram separadas por estacas e por corredores de 1 m de comprimento entre os blocos. Cada parcela recebeu o fertilizante indicado no croqui utilizando um copo dosador para medir a quantidade exata a ser aplicada no solo e em seguida foi realizada a cobertura desse fertilizante com solo.

A cultivar de soja utilizada no experimento foi a NK-412113, comercializada pela empresa Syngenta e apresenta ciclo superprecoce com duração de aproximadamente 125 dias e crescimento indeterminado.

Após a adubação foi realizada a semeadura da soja. As sementes foram tratadas com o fungicida Protreat (*Carbendazim*) na dosagem de 2 mL kg⁻¹ de semente, o inseticida Standak (*Fipronil*) dose de 2 mL kg⁻¹ de semente e posteriormente o inoculante turfoso Rhizofix (*Bradyrhizobium elkanii* – *Semia 587 e 5019*) na dose de 2 g para cada 100 kg de semente (EMBRAPA, 2006).

A semeadura foi realizada manualmente, depositando cerca de 25 sementes por metro linear a 1,5 cm de profundidade. Após semeadura as mesmas foram cobertas com o solo utilizando ferramenta manual. As sementes apresentaram germinação de 80%.

Todo o processo de condução da lavoura experimental foi o mais próximo possível das condições utilizadas em uma lavoura comercial, ou seja, com o uso de

semente fiscalizada, tratada e inoculada, controle químico de plantas daninhas, pragas e doenças.

Para controle das plantas daninhas foi aplicado herbicida latifolida de marca comercial Classic (*Clorimurrom-etílico*) na dose de 50 g ha⁻¹ e o graminicida de marca comercial Poast (*Setoxidim*) na dose de 1,25 L ha⁻¹. Para controle de insetos foi aplicado o inseticida de marca comercial Tamaron (*Metamidofós*) na dose de 0,750 L ha⁻¹ e Vexter (*Clorpirifós*) na dose de 0,750 L ha⁻¹. Para controle de doenças foi aplicado o fungicida Opera (*Epoxiconazol + Piraclostrobina*) na dose de 0,500 L ha⁻¹ de forma preventiva.

4.7 COLETA E ANÁLISE DE TECIDO VEGETAL

Em dezembro de 2007 realizou-se a coleta de amostras de folhas de soja do experimento, 53 dias após a emergência (DAE) no estágio fenológico R2 (Floração plena com maioria dos racemos com flores abertas). Em cada parcela útil foram coletadas 20 folhas do terço média da planta, sendo o trifólio mais o pecíolo (EMBRAPA, 2006). As folhas foram cuidadosamente armazenadas e identificadas em sacos de papel perfurados e levadas a uma estufa de circulação forçada de ar para secagem, a uma temperatura de 65 °C durante 48 h. Após esse período as mesmas foram moídas em um micro-moinho e acondicionadas em sacos de polietileno limpos. Em seguida, todas as amostras foram armazenadas em uma caixa térmica até o momento das análises.

Para determinação dos metais pesados tóxicos (Cd, Pb e Cr) e os nutrientes (K, Ca, Mg e Zn) na estrutura vegetal da soja, foi utilizado o método de digestão nitro-perclórica (AOAC, 1990) e a determinação realizada através de espectrometria de absorção atômica (EAA), modalidade chama (WELZ, 1985). O P foi determinado por meio de digestão sulfúrica (IAPAR, 1992) e uso da técnica de espectroscopia de ultra-violeta/visível (UV-VIS). As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon.

4.8 COLHEITA DA SOJA NA ÁREA EXPERIMENTAL

A colheita ocorreu em março de 2008 após 125 DAE. Foi realizada de forma manual recolhendo-se todas as plantas na parcela útil (2,7 m²) e foram avaliados os seguintes componentes de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e massa de 100 grãos (13% de umidade). Também avaliou-se a produtividade da soja cultivada nestas condições experimentais.

Os componentes foram determinados a partir da coleta aleatória de 10 plantas de cada parcela útil do experimento. O número de vagens por planta foi determinado por meio da coleta de todas as vagens das plantas de cada tratamento e sua contagem e o total foi dividido pelo número de plantas. O número de grãos por vagem foi determinado debulhando as vagens e contando os grãos, posteriormente dividindo-se o número de grãos pelo número de vagens encontrados nas plantas. O número de grãos por planta foi determinado sendo os grãos retirados de todas as vagens e dividindo pelo número de plantas. A massa de 100 grãos, foi obtida após debulha, contagem e pesagem em balança analítica.

