

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO E DOUTORADO

HERBERT NACKE

**PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO FERTILIZADO
COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE Zn E DISPONIBILIDADE DOS METAIS
PESADOS TÓXICOS Cd, Pb E Cr**

Marechal Cândido Rondon

2011

HERBERT NACKE

**PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO FERTILIZADO
COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE Zn E DISPONIBILIDADE DOS METAIS
PESADOS TÓXICOS Cd, Pb E Cr**

Dissertação apresentada a Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Jr.
Pós-Doutor em Ciências Ambientais.

Marechal Cândido Rondon

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR.,
Brasil)

N125p	Nacke, Herbert Produtividade e componentes de produção do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn e disponibilidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr / Herbert Nacke. - Marechal Cândido Rondon, 2011. 79 p.
	Orientador: Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior Co-Orientador: José Renato Stangarlin
	Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2011.
	1. Milho - Produtividade. 2. Solo - Contaminação ambiental. 3. <i>Zea mays</i> L. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.
	CDD 21.ed. 633.1 CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborado por Marcia Elisa Sbaraini Leitzke CRB-9/539

A MINHA FAMÍLIA

“Atende a evolução para aperfeiçoar a vida,
mas cultive a fé e a paciência,
a humildade e a compreensão, que te balsamizem o espírito,
porque não existe felicidade sem amor,
e não existe amor sem responsabilidade,
fora dos ensinamentos de Deus.”

*Francisco Cândido Xavier,
pelo espírito Emmanuel*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida.

À minhas duas mães, Juçara e Carla, pelo apoio e incentivo nos momentos de alegria e tristeza.

Ao meu Professor, Orientador, Mentor, Exemplo e SINCERO AMIGO, Dr. Affonso Celso Gonçalves Jr.

Ao meu Professor e Co-Orientador, Dr. José Renato Stangarlin pelos auxílios em todos os momentos de necessidade.

Aos GRANDES AMIGOS Emerson Silveira Gasparotto e Gilmar Divino Gomes.

Ao também, GRANDE AMIGO, Daniel Schwantes, e toda a sua família, sem os quais não seria capaz de realizar este trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Química Analítica e Instrumental, Leonardo, Gustavo, Endrigo, Mayara e Ivair.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pelo concedimento da bolsa de mestrado.

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	11
RESUMO	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. A cultura do milho.....	18
2.2. Micronutrientes na agricultura	19
2.3. A importância do zinco na cultura do milho.....	21
2.4. Metais pesados tóxicos em fertilizantes comerciais.....	23
2.5. Metais pesados tóxicos e as plantas.....	27
2.6. Metais pesados tóxicos e seus efeitos.....	28
2.6.1. Cádmio (Cd)	29
2.6.2. Chumbo (Pb)	30
2.6.3. Cromo (Cr).....	31
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE ZINCO	41
Resumo	41
Abstract.....	42
1. Introdução	43
2. Material e métodos	44
3. Resultados e discussão.....	47
4. Conclusões.....	54
5. Referências bibliográficas	54
CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS (Cd, Pb e Cr) NA AGRICULTURA PROVENIENTES DE FERTILIZANTES COMERCIAIS...	58
Resumo	58
Abstract.....	59
1. Introdução	60

2. Material e métodos	61
3. Resultados e discussão.....	65
4. Conclusões.....	74
5. Referências bibliográficas	74
CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE ZINCO

Figura 1: Teores foliares de Zn em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes e doses de Zn.....51

Figura 2: Produtividade de grãos de milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn.....52

CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS (Cd, Pb e Cr) NA AGRICULTURA PROVENIENTES DE FERTILIZANTES COMERCIAIS

Figura 1: Concentração foliar de Pb em função das doses de Zn D e H utilizadas no experimento.....68

Figura 2: Concentração de Cd na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.70

Figura 3: Concentração de Cd na camada de 20 a 40 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.70

Figura 4: Concentração de Pb na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn D e H utilizadas no experimento.72

Figura 5: Concentração de Pb na camada de 20 a 40 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.72

Figura 6: Concentração de Cr na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.73

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tabela 1: Evolução da área plantada, produtividade e produção brasileira de milho das safras de 2001/02 a 2008/09 19

CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE ZINCO

Tabela 1: Análise química do solo utilizado no experimento nas profundidades de 0 a 5 cm e 0 a 20 cm 44

Tabela 2: Análise de variância para os teores foliares de Zn, produtividade e componentes de produção do milho adubado com diferentes fontes e doses de Zn 48

Tabela 3: Médias dos teores foliares de Zn em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes de Zn 50

Tabela 4: Equações de regressão quadrática, coeficientes de determinação, dose de máximo acúmulo de Zn e teores foliares de Zn para a cultura do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn 51

Tabela 5: Equações de regressão quadrática, coeficientes de determinação, dose de MPE e teores foliares de Zn para a cultura do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn 53

CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS (Cd, Pb e Cr) NA AGRICULTURA PROVENIENTES DE FERTILIZANTES COMERCIAIS

Tabela 1: Concentrações (médias de três determinações) dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr do solo utilizado no experimento nas profundidades de 0 a 20 e 0 a 40 cm, das oito fontes de Zn e do formulado N:P₂O₅:K₂O 63

Tabela 2: Análise de variância para os resultados das concentrações de Pb no tecido foliar das plantas de milho e de Cd, Pb e Cr nas camadas de solo de 0 a 20 e 20 a 40 cm.....66

Tabela 3: Concentrações foliares de Pb em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes de Zn.....67

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag – prata
ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos
As – arsênio
B – boro
C – carbono
CaCl₂ – cloreto de cálcio
Cd – cádmio
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cfa – clima subtropical
cm – centímetro
cmol_c dm⁻³ – centimol de carga por decímetro cúbico
Co – cobalto
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cl – cloro
Cr – cromo
Cr(OH)₃ – hidróxido de cromo
CTC – capacidade de troca catiônica
Cu – cobre
DAE – dias após emergência
DBC – delineamento de blocos casualizados
DEFIS – Departamento de Fiscalização
DMS – diferença mínima significativa
EUA – Estados Unidos da América
Fe – ferro
FTE – fritted trace elements
g – grama
g cm⁻³ – grama por centímetro cúbico
g dm⁻³ – grama por decímetro cúbico
g kg⁻¹ – grama por quilograma
h – hora

ha – hectare
Hg – mercúrio
H+Al – acidez potencial
IARC – Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer
K – potássio
KCl – cloreto de potássio
kg – quilograma
kg ha⁻¹ – quilograma por hectare
K₂O – óxido de potássio
L ha⁻¹ – litros por hectare
LVe – Latossolo Vermelho eutrófico
m – metro
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg – magnésio
mg dm⁻³ – miligrama por decímetro cúbico
mg kg⁻¹ – miligrama por quilograma
mL ha⁻¹ – mililitro por hectare
Mn – manganês
Mo – molibdênio
MPE – máxima produtividade econômica
MP-SP – Ministério Público de São Paulo
m² – metro quadrado
N – nitrogênio
NBR – Norma Brasileira
Ni – níquel
OMS – Organização Mundial da Saúde
P – fósforo
Pb – chumbo
pH – potencial hidrogeniônico
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PR – Paraná
P₂O₅ – pentóxido de fósforo
R – coeficiente de correlação
RNA – ácido ribonucléico

R^2 – coeficiente de determinação

S – enxofre

S – Sul

SB – soma de bases

Se – selênio

SEAB – Secretária de Agricultura e Abastecimento do Paraná

Sn – estanho

SP – São Paulo

SS – superfosfato simples

V – vanádio

VI – valor de intervenção

VP – valor de prevenção

V% - saturação de bases

W – Oeste

Zn – zinco

ZnO – óxido de zinco

$(\text{NH})_4\text{SO}_4$ – sulfato de amônio

% – porcentagem

μg – micrograma

$^{\circ}\text{C}$ – graus celsius

® - marca registrada

mL – mililitros

> - maior

< - menor

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes fontes e doses de zinco (Zn) aplicadas na cultura do milho sobre a produtividade, componentes de produção e a disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr) para as plantas de milho e o solo de cultivo. Desta forma, foram avaliadas oito fontes e quatro doses de Zn em um Latossolo Vermelho eutrófico, na região Oeste do Paraná. Os resultados demonstraram diferença significativa entre as fontes e doses na disponibilização de Zn para as plantas, bem como entre as doses para a produtividade. Para os componentes de produção não houve efeito dos tratamentos estudados. Obteve-se ainda, que não houve acúmulo de Cd, Pb e Cr nos grãos de milho, e de Cd e Cr no tecido foliar das plantas, entretanto ocorreu acúmulo significativo de Pb no tecido foliar, demonstrando a sua disponibilização por meio das fontes de Zn e consequente absorção pelas plantas. Para o solo, verificou-se que as fontes disponibilizaram Cd, Pb e Cr, com incremento proporcional ao aumento das doses de Zn. Concluiu-se que, nas condições do experimento, a fertilização com Zn proporciona aumento da produtividade para a cultura do milho, porém, doses superiores a $4,0 \text{ kg ha}^{-1}$ não são justificadas. Já para a disponibilidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr concluiu-se que a fertilização com Zn proporcionou o aumento da quantidade desses elementos tóxicos no solo do experimento.

Palavras-chave: contaminação ambiental, fertilização, micronutriente, *Zea mays* L, solo.

ABSTRACT

The objective of this study it was evaluate the effect of different sources and doses of Zn applied in corn on productivity, yield components and the availability of toxic heavy metals cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) for maize plants and soil cultivation. This way, eight sources were evaluated at four Zn levels in a Rhodic Eutrudox in the western region of Paraná. The results showed significant differences among the sources and levels in the availability of Zn for plants, and among the doses for productivity. For yield components the treatments had no effect. We also obtained, there was no accumulation of Cd, Pb and Cr in corn grains, and Cd and Cr in the leaf tissue of plants, however there was accumulation of Pb in the leaf tissue, showing their availability through the sources of Zn and consequent plant uptake. For the soil, it was found that the sources made available Cd, Pb and Cr, with increase proportional to the increase of the Zn doses. It was concluded that, under the experiment conditions, the fertilization with Zn provides increase of the income for the maize crop, however, doses greater than 4.0 kg ha⁻¹ are not justified. As for the availability of toxic heavy metals Cd, Pb and Cr it was concluded that the fertilization with Zn, provided increase in the amount of toxic heavy metals Cd, Pb and Cr in the experimental soil.

Key-words: environmental contamination, fertilization, micronutrient, *Zea mays* L., soil.

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A produção brasileira de grãos alcança recordes de produtividade a cada ano e dentre as principais culturas, destacam-se o milho (*Zea mays* L.) e a soja (*Glycine max* L.). Nestas duas culturas, a obtenção da máxima produtividade é de importância fundamental no atual cenário mundial. Nesta busca incessante por elevadas produtividades, os agricultores utilizam tecnologias ligadas as mais variadas áreas, como a de defensivos, melhoramento genético de cultivares, fertilizantes, equipamentos e técnicas de plantio e colheita.

Com relação a adubação, esta deve suprir não apenas os macronutrientes, mas também os micronutrientes necessários. Porém, ainda surgem dúvidas, por parte dos agricultores e técnicos, com relação a utilização destes microelementos de forma sustentável e equilibrada.

Na estratégia de diminuição de custos, tanto na fabricação de fertilizantes, bem como nas propriedades agrícolas, a utilização de resíduos industriais para obtenção de micronutrientes tem sido muito utilizada. Estes resíduos, quando utilizados de forma adequada e racional apresentam-se como uma boa solução para a agricultura, porém o seu uso inadequado pode causar sérios danos para o solo, as plantas e ao próprio ser humano.

Os fertilizantes utilizados para suprir micronutrientes possuem, muitas vezes, em sua composição, além dos elementos desejáveis, metais pesados tóxicos como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e o cromo (Cr) (GONÇALVES Jr.; PESSOA, 2002).

Conforme relatado por Santos (2007), existem indícios da entrada de cargas contendo resíduos tóxicos, por meio de importação irregular, caracterizando tráfico ilícito, por diversas vezes em portos brasileiros, envolvendo empresas e fabricantes de insumos agrícolas, que importam estes resíduos químicos tóxicos dos EUA, Canadá, México, Espanha, Holanda e Inglaterra para serem utilizados como matéria prima na fabricação de fertilizantes para suprir micronutrientes.

O Brasil apresenta-se como uma das nações mais promissoras do mundo contemporâneo e futuro, porém, para que nosso país consolide sua presença entre

as grandes potências é extremamente necessária a manutenção da sustentabilidade de nosso ecossistema. Portanto, a atividade agropecuária de nosso país deve ser desenvolvida sem acarretar danos ao meio ambiente e assim continuar crescendo de forma racional e adequada, evitando assim, prejuízos para nossas gerações futuras.

Frente ao exposto, este trabalho objetivou estudar o desempenho de diferentes fontes e doses de zinco (Zn) no rendimento da cultura do milho e conseqüentemente a disponibilização dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr, eventualmente presentes nas fontes deste micronutriente, para o solo e as plantas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura do milho

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção mundial de milho na safra 2009/10 foi de 813,3 milhões de toneladas, sendo que o estoque inicial de milho nesta safra era de 148,0 milhões de toneladas. O consumo mundial em 2010 foi de 810,2 milhões de toneladas, restando, para o ano de 2011, 151,1 milhões de toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2010).

O Brasil ocupa a terceira posição no *ranking* mundial de área colhida de grãos de milho, colhendo em média 12 milhões de hectares (ha) a cada safra, sendo superado apenas pelos EUA e pela China (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA, 2009).

O milho é uma das mais tradicionais culturas do Brasil, ocupando posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, área cultivada e volume produzido, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país (AGRAFNP, 2002).

Na safra 2009/10 foram colhidos 55,97 milhões de toneladas de milho no Brasil, em uma área total de cultivo de 12,97 milhões de ha (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2010). Dentro deste total nacional, o Paraná ocupa o primeiro lugar em produção, com 15,20 milhões de toneladas em uma área total de 2,88 milhões de ha (SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO PARANÁ, 2009).

A Tabela 1 apresenta a evolução da área plantada, produtividade e produção do milho no Brasil das safras de 2001/02 a 2009/10 apresentada pela CONAB em seu relatório de Indicadores da Agropecuária de outubro de 2010.

Tabela 1: Evolução da área plantada, produtividade e produção brasileira de milho das safras de 2001/02 a 2008/09

Característica	Safr								
	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
Área plantada (ha)	12.318	13.226	12.783	12.208	12.963	14.054	14.765	14.171	12,966
Produtividade (kg ha ⁻¹)	2.868	3.585	3.296	2.867	3.279	3.655	3.972	3.599	4.316
Produção (mil toneladas)	35.280	47.410	42.128	34.976	42.514	51.369	58.652	51.003	55.967

Fonte: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2010).

O crescimento da produção brasileira ocorreu em função de vários fatores, sendo o principal, o aumento da produtividade, ocasionada pelo uso de cultivares mais produtivas, evolução nas práticas culturais e aumento da área cultivada em safras de inverno (ASSIS, 2004).

Impulsionando o aumento da produtividade, a demanda mundial de milho vem aumentando nos últimos anos, ocasionada principalmente pelo crescimento econômico dos países asiáticos e pela utilização de milho nos Estados Unidos para a produção de etanol. Internamente, em nosso país, o aumento do consumo de milho ocorre principalmente em decorrência do crescimento do setor de carnes, mais especificamente, de aves e suínos (PAVÃO, 2008).

Desta forma, além de ocupar uma área cultivada considerável no território brasileiro, gerando empregos no setor agrícola, a cultura do milho se mostra importante pela sua utilização direta na alimentação humana e de animais, bem como na indústria para a produção de cola, amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos importantes em nosso cotidiano (GUIMARÃES, 2007).

2.2. Micronutrientes na agricultura

Os micronutrientes são elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, porém, são exigidos em quantidades muito menores que os

macronutrientes. Os micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas são o boro (B), o cobalto (Co), o cloro (Cl), o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo) e o zinco (Zn). Apesar de serem necessários em baixos teores, seus efeitos no crescimento, desenvolvimento e produção são expressivos, pois a deficiência de qualquer um destes nutrientes pode resultar em perdas significativas de rendimento (BARBOSA FILHO et al., 2001; GONÇALVES Jr. et al., 2007).

As fontes de micronutrientes variam de modo considerável com relação ao seu estado físico, reatividade química, custo e disponibilidade para as plantas. Dentre as fontes mais utilizadas estão os produtos inorgânicos, quelatos sintéticos, complexos orgânicos e os *fritted trace elements* (FTE), chamadas comumente de “fritas”, que são micronutrientes fundidos com silicatos a altas temperaturas (MORTVEDT, 2001).

Na agricultura, os micronutrientes podem ser aplicados de diversas formas, destacando-se a fertilização via solo, adubação foliar e tratamento de sementes (LOPES; SOUZA, 2001).

Para aplicação no solo geralmente os micronutrientes são incorporados às formulações básicas de fertilizantes com macronutrientes, de modo que cada grânulo disponibilize o N, P e K, bem como o micronutriente em questão (ALCARDE; VALE, 2003).

Segundo Korndörfer et al. (1995) e Mortevdt e Giordano (1969), ao se adicionar Zn em formulações N:P₂O₅:K₂O durante o processo de granulação, este micronutriente nem sempre será disponibilizado adequadamente, pois, devido ao aumento do pH dos fertilizantes ocorre uma diminuição da fração de Zn solúvel em água, resultando em um decréscimo na disponibilidade deste para as plantas.

Atualmente não se sabe corretamente qual é a fonte de nutrientes que se compra no mercado de insumos, pois existem no mercado, basicamente, quatro a cinco produtos do tipo FTE (fritas), óxidos, sulfatos, quelatos, dentre outros. Não há conhecimento, também, de o que as empresas de fertilizantes estão vendendo aos produtores brasileiros. Isto ocorre, simplesmente porque a legislação brasileira do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), quanto a micronutrientes é muita falha na questão (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

Conforme Ribas (2007), no ano de 2006, os técnicos do Departamento de Fiscalização (DEFIS), da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná

(SEAB), afirmaram, em suas análises, que 30% dos fertilizantes encontrados em estabelecimentos comerciais do Paraná estão fora do padrão exigido, apresentando índices de nutrientes abaixo do informado em suas etiquetas. O autor relata ainda que devido a esse alerta há iniciativas para que se iniciem verificações nos insumos, analisando se os mesmos podem estar contaminados por metais pesados tóxicos, que podem contaminar o solo e, conseqüentemente, os alimentos.

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 a água por exemplo. Assim, a legislação vigente fornece margem para disponibilização de produtos de má qualidade no mercado. 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 dentro da lei (MOREIRA, 2003).

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.

Os trabalhos de Vale (2001) e Alcarde e 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.

Alcarde e 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.

2.3. A importância do zinco na cultura do milho

O Zn é considerado um micronutriente de grande importância na nutrição de plantas, pois participa como componente de um grande número de enzimas, tais como as desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolases, de modo que

suas funções básicas na planta estão relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos, na formação estrutural das auxinas, RNA e ribossomos, no metabolismo de fenóis, no aumento do tamanho e multiplicação celular e na fertilidade do grão de pólen (PRADO et al., 2008).

De acordo com Soares (2003) o Zn possui efeitos positivos perante a cultura do milho, proporcionando o aumento da altura das plantas, número de folhas, produção de forragem e grãos e conteúdo de proteína total nos grãos.