A avaliação da produtividade, em cada parcela útil (2,7 m²), foi realizada por meio da pesagem em balança analítica dos grãos produzidos e posteriormente estimou-se a produtividade em kg ha⁻¹.

4.9 ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SOLO PÓS-COLHEITA

Após a colheita do experimento, dentro de cada parcela útil, em cada uma das três linhas centrais de semeadura, foi coletado uma sub-amostra de solo com trado calador. As sub-amostras formaram uma amostra composta que foi analisada em laboratório.

Foram realizadas as análises químicas do solo coletado, para a determinação dos metais pesados tóxicos (Cd, Pb e Cr) a metodologia utilizada foi da digestão nitro-perclórica (AOAC, 1990), e as determinações por espectrometria de absorção atômica (EAA), modalidade chama (WELZ, 1985). As análises do solo para fins de fertilidade foram realizadas segundo metodologia oficial do Paraná

(IAPAR, 1992). As análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, campus de Marechal Cândido Rondon.

4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TRATAMENTO DOS DADOS

Todos os dados obtidos experimentalmente foram submetidos a análise de variância (ANAVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O programa estatístico utilizado foi o SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TECIDO VEGETAL

Na Tabela 6 são apresentados os quadrados médios da análise de variância para o tecido vegetal da soja.

Tabela 6 – Análise de variância para os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr no tecido foliar da soja.

FONTES	GL	Quadrados Médios							
		P	K	Ca	Mg	Zn	Cd	Pb	Cr
		g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
Bloco	2	0,12**	5,05**	41,78**	0,57**	29,25**	0,03**	498,7**	3,11**
Dose	1	0,09**	5,44**	59,29*	0,16**	75,11*	0,03**	2584,0*	30,25*
Fertilizante	5	0,02**	1,57**	13,91**	0,07**	10,13**	0,01**	41,01**	2,46**
DoseXFertil.	5	0,02**	1,91**	14,31**	0,19**	5,18**	0,01**	12,68**	1,02**
Resíduo	22	0,03	2,09	12,76	0,40	7,86	0,01	91,32	2,63
CV (%)		11,18	3,82	26,95	12,44	7,34	16,79	37,44	48,28

* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F (Fisher).

** - não significativo pelo teste de F.

A análise demonstrou efeito significativo (Tabela 6) na fonte de variação dose, para os elementos Ca, Zn, Pb e Cr. Já para a fonte de variação fertilizante, não houve efeito significativo para os elementos. Mesmo caso para a interação entre dose versus fertilizante, onde não obteve-se resultado significativo ($P < 0,05$). Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves Jr. et al., (2008), para os teores foliares dos nutrientes P e Zn quando foram aplicadas diferentes doses de NPK + Zn na cultura do milho em seu trabalho em solo argiloso.

Avalia-se que para todas as fontes de variação do fertilizante, não houve diferença significativa para as variáveis avaliadas no tecido foliar.

Na Tabela 7, encontra-se a avaliação das médias do tratamento dose para os teores de macro e micronutrientes. Para os teores de Ca, Zn, Pb e Cr; quando se utilizou a dose recomendada de adubação, as médias obtidas foram superiores significativamente quando comparadas ao dobro da dose. Assim, o aumento da dose não contribuiu para o aumento das médias dos teores foliares, quando houve a aplicação do dobro da dose recomendada, sendo que os teores diminuíram consideravelmente.

Tabela 7 – Valores médios dos teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr no tecido foliar da soja em função da dose de fertilizante.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	Zn	Cd	Pb	Cr
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
D1	1,56a	37,45a	14,53a	4,97a	39,61a	0,70a	34,00a	4,27a
D2	1,46a	38,23a	11,97b	5,10a	36,72b	0,76a	17,05b	2,44b

D1 – dose recomendada.

D2 – dobro da dose recomendada.

a – médias maiores.

b – médias menores.

Para o teor de K na folha, não foi obtido resultado significativo entre as dosagens aplicadas, assim como observaram Paiva et al. (2002), avaliando várias doses de Pb via substrato em mudas de cedro, constatou que o Pb não proporcionou nenhum efeito significativo nos teores foliares de K e para o teor de Zn, houve redução significativa da média.