Incrementos na produção de grãos da cultura do milho em resposta a aplicação de Zn têm sido observados em diversos países há muitos anos (ENGELBERT, 1962; TERMAN et al., 1966; ARNON, 1975; SANKHYAN; SHARMA, 1997; COUTINHO et al., 2001, PRADO et al., 2008).

No Brasil, Igue e Gallo (1960) foram os primeiros a observar resposta do milho a aplicação de Zn, ao conduzirem um ensaio em solo de Cerrado no município de Matão-SP. Este tipo de solo é o que vem proporcionando as maiores respostas na fertilização com Zn (BRITTO et al., 1971; PEREIRA et al., 1973; RITCHEY et al., 1986; GALRÃO, 1984; 1994; 1995; 1996).

Segundo Furlani et al. (2005), solos ácidos de baixa fertilidade e solos de alta fertilidade com excesso de calagem, frequentemente apresentam deficiências de micronutrientes nas culturas anuais e perenes, em destaque a deficiência de Zn na cultura do milho.

Além do excesso de calagem, solos de alta fertilidade podem apresentar resposta à aplicação de Zn devido a exploração intensiva com altas produtividades (RITCHEY et al., 1986; ASSMANN; ASSMANN, 1995; GALRÃO, 1996; COUTINHO et al., 1997).

De acordo com Rosolem e Franco (2000), os níveis ideais de Zn nas folhas de plantas de milho estão entre 20 e 70 mg kg⁻¹. Malavolta et al. (1997) apresenta como nível ideal de Zn nas folhas, quantidades entre 15 e 50 mg kg⁻¹, na época do florescimento da cultura.

Para Galvão (1995), o teor de 18,5 mg kg⁻¹ é o nível crítico de Zn nas folhas de milho. Já para Furlani e Furlani (1996) e Bataglia e Dechen (1986), o nível crítico de Zn para a cultura do milho é de 17 mg kg⁻¹ na matéria seca das folhas maduras recém expandidas. De acordo com Rosolem e Franco (2000), níveis iguais ou maiores que 12 mg kg⁻¹ são suficientes para proporcionar crescimento normal as raízes de milho.

Segundo Jones Jr. (1972), níveis de Zn na matéria seca de folhas de milho acima de 400 mg kg^{-1} causam sintomas de toxidez nas plantas desta espécie. Para Fancelli e Dourado Neto (2000), o teor de Zn no solo adequado para a cultura do milho está entre $0,5$ e $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

Os principais sintomas de deficiência de Zn em plantas de milho são caracterizados por internódios curtos e faixas brancas ou amarelas entre a nervura principal e as bordas das folhas novas (COELHO; FRANÇA, 1995).

Já o excesso de Zn na planta pode causar alterações no crescimento desta, interferindo nos processos de fotossíntese, biossíntese de clorofila e integridade da membrana. Os sintomas de toxidez podem ser descritos como clorose nas folhas e diminuição da área foliar (OHKI, 1984; STOYANOVA; DONCHEVA, 2002).

2.4. Metais pesados tóxicos em fertilizantes comerciais

A expressão “metal pesado” ou “elemento traço” se aplica aos elementos químicos que tem peso específico maior que 5 g cm^{-3} ou que possuem número atômico maior que 20. Dentre os micronutrientes, aparecem vários metais pesados que podem ser classificados como essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), sendo indispensáveis para o desenvolvimento das plantas; benéficos (Co, Ni e V), que colaboram com o desenvolvimento das plantas, mas sua falta não é considerada um fator limitante e os não essenciais ou tóxicos (Cd, Cr, Hg, Pb), que são prejudiciais às plantas (GONÇALVES Jr. et al., 2000).

De acordo com um parecer técnico de 2004, elaborado pelo consultor ambiental do Ministério da Saúde Élio Lopes dos Santos, citado por Monteiro (2005), a partir do final da década de 70, com o intuito de diminuir os custos de produção, as indústrias de fertilizantes passaram a utilizar resíduos industriais perigosos na busca de elementos considerados essenciais às plantas.

Essa prática é alvo de investigação do MP-SP, que em ação conjunta com o Ministério da Saúde e Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e alguns pesquisadores, constataram que o problema ultrapassa as fronteiras nacionais, uma vez que, além de comprar esses materiais de indústrias brasileiras, as produtoras de fertilizantes passaram a importá-los sob o pretexto destes resíduos serem matéria prima, mas na verdade está comprovado que este material é lixo químico industrial.

O comércio internacional de resíduos tóxicos é ilegal segundo a Convenção de Basileia, que entrou em vigor no ano de 1992, e da qual o Brasil é signatário (NAVA, 2008; MONTEIRO, 2005).

Segundo Gonçalves e Pessoa (2002), os adubos utilizados para suprir micronutrientes possuem em sua composição, além dos elementos essenciais e desejáveis, também em geral, metais pesados tóxicos, como Cd, Pb e Cr.

Alguns insumos agrícolas e 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; GUIMARÃES, 2007).

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).

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, As e Cr⁶⁺ exercem efeitos deletérios sobre vários componentes da biosfera (ALLOWAY, 1995).

Até a década de 70 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, desta 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 altamente atraentes, uma vez que adquirem matéria prima a custos irrisórios e, além disso, essas fábricas são as únicas que não geram nenhum tipo de resíduo, porque o incorporam diretamente nos seus produtos (NAVA, 2008).

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

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. A carga vinha 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 adequada 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 apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada (SANTOS, 2007).

As atividades irregulares citadas acima foram constatadas junto às empresas de micronutrientes existentes no Estado de São Paulo, na sua maioria associadas a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), que objetivando diminuir os custos de aquisição de matérias primas, passaram a utilizar resíduos industriais perigosos, na busca de elementos de interesse das plantas, primordialmente o Zn e Mn, 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).

A entidade afirma também 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 as plantas não absorvem metais pesados tóxicos. Porém, admitem que não há informações suficientes sobre os problemas causados por esses contaminantes sobre a fauna ou os rios, uma vez que, a infiltração das águas das chuvas pode carregar os poluentes acumulados no solo para os lençóis freáticos e para os rios por erosão, o que afetaria o abastecimento de água e todo o ecossistema 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, onde 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; PESSOA, 2002).

A legislação atual em relação a contaminação de fertilizantes e solos na agricultura baseia-se na Instrução Normativa 27 de 2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2006) e na Resolução 420 de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2009), que definem, respectivamente, os teores permitidos de contaminantes em fertilizantes e os critérios e valores orientadores para qualidade do solo. Entretanto, a utilização destas normas é seriamente questionada por autoridades e pesquisadores (PAULA Jr., 2009; VARJABEDIAN; LEITE, 2009), uma vez que elas apresentam vários equívocos que ferem a Constituição Federal no que tange a “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia a vida”.

Sendo que os questionamentos com relação a Resolução 420 de 2009 já foram realizados antes mesmo da aprovação desta norma, na minuta de resolução realizada anteriormente a publicação da resolução, pelo fato desta se basear exclusivamente nos valores de orientação dispostos na Decisão de Diretoria da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB do Estado de São Paulo (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005), e que entre outros equívocos, não pode ser adotado para todo país. Não obstante,

verifica-se que o CONAMA ignorou vários questionamentos realizados por pesquisadores e autoridades, relacionados no Processo 02000.002955/2004-69 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011), bem como os realizados pelo Ministério Público de São Paulo, de que se fazia necessária uma maior discussão com a sociedade (especialmente os segmentos técnico-científicos especializados, em caráter multidisciplinar) antes de ser submetida a aprovação da eventual Resolução.

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, o uso de resíduos pode até se tornar uma excelente alternativa econômica para a fabricação de micronutrientes (MELO et al., 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).

2.5. Metais pesados tóxicos e as plantas

Os fatores que afetam a dinâmica dos metais pesados tóxicos no solo, evidentemente, também interferem e controlam a sua disponibilidade para as plantas. Desta forma, pode-se considerar prontamente disponíveis para estas, os metais que se encontram na forma solúvel, dissolvidos na solução do solo, ou ainda na forma trocável, adsorvidos as cargas do solo, assim como para os demais nutrientes do solo. Deve-se ainda considerar a presença desses elementos tóxicos na forma de precipitados e de quelatos com a matéria orgânica do solo, onde nestes não se apresentam prontamente disponíveis, mas que através da mineralização, mudanças de pH ou do potencial redox do solo podem tornar-se disponíveis para as plantas (BORGES, 2002).

Com relação a absorção dos metais pesados tóxicos pelas plantas, observa-se que, de modo geral, esta não ocorre de forma proporcional à concentração do

mesmo no solo, exceto no caso de baixas concentrações (DUDKA; MILLER, 1999).

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), as plantas acumulam 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 destes elementos metálicos, proporcionando, desta forma, a contaminação de animais e seres humanos.

Nem todos os órgãos das plantas possuem a mesma sensibilidade quanto à acumulação de metais pesados; sendo que, normalmente, a raiz é o órgão prioritário de entrada e acumulação destes elementos (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 1992). Entretanto, em alguns sistemas metal-plantas, os metais podem ser acumulados em outros órgãos como caules, folhas e frutos. 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. Já os metais Cr, Pb, Hg e Sn, ocorrem principalmente nas raízes, com quantidades muito pequenas na parte aérea (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

O acúmulo de metais pesados em plantas provoca importantes respostas bioquímicas e fisiológicas em seu organismo, modificando vários processos metabólicos. Dentre estas respostas, pode se destacar a redução na taxa fotossintética líquida, acarretando em diminuição no crescimento e na produtividade da planta, diminuição na concentração de carboidratos solúveis totais, e ainda, um declínio significativo na concentração de proteínas e atividades enzimáticas, sugerindo uma possível interferência de íons metálicos na síntese de proteínas vegetais (ALMEIDA et al., 2007).