Para o Ca, houve redução em seu teor nas folhas, quando utilizou-se a D2, resultado semelhante encontrado por Huang & Cunningham (1996), em seu trabalho com diferentes doses de Pb na cultura do milho, A redução no teor de Ca foliar na medida em que elevou-se as doses de Pb, se deve, de acordo com Marschner (1995), ao fato de que cátions divalentes como Pb^{2+} competem com outros cátions, como o Ca^{2+} .

O teor de Mg (Tabela 7) nas folhas não diferiu estatisticamente, este resultado se assemelha ao encontrado por Paiva et al. (2002), em que os teores foliares, não tiveram resultados significativos pela aplicação de doses crescentes de Pb. No caso do Mg, o mesmo comportamento observado em plantas de *Eucalyptus sp* por Soares (1999). Ao passo que em plantas de *Zea mays*, Huang e Cunningham (1996), verificaram redução no teor de Mg na parte aérea das plantas.

No caso do Zn, as exigências das raízes são atendidas primeiro e depois ocorre um significativo transporte para a parte aérea (OLSEN, 1972). Essa hipótese, aliada a uma possível insolubilização do Zn pelo fosfato na superfície das raízes, o que ocasiona a redução da absorção, ou inibição não competitiva da absorção de Zn pelo P (MALAVOLTA et al., 1997) poderiam explicar os baixos teores de Zn nas folhas (Tabela 7), ocasionando deficiência temporária de Zn, sem contudo afetar a produtividade da soja (Tabela 9).

Segundo Baker & Chesnin (1975), nas plantas teores acima de $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd já são considerados tóxicos e prejudiciais. Os valores de Cd encontrados na

Tabela 7 mostram valores acima de $0,70 \text{ mg kg}^{-1}$, indicando que esse metal pesado encontra-se em nível tóxico para as plantas.

Chlopeck (1994), afirma que a absorção de metais pelas plantas não é somente influenciada pela concentração, forma e propriedades físico-químicas do solo, mas também pela espécie, nutrição, estágio de crescimento, sensibilidade da planta ao metal absorvido, pH, temperatura e aeração.

Observa-se no Quadro 2, as faixas normal e crítica para os metais pesados tóxicos para as plantas no tecido foliar. Variam de acordo com o elemento.

Quadro 2 – Concentrações normais e críticas para alguns metais pesados em tecido foliar.

Elemento	Faixa Normal	Faixa Crítica
	----- mg kg^{-1} -----	
Cádmio	0,1-2,4	5-30
Chumbo	0,2-20	30-300
Cromo	0,03-14	5-30

Fonte: Kabata-Pendias & Pendias (1992).

Em comparação à Tabela 7, verifica-se que para a D1, somente os elementos Cd e Cr encontra-se na faixa normal, já o Pb encontra-se na faixa crítica. Para a D2 os elementos Cd, Pb e Cr estão na faixa normal.

Ainda que existam muitas incertezas sobre a especificidade dos mecanismos de absorção dos metais pesados, sobretudo daqueles não essenciais, geralmente o teor e o acúmulo do elemento, nos tecidos da planta, ocorre em função da sua disponibilidade na solução do solo, e os teores nas raízes e na parte aérea aumentam com a elevação da concentração de elementos na solução do solo (GUSSARSSON et al., 1995).

5.2 COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

Na Tabela 8 são apresentados os quadrados médios da análise de variância para os componentes de produção e da produtividade da soja.

Tabela 8 – Análise de variância para os componentes da produção e da produtividade da soja.

FONTES	Quadrados Médios					
	GL	V-PLT	G-VAG	G-PLT	M-100	PRO
Bloco	2	95,73**	0,002**	530,00**	2,48**	816.294**
Dose	1	125,81*	0,035*	829,44*	20,77*	4.157.721*
Fertilizante	5	15,197**	0,001**	72,80**	8,62*	1.259.481*
DoseXFertilizante	5	2,12**	0,004**	18,07**	2,15**	131.053**
Resíduo	22	13,52	0,001	76,84	1,23	161.316
CV (%)		12,50	1,95	13,53	7,24	15,00

* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F (Fisher).

** - não significativo pelo teste de F.

V-PLT – número de vagens por planta; G-VAG – número de grãos por vagens; G-PLT – número de grãos por plantas; M-100 – massa de 100 grãos (g); PRO – produtividade por hectare (kg ha⁻¹).

Verificou-se efeito significativo para a fonte de variação dose, para os componentes V-PLT, G-VAG, G-PLT, M-100 e PRO. Já para a fonte de variação fertilizante, só houve efeito significativo para os fatores M-100 e PRO, não ocorrendo interação significativa ($P > 0,05$) entre dose versus fertilizante para os componentes da produção e da produtividade da soja.

Na Tabela 9, encontra-se a avaliação das médias dos tratamentos doses para os componentes da produção e da produtividade. Em todos os casos, a aplicação do dobro da dose apresentou aumento significativo para os componentes de produção e produtividade em relação a dose recomendada.

Tabela 9 – Valores médios dos componentes da produção e da produtividade da soja, em função da dose de fertilizante.

Tratamento	V-PLT	G-VAG	G-PLT	M-100	PRO
D1	27,56b	2,15b	59,97b	14,60b	2337,21b
D2	31,30a	2,22a	69,57a	16,12a	3016,85a

D1 – dose recomendada.

D2 – dobro da dose recomendada.

a – médias maiores.

b – médias menores.

Considerou-se os valores de compra do fertilizante usado no experimento, para a safra 2007/2008, o preço médio da aquisição do insumo em R\$ 42,80 a saca de 50 kg e o valor de venda da soja grão no mês de maio 2008 de R\$ 41,00 a saca de 60 kg, sendo o mês no qual normalmente o produtor realiza a comercialização da sua produção.

A análise econômica do cultivo da soja no ano do experimento evidenciou que a produtividade de grãos de 3.016,85 kg ha⁻¹ (Tabela 9), obtida com a aplicação do dobro da dose de adubação recomendada, representou um acréscimo em torno de 29% na produtividade de grãos ou 679,64 kg ha⁻¹ de acréscimo em relação à recomendação de adubação adequada, o que significou um aumento em R\$ 464,42 por ha.

A análise econômica do fertilizante evidencia que o uso do dobro da dose resultou em um acréscimo no custo do insumo de R\$ 256,80 por ha. A variação na receita obtida com a aplicação do dobro da dose ficou positiva em R\$ 207,62 por ha, mas esses resultados dependem muito da obtenção de boas e altas produtividades, em torno de 2.975 Kg ha⁻¹, bem como preços compensatórios à venda dos grãos, que no último ano apresentou médias altas em torno de R\$: 40,00 a saca de 60 Kg.

Contudo, a interpretação deve ser cuidadosa porque ocorreu no início deste ano de 2008 um grande aumento nos preços dos fertilizantes, elevando o preço médio do formulado de R\$ 42,80 para R\$ 80,00 a saca de 50 kg. Com isso a análise econômica muda, pois com esses preços o ávit de produção de R\$ 464,42 por ha, fica limitado ao aumento do custo do fertilizante para o dobro da dose de R\$ 480,00. Desse modo, a aplicação do dobro da dose não confere vantagem econômica e sim prejuízo da rentabilidade final de R\$ 15,58 por ha.

Na Tabela 10 são apresentadas as médias do fator fertilizante para os componentes da produção e da produtividade da soja. Para o componente M-100, os fertilizantes A, B, C, D e SZn são estatisticamente semelhantes pelo teste Tukey a 5% e somente a testemunha foi inferior aos demais, pelo fato de não receber nenhum tipo de fertilizante.

A mesma situação é observada para o componente PRO, no qual os fertilizantes A, B, C, D e SZn são estatisticamente semelhantes pelo teste Tukey a 5% e a testemunha também foi inferior aos demais. Novamente constata-se que a falta de aplicação de fertilizante resultou em uma menor produtividade média comparada aos demais fertilizantes aplicados.

Tabela 10 – Valores médios dos componentes da produção e da produtividade da soja, em função das diferentes fontes de fertilizantes.

Tratamento	V-PLT	G-VAG	G-PLT	M-100	PROD
Fertil.A	26,70a	2,20a	58,85a	15,47a	2.758,29a
Fertil.B	28,71a	2,16a	63,88a	15,72a	2.768,33a
Fertil.C	31,06a	2,20a	68,66a	15,86a	2.859,87a
Fertil.D	30,76a	2,18a	67,51a	16,10a	3.000,99a
SZn	29,91a	2,19a	65,86a	16,04a	2.914,17a
TES	29,41a	2,18a	63,81a	12,95b	1.760,51b

Fertil.A – fertilizante da marca comercial A; Fertil.B – fertilizante da marca comercial B; Fertil.C – fertilizante da marca comercial C; Fertil.D – fertilizante da marca comercial D; SZn – fertilizante sem Zn; TES – testemunha.