2.6. Metais pesados tóxicos e seus efeitos

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

Quando presente no solo, no ar ou na água, seja por ocorrência natural ou por ação antrópica, os metais pesados podem 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 causar doenças no homem, 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 humana ou animal, as formas como se distribuem dentro dos tecidos das plantas e seu papel na transferência desses elementos para outros organismos. Os efeitos biológicos causados pela poluição metálica de plantas são de grande importância na saúde de homens e animais (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

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. et al., 2000).

2.6.1. Cádmio (Cd)

O Cd é considerado um dos metais mais ecotóxicos, apresentando importantes efeitos adversos sobre a atividade biológica do solo, metabolismo de plantas, e a saúde dos seres humanos e dos animais. A abundância de Cd em rochas magmáticas e sedimentares não excede cerca de $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$, sendo que este metal tende a ser concentrado em depósitos argilosos e folhetos. O Cd está fortemente associado com o Zn na geoquímica, entretanto, possui uma forte afinidade com o S, apresentando ainda uma maior mobilidade que o Zn em ambientes ácidos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Este metal pesado tóxico é adicionado ao solo principalmente por meio do lixo urbano ou industrial, lodo de esgoto e fertilizantes fosfatados, sendo facilmente absorvido e translocado nas plantas, e assim apresentando potencial de entrada na cadeia alimentar humana, podendo acarretar sérios problemas de saúde (DIAS et al., 2001). Não obstante, a fumaça do cigarro, contaminação da água e do ar são importantes fontes de intoxicação humana por Cd (BERTIN; AVERBECK, 2006).

O Cd é classificado como cancerígeno pela Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer (IARC). Sendo que os principais sintomas associados a este

elemento são câncer de próstata, de pulmão e testículos. Em nível celular, o Cd afeta a proliferação, diferenciação e pode causar apoptose (destruição celular). Pode causar ainda danos nos rins, desde menores disfunções tubulares até insuficiência grave envolvendo túbulos e glomérulos, anemia, hipertensão e disfunções gástricas (FRIBERG, 1984; DIAS et al., 2001).

2.6.2. Chumbo (Pb)

O Pb é amplamente utilizado há milhares de anos nas mais diversas atividades humanas. A larga utilização deste metal pesado tóxico proporcionou a contaminação de uma grande quantidade de seres humanos, colocando-o como um dos contaminantes mais comuns do meio ambiente (SARYAN; ZENZ, 1994; MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Este metal é extremamente estável no solo e altamente tóxico para seres humanos e animais, atualmente é classificado como o segundo mais perigoso elemento na lista de prioridade da agência de proteção ambiental americana, atrás somente do As (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

A maior parte do chumbo entra no organismo humano pelas vias respiratória e gastrointestinal, sendo que após sua absorção, ele pode ser encontrado no sangue, tecidos moles e mineralizados (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 1999).

O contato humano com grandes concentrações deste elemento pode levar a distúrbios em praticamente todas as partes do organismo (principalmente sistema nervoso central, sangue e rins), culminando com a morte. Em doses baixas, há alteração na produção de hemoglobina e processos bioquímicos cerebrais, levando a alterações psicológicas e comportamentais, sendo a diminuição da inteligência um dos seus efeitos (TONG et al., 2000).

2.6.3. Cromo (Cr)

O Cr pode ser considerado um elemento bioativo, sendo que a presença de Cr^{3+} na dieta de animais e humanos é importante, pois está relacionada com o metabolismo de glicose, lipídeos e proteínas. Porém, em outros estados de oxidação, como o Cr^{6+} , e em altas concentrações este elemento é tóxico, carcinogênico e mutagênico para animais e humanos (MATOS et al., 2008).

De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001) a concentração de Cr no solo varia entre 5 e 3400 mg kg^{-1} . Embora o Cr exista em diversos estados de oxidação, somente o Cr^{3+} e o Cr^{6+} são suficientemente estáveis para ocorrer no meio ambiente.

No solo, a matéria orgânica tende a estimular a redução do Cr^{6+} para Cr^{3+} , que possui ocorrência natural e precipita-se como $\text{Cr}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}(\text{OH})_3$, podendo ainda formar quelatos com moléculas orgânicas tornando-se, desta forma, pouco móvel no solo. Por sua vez, o Cr^{6+} apresenta grande mobilidade no solo, uma vez que seus ânions são facilmente transportados no solo, sendo prontamente solúvel e tóxico para plantas, animais e para os seres humanos (MELO et al., 2007).

Segundo Dal Bosco (2007), os compostos de Cr produzem vários danos a saúde, como dermatite alérgica, ulcerações na pele, perfuração do septo nasal, lesões bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais, além de causar câncer.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. **CERCLA priority list of hazardous substances**. Disponível em <www.atsdr.cdc.gov/cercla/05list.html>. Acesso em 20 dez. 2010.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. **Case studies in environmental medicine – lead toxicity**. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, 1999.

AGRAFNP Consultoria e Agroinformativos. **Agrianual 2002: Anuário da agricultura brasileira**, São Paulo, 2002, p. 417-437.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Caracterização de fertilizantes simples contendo zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 121-126, 1993.

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2003.

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

ALMEIDA, A. F. et al. Tolerance and prospection of phyto remediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 83-98, 2007.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452 p.

ASSIS, J. P. **Modelo estocástico para estimação de produtividade potencial de milho em Piracicaba-SP**. 2004. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S. Efeito de doses crescentes de zinco sobre plantas de milho cultivadas em um Latossolo roxo. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 1181-1182.

BARBOSA FILHO, Morel Pereira. Micronutrientes para as culturas: Arroz, milho e trigo. In: FERREIRA, Manoel Evaristo et al. (Org.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 285-308.

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

BATAGLIA. O. C.; DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo, 1., Piracicaba, 1986. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1986. p. 115-136.

BERTIN, G.; AVERBECK, D. Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). **Biochimie**, Paris, v. 88, n. 11, p. 1549-1559, 2006.

BORGES, M. **Extratabilidade do cádmio: influência de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo peso molecular**. 2002. 88 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 27. Brasília, DF, 2006, 3 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução 420. Brasília, DF, 2009, 16 p.

BRITO, D. P. P. S. et al. Estudo das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho-escuro sob vegetação de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 17-22, 1971.

CHANG, A. C. et al. Sequential extraction on soil heavy metals following a sludge application. **Journal of Environmental Quality**, v.13, n. 2, p.33-38, 1987.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo**, n. 2, p. 1-24, 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de diretoria 195-2005-E. São Paulo, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, ano XIX, n. 11. 2010.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Cultivo de milho**. Disponível em <<http://www.cib.org.br/cultivo.php?chave=10>>. Acesso em 15 janeiro 2009.

COUTINHO, E. L. M. et al. Resposta do milho doce à adubação com zinco. **Revista Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, n. 2, p. 181-186, 2001.

COUTINHO, E. L. M. et al. Respuestas del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilizacion com fósforo y zinc. In: CONGRESSO VENEZOELANO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, 14., 1997, Trujillo. **Anais...** Trujillo: SVCS, 1997. CD ROM.

DAL BOSCO, S. M. **Remoção de cromo de solução aquosa utilizando rocha sedimentar contendo zeólita**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, 2007.

DIAS, N. M. P. et al. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 229-234, 2001.

DUDKA, S.; MILLER, W. P. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 34, n. 3, p. 681-708, 1999.

ENGELBERT, L. E. Minor element fertilizer of corn. In: XVII HYBRID CORN INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 1962, **Anais...** American Seed Trade Association, 1962. p. 52-60.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 360 p.

FRIBERG, L. Cadmium and the kidney. **Environmental Health Perspectives**, Weston, v. 54, n. 1, p. 1-11, 1984.

FURLANI, A. M. C. et al. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 365-369, 1996.

GALRÃO, E. Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na composição química do arroz, milho e soja em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 111-116, 1984.

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**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 283-289, 1996.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-escuro argiloso sob Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 229-233, 1994.

GALRÃO, E. Z. 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, 1995.

GUIMARÃES, P. S.. **Desempenho de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

GONÇALVES Jr., A. C. et al. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, 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., A. C. et al. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1231-1236, 2007.

GONÇALVES Jr, A. C.; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de Cádmio, Chumbo e Cromo, em soja cultivada em argilossolo vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 3, n. 1-2, p. 19-23, 2002.

IGUE, K.; GALLO, J. R. **Zinc deficiency on corn in São Paulo**. New York: IBEC Research Institute, 1960. 16 p. (Boletim 20).

JONES Jr. J. B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 319-346.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3 ed. London: CRC Press, 2001. 403 p.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 555-560, 1995.

LOPES, A. S.; SOUZA, E. C. A. Adubos e adubação: Filosofia de aplicação. In: FERREIRA, Manoel Evaristo et al. (Org.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 255-277.

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

MARCHI, G.; GUIMARÃES, L. R. G. **Os Metais Pesados no Solo**. DBO Agrotecnologia. Disponível em <<http://www.anda.org.br/artigos/MetaisPesados.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2010.

MARTINS, A. L. C. et al 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**, Campinas, v. 27, n. 3, p.563-574, 2003.

MATOS, W. O. et al. Especificação redox de cromo em solo acidentalmente contaminado com solução sulfocrômica. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1450-1454, 2008.

MELO, G. M.; MELO, V.; MELO, W. **Metais Pesados no Ambiente Decorrente da Aplicação de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola**. 2007. Disponível em <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/LODO%20ESGOTO.PDF>> Acesso em 20 dez. 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Processo 02000.002955/2004-69**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.002955/2004-69>> Acesso em 15 jan. 2011.

MONTEIRO, M. F. Lixo tóxico vira matéria prima. **Repórter Brasil**, São Paulo, 17 outubro 2005. Disponível em <<http://www.reporterbrasil.com.br/exibe.php?id=171>> Acesso em 05 fevereiro 2009.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 167-181, 2004.

MOREIRA, S. G.. **Micronutrientes na agricultura: qual a fonte você está comprando?** 2003. Disponível em <<http://www.rehagro.com.br>>. Acesso em 14 abr. 2010.