Na Tabela 10, observa-se que não houve diferença estatística entre os fertilizantes A, B, C, D e SZn, com relação aos componentes de produção e produtividade, uma vez que os mesmos apresentam a mesma formulação N, P, K. Somente a testemunha apresentou médias significativamente menores devido à ausência de fertilizante.

A adubação com NPK apresentou resposta positiva, aumentando os componentes M-100 e PROD. A dosagem recomendada de adubação não foi adequada, havendo diferença significativa com o uso do dobro da recomendação.

Além disso, a diferença de produtividade média entre o fertilizante sem Zn e o com Zn foi apenas de 2% (Tabela 10). Economicamente não seria viável o uso do fertilizante contendo Zn nas condições em que o experimento foi conduzido, uma vez que o solo apresenta um nível adequado deste elemento. No entanto, deve-se levar em consideração que a aplicação de Zn via fertilizante, proporcionou um incremento desse micronutriente no solo (Tabela 12), o que ocasionou uma reserva no solo para as futuras culturas que serão implantadas nessa área.

5.3 SOLO

Na Tabela 11, são apresentados os quadrados médios da análise de variância para os teores de macro e micronutrientes encontrados no solo após a colheita do experimento.

Tabela 11 – Análise de variância para os teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Pb, Cd e Cr, no solo.

FONTES	GL	Quadrados Médios							
		P mg dm ⁻³	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Ca	Mg	Zn*** mg dm ⁻³	Pb	Cd -----mg kg ⁻¹ -----	Cr
Bloco	2	620,50**	0,10**	0,19**	0,11**	0,18**	14,25**	0,19**	454,52**
Dose	1	6824,68*	2,19*	0,19**	0,41*	67,7*	354,70*	2,25*	2970,2*
Fertil.	5	530,33**	0,05**	0,16**	0,02**	8,43*	19,99**	0,16**	151,42**
DoseXFertil.	5	574,42**	0,04**	0,06**	0,09**	6,68*	22,70**	0,12**	284,18**
Resíduo	22	283,32	0,07	0,15	0,05	1,26	42,29	0,22	191,28
CV (%)		48,22	23,61	14,28	18,80	21,47	26,81	8,58	62,32

* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F (Fisher).

** - não significativo pelo teste de F.

*** - houve interação significativa entre dose e fertilizante que está desdobrado na tabela 13.

A análise demonstrou efeito significativo na fonte de variação dose para os elementos P, K, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr. Já para a fonte de variação fertilizante, só ocorreu efeito significativo na análise de variância para o elemento Zn, que também teve efeito na interação entre dose versus fertilizante, que será desdobrado na Tabela 13.

As médias dos teores de macro e micronutrientes para a fonte de variação dose estão apresentadas na Tabela 12, onde pode-se observar que aplicando a dose recomendada, os teores de Mg, Pb e Cd apresentaram suas médias superiores em comparação ao dobro da dose recomendada. Já quando utilizou-se o dobro da dose, os teores de P, K e Cr, tiveram médias superiores em relação ao uso da dose recomendada de adubação para esta cultura.

Tabela 12 – Valores médios dos teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Cd, Pb e Cr, no solo, em função da dose de fertilizante.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	Zn	Cd	Pb	Cr
D1	21,13b	0,87b	2,64a	1,31a	3,85b	5,77a	27,39a	13,11b
D2	48,67a	1,37a	2,79a	1,10b	6,60a	5,27b	21,11b	31,27a

D1 – dose recomendada.

D2 – dobro da dose recomendada.

a – médias maiores.

b – médias menores.

Na Tabela 12, observa-se que o D2 proporcionou aumento significativo do elemento P, já para os elementos Cd e Pb ocorreu uma diminuição significativa. Gonzalez et al. (1992), encontraram resultados semelhantes, avaliando metais pesados de lodo de esgoto em diferentes tipos de solos onde verificaram-se uma redução da disponibilidade de Cd na presença de argila rica em fosfato. Trabalhando com cinzas que continham altos teores de metais pesados provenientes de resíduos urbanos, Crannell et al. (2000), verificaram, após aplicação de fosfato, redução da fração de Cd, Cu e Pb. Segundo Cotter-Howells & Carporn (1996), o uso de fosfatos em solos contaminados com Pb pode reduzir a disponibilidade deste elemento, graças à formação de fosfato de Pb.

A utilização do dobro da dose recomendada causou o aumento da concentração do metal pesado Cr no solo (Tabela 12), o que pode causar toxicidade para a planta. Resultado semelhante foi encontrado por Castilhos et al. (2001), em sua pesquisa avaliando a cultura da soja aos 42 DAE, e utilizando várias doses de fertilizantes. Constatou-se que aumentando a dose de fertilizante com Cr, acarretou a diminuição no número de nódulos nas raízes, indicando o efeito tóxico deste metal sobre os microrganismos, principalmente as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* responsáveis pela fixação do N.

A Comunidade Européia (CE), por meio do *European Council Directive* estabeleceu os limites máximos a serem atingidos no solo (Quadro 3).

Quadro 3 - Teores máximos a serem atingidos no solo.

Elemento	Máximo no solo mg kg ⁻¹
Cádmio	1-3
Chumbo	50-300
Cromo	100-150

Fonte: SANTOS, 2007.

De acordo com que se observa no Quadro 3, as concentrações encontradas no solo (Tabela 12), para ambas as doses utilizadas, apenas o Cd está acima do padrão estabelecido. Os teores de Cd encontrados no solo indicam contaminação ambiental na área experimental.

A utilização do P na redução da mobilidade de metais em áreas já contaminadas é amplamente relatada na literatura, tendo o P a capacidade de amenizar os efeitos tóxicos de Cu, Pb e Cd, tanto por aumentar a adsorção, quanto por possibilitar a formação de compostos insolúveis (PIERANGELI et al., 2004).

Tabela 13 – Desdobramento da interação fontes versus dose de aplicação de fertilizantes sobre a análise de solo para o elemento Zn.

FERT. / DOSE	D1	D2
Fert.A	3,7 Ab	6,40 Ba
Fert.B	4,0 Ab	10,70 Aa
Fert.C	3,5 Ab	6,56 Ba
Fert.D	5,1 Aa	5,80 Ba
Fert. SZn	2,8 Ab	5,10 Ba
Testemunha	3,8 Aa	5,00 Ba

Letras iguais minúsculas na horizontal e maiúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra maiúscula referente a fertilizantes para cada dose e letra minúscula referente as doses para cada fertilizante.

Em se tratando da aplicação da dose recomendada (D1), observou-se que não houve diferença significativa entre os fertilizantes, ou seja, todos apresentaram o mesmo comportamento em relação à avaliação das médias. Já para a aplicação do dobro da dose de adubação (D2), observou-se que o fertilizante B teve a melhor média em relação aos demais (Tabela 13).

Na interação dose versus fertilizante em relação à dose recomendada de adubação (D1) e o dobro (D2), para o elemento Zn, verificou-se no desdobramento (Tabela 13), que os fertilizantes A, B, C, e SZn apresentaram comportamento semelhante em relação aos fertilizantes, apresentando médias maiores quando os tratamentos receberam o dobro da dose recomendada, diferente do fertilizante D e testemunha que não apresentaram diferenças significativas em relação a aplicação da dose recomendada e o dobro.

A absorção pelas plantas, em um solo com diversos metais pesados, pode ser diferente da verificada com elementos isolados, em razão das diversas interações entres eles, que podem ser independentes, antagonistas ou sinérgicas e as respostas das espécies ao excesso de metais pesados deve ser diferenciada, em consequência da especiação desses elementos no solo (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

6 CONCLUSÃO

Pelas condições de campo, em que foi realizado o referido experimento e com base nos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

✓ A aplicação de fertilizantes com micronutrientes infelizmente mostrou uma efetiva disponibilização de Cd, Pb e Cr para as plantas de soja e no solo utilizado, em ambas condições de adubação utilizada (adubação recomendada e o dobro);

✓ A aplicação do dobro da adubação recomendada proporcionou elevação da média dos componentes da produção e produtividade da soja, bem como os teores de P, K, Zn e Cr no solo;

✓ A aplicação da dose de adubação recomendada proporcionou elevação da média, em relação à utilização do dobro da recomendação de adubação, para os teores foliares de Ca, Zn, Pb, Cr e os teores de Mg, Cd e Pb no solo;

✓ A análise econômica deste trabalho não demonstrou viabilidade ao uso do fertilizante contendo Zn e também foi desfavorável economicamente ao uso do dobro da recomendação de adubação para as condições experimentais utilizadas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA BRASIL. **Próxima safra de soja deve superar a deste ano.** Disponível em: <www.agenciabrasil.gov.br>. Acesso em 20 dez. 2006.

ALCARDE, J. C. & VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.27 n.2. Viçosa. Mar/Apr. 2003.