MORTVEDT, J. J. Adubos e adubação: Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes - presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, Manoel Evaristo et al. (Org.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 237-251.

MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. Availability to corn of zinc applied with various macronutrient fertilizers. **Soil Science**, Baltimore, v. 108, n. 3, p. 180-187, 1969.

NAVA, I. A. **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**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

OHKI, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n. 2, p. 253-256, 1984.

PAULA Jr., D. **Ofício 2147/09-MP-PJCS-UMA**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/FE4582B1/Of2147-09-MP-PJCS-UMA_7maio09.pdf> Acesso em 10 jan. 2011.

PAVÃO, A. R. **Impactos econômicos da introdução do milho Bt11 no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-graduação em Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

PEREIRA, J. et al. Níveis de sulfato de zinco em milho (*Zea mays*) em solos de campo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 187-191, 1973.

PRADO, R. M. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1001. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, 2008.

RIBAS, N. P. 30% dos fertilizantes estão fora de padrão. **O Paraná**, 12 fev. 2007. Caderno rural, p. 10.

RITCHEY, K. D. et al. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de Zn e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região Metropolitana de São Paulo**. 2007. 265 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SARYAN, L. A.; ZENZ, C. Lead and its compounds. In: ZENZ, C.; DICKERSON, O. B.; HORVATH, E. P. (Org.). **Occupational medicine**. Langley: Mosby-Year Book, 1994. p. 506-541.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO PARANÁ. **Agricultura e evolução: Área e produção**. Disponível em <<http://www.seab.pr.gov.br/>>. Acesso em 22 jan. 2009.

SANKHYAN, N. K.; SHARMA, C. M. Effect of phosphorus and zinc fertilization on grain yield and uptake by maize (*Zea mays*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, Nova Deli, v. 67, n. 1, p. 63-66, 1997.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

STOYANOVA, Z.; DONCHEVA, S. The effect of zinc supply and succinate treatment on plant grown and mineral uptake in pea plant. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campinas, v.14, n.2, p.111-116, 2002.

TERMAN, G. L.; ALLEN, S. E.; BRADFORD, B. N. Respost of corn to zinc as affected by nitrogen and phosphorus fertilizers. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, n. 2, p. 119-124, 1966.

TONG, S. et al Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. **Bulletin of the World Health Organization**, Switzerland, v. 78, n. 9, p. 1068-1077, 2000.

VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes**. 2001. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

VARJABEDIAN, R.; LEITE, C. B. B. **Ofício 1029/2009 – PGJ/CAO**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/FE4582B1/ConsideracoesMinisPublSaoPaulo.pdf>> Acesso em 10 jan. 2011.

CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO MILHO ADUBADO COM DIFERENTES FONTES E DOSES DE ZINCO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de Zn aplicadas na cultura do milho para a região Oeste do Paraná. Desta forma, estudou-se o comportamento de oito fontes e quatro doses de Zn sobre os teores foliares deste elemento, a produtividade e componentes de produção de plantas de milho em um Latossolo Vermelho eutrófico. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre as fontes e doses na disponibilização de Zn para as plantas, bem como entre as doses para a produtividade. Para os componentes de produção não houve efeito dos tratamentos estudados. Concluiu-se que, nas condições do experimento, a fertilização com Zn, na dose máxima de 4,0 kg ha⁻¹, proporciona aumento da produtividade para a cultura do milho.

Palavras chave: fertilização, micronutriente, *Zea mays* L.

Abstract

PRODUCTIVITY AND YIELD COMPONENTS OF MAIZE FERTILIZED WITH DIFFERENT SOURCES AND DOSES OF ZINC

The objective of this study was to evaluate the effect of different sources and doses of Zn applied in corn culture for the west region of Paraná. This way, was studied the behavior of eight sources and four doses of Zn on leaf contents of this element, productivity and yield components of corn plants in a Rhodic Eutrudox. The results showed significant differences among the sources and doses in the availability of Zn for plants, and among doses for productivity. For yield components the treatments had no effect. It was concluded that, under the experiment conditions, the fertilization with Zn, at a maximum of 4.0 kg ha⁻¹, provides increase of the productivity for the maize crop.

Key-words: fertilization, micronutrient, *Zea mays* L.

1. Introdução

A busca por altas produtividades nos cultivos agrícolas do Brasil é um desafio constante e atual, porém, este incremento nos rendimentos deve estar aliado ao avanço científico e tecnológico, sendo necessários estudos com relação ao conhecimento das exigências nutricionais de cada cultura, aprimorando-se, desta forma, o uso dos fertilizantes na propriedade agrícola (GONÇALVES Jr. et al., 2010).

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais importante cultivado no Brasil. Nosso país se encontra em 3º lugar no ranking mundial de produção desta cultura (atrás dos Estados Unidos e da China), cultivando 12,86 milhões de ha e colhendo 55,61 milhões de toneladas de grãos em suas duas safras anuais. O Estado do Paraná é o maior produtor de grãos de milho do Brasil, cultivando uma área de 2,27 milhões de ha e produzindo 13,54 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Dentre os micronutrientes utilizados na agricultura, o fornecimento de zinco (Zn) é o que reflete as maiores respostas na produção de grãos na cultura do milho em solos brasileiros, seja pelos baixos teores existentes no solo, associados ou não à prática da calagem, a adubação fosfatada, ou aos teores de matéria orgânica do solo (COUTINHO et al., 2001).

Segundo Furlani et al. (2005), solos ácidos de baixa fertilidade e solos de alta fertilidade com excesso de calagem, frequentemente apresentam deficiências de micronutrientes nas culturas anuais e perenes, em destaque a deficiência de Zn na cultura do milho.

Visando a avaliação de diferentes fontes e doses de Zn comercializadas por empresas brasileiras e a obtenção de dados relacionados à fertilização e fitodisponibilidade deste micronutriente em plantas de milho para as condições de solo e clima da região Oeste do Paraná, promovendo melhores recomendações de adubação para este local, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e os componentes de produção do milho adubado com diferentes fontes e doses de Zn.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Mercedes-PR, cujas coordenadas são 24° 27' S e 54° 09' W, com altitude média de 415 m. O clima do local é subtropical (Cfa), segundo a classificação de Köppen, sem estação seca definida e apresentando verões quentes com tendência de concentração das chuvas nesta época. A temperatura média anual do município é de 21 °C, com mínima de 14 °C e máxima de 28 °C.

Todas as análises laboratoriais deste experimento foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste.

O solo do local do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) de textura argilosa (558,50 g kg⁻¹ de argila, 278,61 g kg⁻¹ de silte e 162,89 g kg⁻¹ de areia).

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química do solo antes da instalação do experimento nas profundidades de 0 a 5 e 0 a 20 cm. Como metodologia para análise química foi utilizado o manual de análises químicas de solo do Instituto Agrônomo do Paraná (PAVAN et al., 1992).

Tabela 1: Análise química do solo utilizado no experimento nas profundidades de 0 a 5 cm e 0 a 20 cm

Amostra	pH (CaCl ₂)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	C	P	Cu	Zn	Fe	Mn	V%
		cmol _c dm ⁻³				g dm ⁻³			mg dm ⁻³				%	
0-5 cm	5,10	0,66	6,36	1,07	4,46	8,09	12,55	25,97	24,09	8,10	2,01	38,77	162,00	64,46
0-20 cm	4,83	0,42	4,34	0,99	5,79	5,75	11,54	20,51	10,58	12,50	1,44	76,65	261,00	49,83

H+Al (acidez potencial), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca catiônica), C (carbono orgânico), V% (saturação por bases), Cu, Zn, Fe e Mn extraídos por Mehlich-1.

A interpretação da disponibilidade inicial de Zn no solo classificou os teores do elemento para os solos do Estado do Paraná na camada de 0 a 5 cm como bom e na camada de 0 a 20 cm como médio (ABREU et al., 2007).

O delineamento experimental utilizado neste experimento foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 8 x 4, com três repetições, sendo os fatores constituídos por oito diferentes fontes de Zn e quatro diferentes doses de Zn (0, 2, 4 e 6 kg ha⁻¹), totalizando 32 tratamentos e 96 parcelas experimentais.

As oito fontes de Zn utilizadas neste experimento apresentavam-se na forma de grânulos provenientes de sete diferentes empresas, produzidas a partir de duas matérias primas, sendo elas o óxido de Zn (ZnO) e as chamadas fritas (FTE), que são micronutrientes fundidos com silicatos a altas temperaturas, assim, as fontes foram classificadas da seguinte maneira:

- ✓ *Fonte A* – granulado de ZnO com 15% de Zn da empresa 1;
- ✓ *Fonte B* – granulado de ZnO com 10% de Zn da empresa 2;
- ✓ *Fonte C* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 3;
- ✓ *Fonte D* – granulado de FTE com 15% de Zn de empresa 4;
- ✓ *Fonte E* – granulado de FTE com 10% de Zn da empresa 5;
- ✓ *Fonte F* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 6;
- ✓ *Fonte G* – granulado de ZnO com 2% de Zn da empresa 1, porém de formulação diferente;
- ✓ *Fonte H* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 7.

Desta forma, neste trabalho foram variadas apenas as doses de Zn, e a fertilização com macronutrientes foi idêntica em todos os tratamentos, sendo aplicada no momento da semeadura, constituída dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Para determinação da dose de N, P e K de base foi utilizada a Circular Técnica 78 da Embrapa (COELHO, 2006), com base na análise química de solo. Assim, foram utilizados 350 kg ha⁻¹ de um formulado N:P₂O₅:K₂O na proporção 8:20:20.

Como fonte dos macronutrientes foi utilizado sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] para N, superfosfato simples (SS) para P e cloreto de potássio (KCl) para K.

Cada parcela de avaliação do experimento foi constituída de cinco linhas de semeadura, com espaçamento de 0,9 m e comprimento de 4,0 m. Como parcela útil foram utilizadas as três linhas centrais, desconsiderando-se 1,0 m das extremidades como bordadura, proporcionando uma área útil de 5,4 m².