ALCARDE, J. C. & RODELLA, A. A. Caracterização de fertilizantes simples contendo zinco. **Sci. Agric.**, v. 50, p. 121-126, 1993.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils.** 2nd ed. New York. Blackie Academic & Professional, p. 368. 1995.

ANDREOTTI, M.; NAVA, I.A.; GUIMARAES, V.F.; WIMMER N.L.; FURLANI J.E. Fontes de nitrogênio e modos de adubação em cobertura sobre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na safra das águas. **Acta Scientiarum** (UEM), v. 27, n. 4, p. 595-602. 2005.

AOAC. **Official methods of analysis.** 15 ed. Washington: AOAC. Volume 1; 1 sed, p 1117. 1990.

BAKER, D. E. & CHESNIN, L. **Chemical monitoring of soils for environmental quality and animal and human health.** Adv. Agron. New York, p. 27. 1975.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. **Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados.** Suelos y Planta, v. 2, p. 345-361. 1992.

BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis.** Plant Soil, v. 66, p. 229-316. 1982.

CAMPOS, M. J. Á. **Metais Pesados e Seus Efeitos.** Disponível em <www.mundodoquimico.hpg.com.br>. Acesso em 15 jul. 2008.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE; V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de Cromo e seus Efeitos na Fixação Biológica de Nitrogênio e Absorção de Nutrientes em Soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 121-124. 2001.

CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; WARNEKE, J. E.; GRGUREVIC, E. Sequential extraction on soil heavy metals following a sludge application. **Journal of Environmental Quality**, v. 13, p. 33-38. 1987.

CHLOPECK, A. A. **Forms of Cd, Cu, Pb, and Zn in soil and their uptake by cereal crops when applied jointly as carbonates.** Water, Air, Soil Pollut., vol. 87, p. 297-309. 1994.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Histórico de produção da soja**. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em 12 set. 2008.

COTTER-HOWELLS, J. & CAPORN, S. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates. **Appl. Geochem**, v. 11. p. 335-342. 1996.

CRANNELL, S. B.; EIGHMY, T. T.; KRAZANOWSKI, J. E.; EUSDEN Jr., D. J.; SHAW, E. L. & FRANCIS, C. A. **Heavy metal stabilization in municipal solid waste combustion bottom ash using soluble phosphate**. Waste Manag, v. 20, p. 135-148. 2000.

DUDKA, S. & MILLER, W. P. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. **J. Environ. Sci. Health**, v. 34, p. 681-708. 1999.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informações, Rio de Janeiro. 412 p. 1999.

EMPRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná – 2004**. Londrina (ISSN 1677-8499). 2003.

EMPRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná – 2007**. Londrina (ISSN 1677-8499). 2006.

FERREIRA, D. F. **SISVAR – Sistemas de análises estatísticas**. Lavras, UFLA. 2003.

GONÇALVES Jr., A. C.; LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em latossolo vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 173-177. 2000.

GONÇALVES Jr.; NACKE, H.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; SELZLEIN, C. Produtividade e componentes de produção do milho adubado com Cu e NPK em um argilossolo. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 35-40. 2008.

GONÇALVES, Affonso Celso Jr. & PESSOA, Antônio Carlos dos Santos. Fitodisponibilidade de Cádmio, Chumbo e Crômio, em soja cultivada em argilossolo vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, p. 19-23. 2002.

GONZALEZ, R. X.; SERTAIN, J. B. & MILLER, W. L. Cadmium availability and extractability from sewage sludge as effected by waste phosphatic clay. **J. Environ. Quality**, v. 21, p. 272-275. 1992.

GRANOPAR, Corretora de Mercadorias. **Notícias - Produção Mundial de Soja**. Disponível em <www.granopar.com.br> Acesso em 20 jul. 2008.

GUILHERME, L. R. G. Poluição do Solo e qualidade ambiental. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, n. 27, Brasília. CD-ROM. SBCS. 1999.

GUSSARSSON, M.; ADALSTEINSSON, P. J.; JENSÉN, P.; ASP, H. **Cadmium and copper interactions on the accumulation and distribution of Cd and Cu in birch (*Betula pendula* Roth) seedlings**. Plant and Soil, v. 171, p. 185-187. 1995.

HUANG, J. W.; CUNNINGHAM, S. D. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. **The new phytologist**, v. 134, n. 1, p. 75-84. 1996.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, 40 p. 1992.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Flórida. CRC Press, 365 p. 1992.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes**. Aspectos agronômicos. Boletim Técnico Potafos, n. 4, p. 51, São Paulo. 1990.