A área em que foi realizado este experimento era manejada no sistema de plantio convencional, sem a prática de revolvimento de solo, porém cultivada por dois anos com sucessão soja-milho.

A condução do experimento foi realizada o mais próximo possível das condições normais de campo, ou seja, com o uso de semente fiscalizada e tratada, plantio e adubação com conjunto trator-semeadora, controle químico e manual de plantas daninhas, pragas e doenças.

Para controle de plantas daninhas em pré-emergência foi realizada 15 dias antes da semeadura, a aplicação de herbicida nas seguintes condições: 2,0 L ha⁻¹ de 2,4-D e 5,0 L ha⁻¹ de *glyphosate*, sendo aplicado ainda, 7 dias antes da semeadura 3,0 L ha⁻¹ de *paraquat + diuron*.

A semeadura foi realizada no dia 14 de outubro de 2009, sendo utilizada a cultivar de milho híbrido 30F98 da empresa Pioneer, para tanto, foram semeadas seis sementes por metro linear, objetivando uma população de 66666 plantas por ha. Porém, devido a falta de precipitação pluviométrica nos dias subsequentes, a emergência das plântulas foi desuniforme, sendo realizado uma nova semeadura de forma manual no dia 28 de outubro com a mesma população. Tanto na semeadura como na ressemeadura foi realizado o tratamento de sementes com o inseticida Standak[®] na dose de 50 mL por saco de 50 kg e com o fungicida Cruiser[®] na dose de 600 mL por saco de 100 kg de sementes. Sete dias após a emergência plena das plântulas, dia 11 de novembro de 2009, foi realizada, de forma manual, a aplicação das doses de Zn em seus respectivos tratamentos.

O controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com o inseticida Tracer[®], utilizando-se a dose de 50 mL ha⁻¹. Foram realizadas duas aplicações para controle. Foram realizadas ainda capinas manuais a cada 15 dias para controle de plantas daninhas.

Com 25 dias após a emergência (DAE) foi realizada a adubação de cobertura para o nutriente N, sendo aplicados 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (COELHO, 2006).

A coleta de material para diagnose foliar dos teores de Zn nas plantas foi realizada por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (estádio R1) (RITCHIE et al., 2003), atingido com 61 DAE. Para tanto, foram coletadas folhas da parte oposta e abaixo da espiga superior de quatro plantas escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela, sendo estas colocadas em sacos limpos e

devidamente identificados. No laboratório as folhas foram lavadas com detergente e água destilada e deionizada, após isso retirou-se a nervura central das folhas e estas foram desidratadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 h. Em seguida as folhas foram trituradas e armazenadas em sacos devidamente limpos e identificados para posterior análise.

Para determinação dos teores de Zn, no tecido foliar das plantas de milho, foi realizada digestão nitro-perclórica (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005), sendo utilizada espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA-chama) (WELZ; SPERLING, 1999) para determinação das concentrações do elemento.

Com 119 DAE o experimento foi finalizado e realizou-se a coleta das espigas de toda a parcela útil para determinação da produtividade e dos componentes de produção massa de 1000 grãos e massa de espiga. A massa de espiga foi realizada pesando-se todas as espigas coletadas e dividindo-se pelo número destas, para determinação da massa de 100 grãos utilizou-se a metodologia descrita por Brasil (1992).

De acordo com Figueiredo et al. (2006), a dose que melhor apresenta a economicidade e eficiência de um fertilizante encontra-se, geralmente, entre 80 a 100% da dose de máxima produtividade, desta forma, foi considerada como dose de MPE a que proporcionou 90% da produtividade máxima (RAIJ, 1981).

Para análise estatística dos resultados obtidos neste trabalho foi utilizado o *software* SISVAR (FERREIRA, 2003). Os dados foram submetidos à análise de variância na significância de 5%, no caso de significância entre as fontes foi realizado o teste Tukey a 5% de probabilidade e, para as doses análise de regressão.

3. Resultados e discussão

Os resultados na análise de variância para as variáveis Zn, produtividade, massa de 1000 grãos e massa de sabugo (Tabela 2) mostraram que ocorreram diferenças significativas ($P < 0,05$) para os teores foliares de Zn com relação as fontes e doses de Zn e na interação entre estes dois tratamentos e, para a produtividade do

milho nas doses e na interação entre os tratamentos. Para as variáveis massa de 1000 grãos e massa de sabugo não houve diferença significativa ($P>0,05$).

Para os componentes de produção massa de 1000 grãos e massa de sabugo não houve diferença significativa, demonstrando que as diferentes fontes e doses de Zn não influenciaram estas variáveis. Em outros trabalhos relacionados a fertilização com Zn na cultura do milho, Ferreira et al. (2001) e Domingues et al. (2004) também não obtiveram diferenças significativas para a massa de 1000 grãos em função da variação de doses deste micronutriente.

Tabela 2: Análise de variância para os teores foliares de Zn, produtividade e componentes de produção do milho adubado com diferentes fontes e doses de Zn

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios			
		Zn	M1000	PROD	MSAB
Bloco	2	0,88	55,42	570066,21	2,26
Doses (A)	3	232,35**	187,16 ^{NS}	7098326,03**	17,77 ^{NS}
Fontes (B)	7	73,01**	290,28 ^{NS}	625347,71 ^{NS}	20,01 ^{NS}
A x B	21	35,20**	265,32 ^{NS}	871694,05*	23,04 ^{NS}
Resíduo	62	10,39	159,73	498110,88	24,54
C.V.	--	12,22	4,87	10,47	13,71

M1000 (massa de 1000 grãos), PROD (produtividade), MSAB (massa de sabugo), ** - significativo a 1% pelo teste T de *Student*, * - significativo a 5% pelo teste T de *student*, NS (não significativo a 5% pelo teste T de *student*), C.V. (coeficiente de variação).

No entanto, estes resultados eram de certa forma esperados, pois segundo Prado et al. (2008), as principais funções do Zn nas plantas são: atuar como componente de um grande número de enzimas; atuar nas funções básicas da planta, como metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos; na formação de estruturas das auxinas, RNA e ribossomos; bem como no metabolismo de fenóis; no aumento do tamanho e multiplicação celular e na fertilidade do grão de pólen. Desta forma, isto proporciona aumento da altura de plantas, conteúdo de proteína nos grãos, número de folhas e produção de forragem e de grãos (DECARO et al., 1983).

A comparação entre as médias das concentrações de Zn nas plantas de milho (Tabela 3) demonstra que a fonte A foi superior às demais, que por sua vez foram semelhantes entre si.

O fato da fonte A ser produzida a partir de ZnO, enquanto que as fontes C, D, E, F e H são formuladas a partir de FTE pode explicar a diferença entre estas, pois em trabalho realizado por Vale e Alcarde (2002), avaliando a disponibilidade de diferentes fontes de Zn em fertilizantes, foi constatado que o Zn presente na forma de óxido disponibilizou maior quantidade deste nutriente em relação as FTE.

Com relação à fonte A e as fontes B e G, todas produzidas com ZnO, a diferença poderia ser explicada pela solubilidade destas, uma vez que são formuladas com matérias primas diferentes. De acordo com Alcarde e Vale (2003) frequentemente ocorre a utilização de Zn metálico, oriundo de subprodutos industriais, sob o rótulo de ZnO, acarretando na produção de fertilizantes que não disponibilizam adequadamente este micronutriente para as plantas.

Em experimento avaliando a produção de matéria seca do milho em função da aplicação de diferentes fontes de Zn, Amrani et al. (1999) concluíram que o teor total de Zn garantidos nas formulações não corresponderam a disponibilização do nutriente para as plantas, inferindo ainda que pelo menos 50% do Zn contido nos fertilizantes deve ser solúvel em água para garantir uma boa disponibilização do elemento para as plantas.

Deve-se destacar que a utilização de subprodutos em fertilizantes agrícolas não fere a legislação brasileira, pois o Decreto 86955 (BRASIL, 1982) exige apenas garantia mínima e a expressão do teor total de cada micronutriente presente nos fertilizantes comercializados pelas empresas, possibilitando a comercialização de resíduos industriais que possuem microelementos com os teores mínimos exigidos pela Lei. No entanto, estas fontes podem não estar nas formas químicas previstas na legislação. Não obstante, alguns destes produtos podem ter eficiência agrônômica insatisfatória, não sendo recomendados para utilização como fertilizantes (ALCARDE; RODELLA, 1993).

Tabela 3: Médias dos teores foliares de Zn em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes de Zn

Fontes de Zn	Teor foliar de Zn nas plantas de milho (mg kg ⁻¹)
Fonte A	31,89 ^a
Fonte B	26,41 ^b
Fonte C	26,46 ^b
Fonte D	27,14 ^b
Fonte E	25,36 ^b
Fonte F	25,00 ^b
Fonte G	23,84 ^b
Fonte H	24,88 ^b
D.M.S.	4,13

Médias seguidas de letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, D.M.S. (diferença mínima significativa).

A análise de regressão quadrática para os teores foliares de Zn em função das doses de Zn em cada fonte estudada está apresentada na Figura 1, sendo que no desdobramento da interação entre os tratamentos obteve-se diferença significativa para as fontes de Zn A, C, D, E e H. Para apresentação das equações, coeficiente de determinação, doses de máximo acúmulo foliar de Zn e dos teores foliares de Zn nestas doses foi desenvolvida uma Tabela auxiliar (Tabela 4).

Observa-se na Figura 1 que os resultados obtidos para a fonte D proporcionaram uma parábola positiva, impossibilitando a determinação da dose de Zn que possibilita o maior acúmulo deste micronutriente nas plantas de milho. Já para as fontes A, C, E e H foi possível a determinação da dose ideal de Zn para a nutrição da planta, sendo que a fonte A proporcionou o maior teor deste micronutriente em comparação as demais (Tabela 4).