LOPES, A. S. Micronutrientes – **Filosofias de aplicação e eficiência agronômica**. ANDA - Associação Nacional para difusão de Adubos, n. 11, São Paulo. 1999.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Produquímica Indústria e Comércio Ltda, 153 p. São Paulo. 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 319 p. 1997.

MARCHI, G.; GUIMARÃES, R.; GUILHERME, L. **Os Metais Pesados no Solo - Elemento Traço**. Disponível em <www.anda.org.br> Acesso em 20 Jan. 2007.

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

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. **Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies**. Virginia Polytechnic Institute and State University. Soil Sci. Am. J., n. 4, p. 549-592. 1991.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 563-574. 2003.

McCOLLUM, J. A.; MELINE, R. S.; DURHAM, B. U. **Adding nutrients to fertilizers**. **Chemistry Engineering Programm**, v.62, p.130-132. 1966.

MELLO, F. O. T.; PAULILO L. F.; VIAN, C. E. F. O Biodiesel no Brasil: panorama, perspectiva e desafios. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 1. São Paulo. 2007.

MELO, Gabriel Mauricio de; MELO, Valeria de; MELO, Wanderlei. **Metais Pesados no Ambiente Decorrente da Aplicação de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola**. Disponível em <www.ambientenet.eng.br> Acesso em 16 Fev. 2007.

MONTEIRO, M. F. **Lixo Tóxico Vira Matéria Prima**. Disponível em <www.reporterbrasil.com.br> Acesso em 15 Set. 2005.

MOREIRA, S. G. **Micronutrientes na agricultura**. Artigos Técnicos Publicado em 10/06/2003 por Silvino Guimarães Moreira, Engenheiro Agrônomo, Equipe ReHAgro. Disponível em <www.rehagro.com.br> Acesso em 10 Abr. 2007.

MORTVEDT, J. J. **Micronutrients fertilizer technology and use in the United States. Seminar on Micronutrients in Agriculture**. New Dehli, INDIA, 1979.

MÜELLER, C. C. **Expansion and modernization of agriculture in the cerrado - the case of soybeans in Brazil's Center-West**. Brasília, Department of Economics, University of Brasília. 2002.

OLIC, N. B. **Os caminhos percorridos pela soja no Brasil**. Revista Pangea – Quinzenário de Política, Economia e Cultura. Disponível em <www.clubemundo.com.br> Acesso em 10 Jan. 2007.

OLIVEIRA, I. P. et al. **Concentrações Residuais de Cobre, Ferro, Manganês e Zinco em Latossolo Roxo Eutrófico sob Diferentes Tipos de Manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical**, n. 31, p. 97-103, Goiânia. 2001.

OLSEN, S. R. **Micronutrients Interactions**. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p. 243-264. 1972.

PAIVA, H. N. et al. **Influência da aplicação de doses crescentes de chumbo sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.)**. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 40-48. 2002.

PIERANGELI, et al. **Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de latossolos pré-tratadas com fósforo**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 377-384. 2004.

PONCHIO, C. O.; BALLIO, L. A. C. **Fontes de enxofre e micronutrientes para a agricultura Brasileira**. In: BORKERT, CM.; LANTMANN, A.F. Enxofre e micronutrientes na agricultura Brasileira. EMBRAPA/IAPAR/SBCS. Cap. II, p. 309. 1988.

RIBAS, N. P. **30% dos fertilizantes estão fora de padrão**. Jornal O Paraná. Ano 31 – Nº 9.255, p. 10. Cascavel, Fev. 2007.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 265 p. 2007.

SHARMA, Pallavi; DUBEY R. Shanker. Lead toxicity in plants. **Braz. J. Plant Physiol**, v. 17, n. 1, Londrina. 2005.

SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. 132 p. (Tese – Mestrado). Universidade Federal de Lavras. 1999.

TSUTIYA, M. T. – Uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos sanitários. **Revista Saneas**, n. 09, set. 1998.

VALE, F. & ALCARDE, J. C. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 441-451. 1999.

VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 91p (Tese de Doutorado) São Paulo. 2001.

WELZ, B. **Atomic Absorption Spectrometry**; VCH; Weinheim, p.253. 1985.

YOUNG, R. **Providing micronutrients in bulk-blend, granular fertilizers**. Commercial Fertilizers, Atlanta, v. 118, n. 1, p. 21-24. 1969.