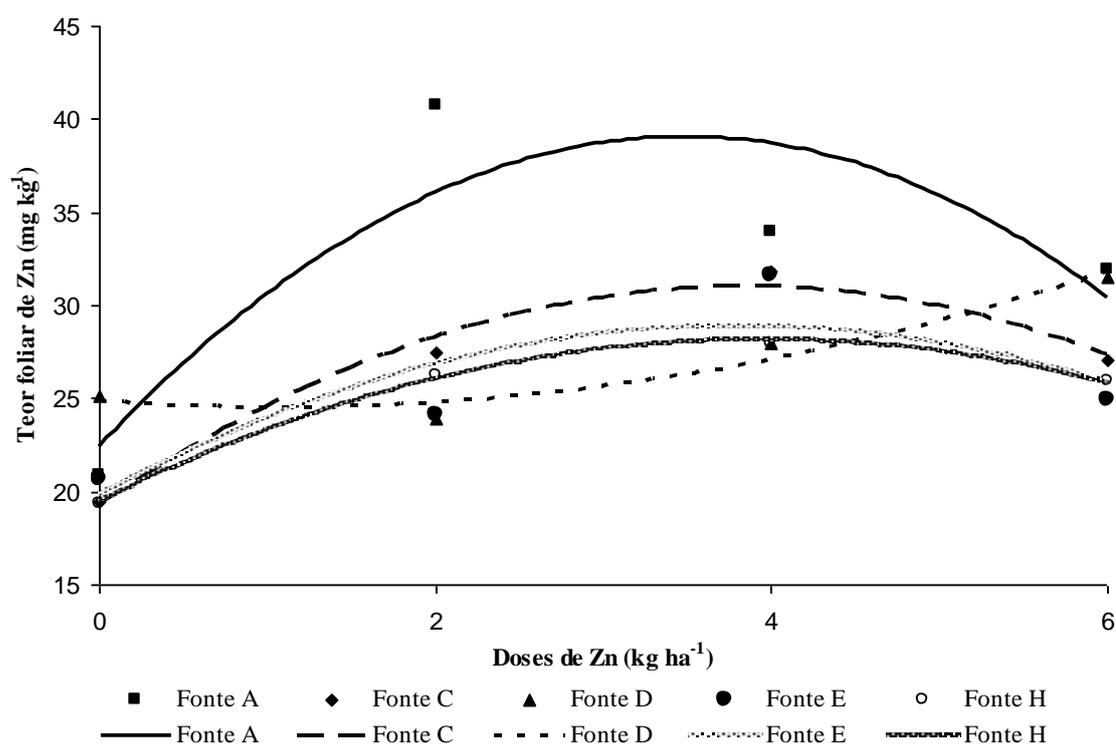


Figura 1: Teores foliares de Zn em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes e doses de Zn.

Tabela 4: Equações de regressão quadrática, coeficientes de determinação, dose de máximo acúmulo de Zn e teores foliares de Zn para a cultura do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn

Fontes de Zn	Equação de regressão quadrática	R ²	Dose de máximo acúmulo (kg ha ⁻¹)	Teor foliar de Zn (mg kg ⁻¹)
Fonte A	TZn = -1,371x ² + 9,554x + 22,419	75,80%	3,48	39,06
Fonte C	TZn = -0,794x ² + 6,114x + 19,240	98,14%	3,85	31,01
Fonte D	TZn = 0,301x ² - 0,651x + 24,889	95,12%	---	---
Fonte E	TZn = -0,627x ² + 4,779x + 19,811	73,20%	3,81	28,92
Fonte H	TZn = -0,559x ² + 4,416x + 19,459	99,79%	3,95	28,18

TZn (teor de Zn nas folhas de milho avaliadas no estágio R1), R² (coeficiente de determinação da equação quadrática).

De acordo com Rosolem e Franco (2000) os níveis ideais de Zn nas folhas de plantas de milho estão entre 20 e 70 mg kg⁻¹. Para Malavolta et al. (1997) e

Coelho e França (1995) o nível ideal de Zn nas folhas de milho situa-se entre 15 e 50 mg kg⁻¹ na época do florescimento da cultura. Neste experimento, todas as médias dos teores foliares de Zn encontradas situam-se dentro da faixa ideal, inclusive os valores máximos obtidos pela regressão quadrática, demonstrando que as fontes de Zn estudadas proporcionaram uma nutrição adequada para as plantas de milho, sem ocorrência de deficiência ou toxidez para estas.

O desdobramento para a análise de regressão da produtividade da cultura do milho em função das diferentes fontes e doses (interação) mostrou diferença significativa apenas para as fontes A, D, F e H (Figura 2).

Assim como para os teores foliares de Zn nas plantas, para a produtividade, a fonte D apresentou um comportamento contrário às demais, não sendo possível determinar a dose de Zn para a máxima produtividade, sendo que nas condições deste experimento, a dose de 6,0 kg ha⁻¹ desta fonte proporcionou uma produtividade de 8268,30 kg ha⁻¹ de grãos.

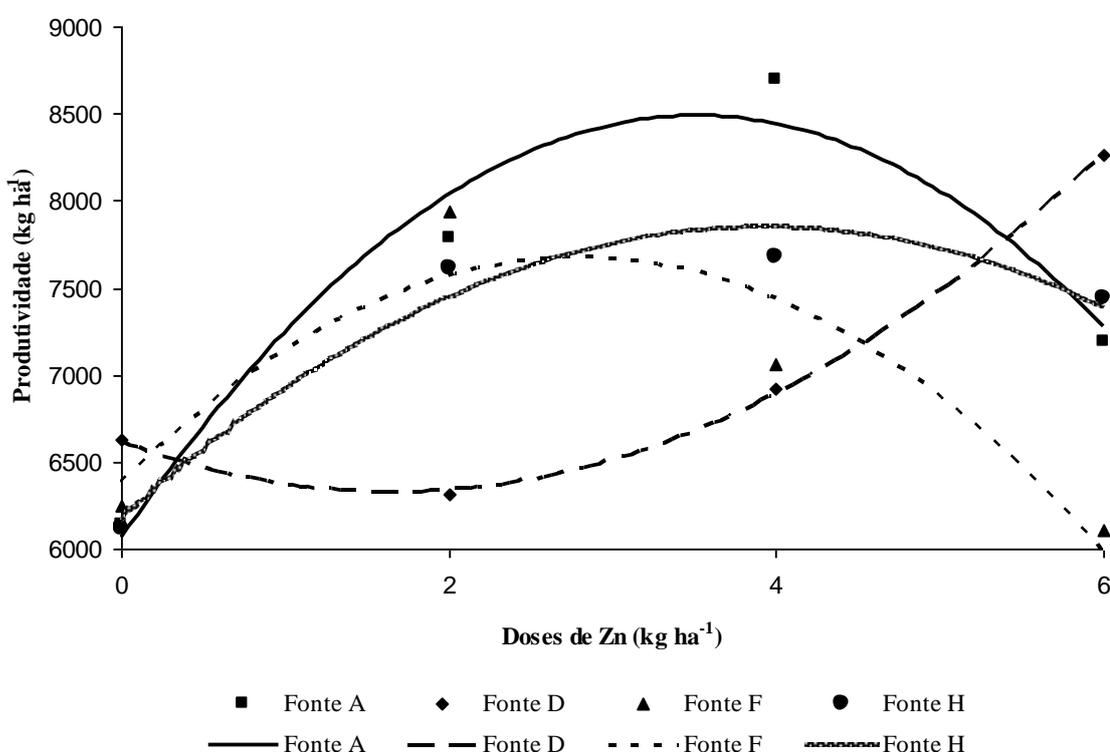


Figura 2: Produtividade de grãos de milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn.

Assim como para os teores foliares de Zn, para a produtividade também foi desenvolvida uma Tabela auxiliar (Tabela 5), onde são apresentadas as equações

de regressão, seus respectivos coeficientes de determinação, as doses de Zn que proporcionaram a maior produtividade econômica e a máxima produtividade econômica (MPE).

Tabela 5: Equações de regressão quadrática, coeficientes de determinação, dose de MPE e teores foliares de Zn para a a cultura do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn

Fontes de Zn	Equação de regressão quadrática	R ²	Dose de MPE (kg ha ⁻¹)	MPE (kg ha ⁻¹)
Fonte A	PROD = -196,35x ² + 1380,51x + 6061,17	95,80%	3,17	8487,71
Fonte D	PROD = 103,42x ² - 344,97x + 6615,00	99,91%	----	----
Fonte F	PROD = -165,73x ² + 928,54x + 6374,07	85,65%	2,52	7661,54
Fonte H	PROD = -108,12x ² + 851,49x + 6172,33	96,22%	3,55	7832,20

PROD (produtividade da cultura de milho), R² (coeficiente de determinação da equação quadrática).

O fato da fonte D apresentar os melhores resultados apenas nas doses maiores permite inferir duas hipóteses: esta fonte possui uma alta solubilidade, o que acarretaria em uma liberação rápida e/ou conseqüente perda por lixiviação, dificultando, desta forma, a absorção do nutriente em baixas doses. Porém, esta primeira teoria pode ser descartada devido ao fato do solo possuir alto teor de argila (558,50 g kg⁻¹) e uma alta capacidade de troca catiônica (CTC) (12,55 cmol_c dm⁻³). A segunda hipótese justifica o oposto, ou seja, a fonte possui uma baixa solubilidade, e só disponibilizará adequadamente o nutriente em doses elevadas, podendo ter sido fabricada a partir de matérias primas de qualidade inferior.

Existem vários estudos relacionados a doses e/ou fontes de Zn na literatura (FERREIRA et al., 2001; FURLANI et al., 2005; KORNDÖRFER et al., 1995; LANA et al., 2007), alguns obtiveram respostas na produtividade do milho, outros não. A comparação de dados é muito específica e complexa, pois, se tratando de micronutrientes, os valores iniciais no solo possuem grande importância, desta forma, em cada trabalho as respostas serão diferentes. Porém, com relação a fertilização do milho com Zn, Souza et al. (1998) afirmam que não há vantagem em se aplicar doses superiores a 5,0 kg ha⁻¹ de Zn nos solos brasileiros, corroborando os resultados deste experimento para as fontes com melhor desempenho, onde não justifica-se a adubação com doses superiores a 4,0 kg ha⁻¹ de Zn.

4. Conclusões

Dentre as fontes estudadas, a fonte de Zn da empresa 1 (fonte A) proporcionou uma maior disponibilização de Zn para as plantas de milho.

Nas condições deste experimento, e para a maioria dos solos da região Oeste do Paraná, justifica-se a adubação com Zn na dose máxima de 4,0 kg ha⁻¹.

5. Referências bibliográficas

ABREU, C. A. et al. Micronutrientes.. In: NOVAIS, Roberto Ferreira, et al.; (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 645-724

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Caracterização de fertilizantes simples contendo zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 121-126, 1993.

ALCARDE, J. C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2003.

AMRANI, M.; WESTFALL, D. G.; PETERSON, G. A. Influence of water solubility of granular zinc fertilizers on plant uptake and growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 12, p. 1815-1827, 1999

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). 2009. Principais indicadores do setor de fertilizantes. ANDA. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatisticas_2009.pdf>. Acesso 12 nov 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC, 2005. 3000 p.

BRASIL - Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/SNAD/CLAN, 1992. 365 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Decreto 86955. Brasília, DF, 1982. 88 p.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja doutor do seu milho**: nutrição e adubação. Piracicaba: Potafos, 1995. 25 p. (Arquivo do Agrônomo 2).

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica 78).

COUTINHO, E. L. M. et al. Resposta do milho doce à adubação com zinco. **Revista Ecosystema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, n. 2, p. 181-186, 2001.

DECARO, S. T. et al. Efeitos de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 58, n. 1, 25-36, 1983.

DOMINGUES, M. R. et al. Doses de enxofre e de zinco na cultura do milho em dois sistemas de cultivo na recuperação de uma pastagem degradada. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 147-151, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 131-138, 2001.

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

FIGUEIREDO, F. C. et al. Eficiência da adubação com NPK na produção de cafezais adensados na região Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 135-142, 2006.

FURLANI, A. M. C. et al. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.

GONÇALVES JR., A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n.3, p. 660-666, 2010.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 5, p. 555-560, 1995.

LANA, A. M. Q. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de micronutrientes na cultura do milho. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 1, p. 76-81, 2007.

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

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. (Circular técnica 76).

PRADO, R. M. et al. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1010. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, 2008.

RAIJ, Bernard Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 1981, 195 p.

RITCHIE, Steven W.; HANWAY, John J; BENSON, Garren O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20 p. (Arquivo do Agrônomo 15).

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de Zn e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, 807-814, 2000.

SOUZA, E. C. A. et al. Respostas do milho a adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 10, p. 1031-1036, 1998.

VALE, F.; ALCARDE, J. C. Extratores para avaliar a disponibilidade do zinco em fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 655-662, 2002.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999. 941 p.

CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE DOS METAIS PESADOS TÓXICOS (Cd, Pb e Cr) NA AGRICULTURA PROVENIENTES DE FERTILIZANTES COMERCIAIS

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a disponibilização dos metais pesados tóxicos cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr) para o solo e plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes e doses de zinco (Zn) em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVe). Desta forma, foi avaliado o acúmulo dos metais Cd, Pb e Cr no tecido foliar e grãos das plantas de milho e a concentração destes nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de solo após a fertilização com oito fontes e quatro doses de Zn. Não houve acúmulo de Cd, Pb e Cr nos grão de milho, e de Cd e Cr no tecido foliar das plantas, entretanto ocorreu acúmulo de Pb no tecido foliar, demonstrando a sua disponibilização por meio das fontes de Zn e consequente absorção pelas plantas. Para o solo, verificou-se que as fontes disponibilizaram Cd, Pb e Cr, com incremento proporcional ao aumento das doses de Zn. Concluiu-se que, nas condições do experimento, a fertilização com Zn proporcionou o aumento da quantidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr no solo do experimento, destacando-se ainda a importância de maiores estudos relacionados com a aplicação de fertilizantes minerais para suprimento de micronutrientes e a sua disponibilização de metais pesados tóxicos.

Palavras chave: contaminação ambiental, micronutriente, plantas, solo.

Abstract

AVAILABILITY OF TOXIC HEAVY METALS CADMIUM, LEAD AND CHROMIUM FOR SOIL AND CORN PLANTS FERTILIZED WITH DIFFERENT SOURCES AND DOSES OF ZINC

The objective of this study was to evaluate the availability of toxic heavy metals cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) for the soil and corn plants fertilized with different sources and levels of zinc (Zn) in an Rhodic Eutrudox. For this purpose, was evaluated the accumulation of Cd, Pb and Cr metals in the leaves and grains of corn and their concentration in the layers 0 to 20 and 20 to 40 cm of soil after fertilization with eight sources and four doses of Zn. There was no accumulation of Cd, Pb and Cr in corn grain, and Cd and Cr in the plants leaf tissue, however there was Pb accumulation in the leaf tissue, showing their availability through the sources of Zn and consequent plant uptake. For the soil, it was found that the sources made available Cd, Pb and Cr, with proportional increase of the Zn doses. It was concluded, that under the experimental conditions, the fertilization with Zn provided increase in the amount of toxic heavy metals Cd, Pb and Cr in the experimental soil, also highlighting, the importance of further studies related to the mineral fertilizers application to supply micronutrients and their release of toxic heavy metals.

Key-words: environmental contamination, micronutrient, plant, soil.

1. Introdução

A deficiência e conseqüente utilização de micronutrientes ocorrem cada vez com maior frequência nos cultivos agrícolas em todo o planeta. Atualmente, pode-se considerar que os principais fatores responsáveis pela deficiência destes elementos nos solos agricultáveis são a baixa fertilidade natural destes, a alta remoção de nutrientes pelas colheitas e o uso crescente, e frequentemente incorreto, de calcário e adubos fosfatados, acarretando em uma menor solubilidade dos micronutrientes (ACCIOLY et al., 2000).

Assim, a alta necessidade de fertilização acarreta em um crescente consumo de fertilizantes a cada ano agrícola que se passa em todo o globo terrestre. Estudos demonstram que na década de 60 utilizavam-se cerca de 46 milhões de toneladas de fertilizantes e, que, em 2030, serão necessárias 157,3 milhões de toneladas destes para suprimento dos cultivos agropecuários em todo o planeta (AYOUB, 1999; DAHER, 2008). Ainda, de acordo com Yamada (2004), o consumo de micronutrientes no Brasil teve um incremento de 13,3 vezes no período de 1990 a 2003.

Esta crescente e alta necessidade de utilização de fertilizantes causa preocupação do ponto de vista ambiental, ao se considerar que, os fertilizantes utilizados para suprir micronutrientes possuem uma composição, que além dos elementos desejáveis, também, em geral, contém metais pesados tóxicos (GONÇALVES JR. et al., 2000).

Os “metais pesados” ou “elementos traço” são elementos químicos que possuem peso específico maior que 5 g cm^{-3} ou que possuem número atômico maior que 20. Estes elementos ocorrem naturalmente nos solos e alguns, como o cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e cobalto (Co) desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como o cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), arsênio (As), prata (Ag) e selênio (Se), ocasionam efeitos prejudiciais sobre vários componentes da biosfera (ALLOWAY, 1995; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Atualmente, visando a diminuição de custos na produção de fertilizantes algumas empresas formuladoras destes produtos estão utilizando como fonte de nutrientes resíduos industriais, que muitas vezes, mostram-se perigosos, pois, além dos micronutrientes desejáveis, estas fontes podem possuir elementos tóxicos,

geralmente os metais Cd, Pb e Cr (GONÇALVES Jr. et al., 2000; RODELLA, 2005; NAVA, 2008).

Não obstante, existem ainda indícios de que algumas destas formuladoras de micronutrientes estão importando lixo industrial de países desenvolvidos e utilizando-os como matéria-prima na produção de seus fertilizantes (GONÇALVES Jr.; PESSOA, 2002).

De modo a evitar o comércio ilegal desses resíduos perigosos, em 1988 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceu os mecanismos de controle dos rejeitos tóxicos, a chamada Convenção de Basileia, que entrou em vigor em 1992 e, oito anos depois, contava com 136 países membros, inclusive o Brasil. Entretanto, a realidade é outra, pois cálculos do PNUMA avaliam que cerca de 400 milhões de toneladas de resíduos perigosos são produzidos no mundo todos os anos, sendo que, cerca de 10% desse total cruza fronteiras internacionais (MENCONI, 2004).

Baseado nas afirmações expostas realizou-se um trabalho objetivando avaliar a disponibilização dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr para o solo e plantas de milho (*Zea mays* L.) fertilizadas com diferentes fontes e doses do micronutriente Zn em Latossolo Vermelho eutrófico em experimento a campo.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Mercedes-PR, cujas coordenadas são 24° 27' S e 54° 09' W, com altitude média de 415 m. O clima do local é subtropical (Cfa), segundo a classificação de Köppen, sem estação seca definida e apresentando verões quentes com tendência de concentração das chuvas nesta época. A temperatura média anual do município é de 21 °C, com mínima de 14 °C e máxima de 28 °C.

Todas as análises deste experimento foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste.

O solo do local do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) de textura argilosa (558,50 g kg⁻¹ de argila, 278,61 g kg⁻¹ de silte e 162,89 g kg⁻¹ de areia).

O delineamento experimental utilizado neste experimento foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 8 x 4, com três repetições, sendo os fatores constituídos por oito diferentes fontes de Zn e quatro diferentes doses de Zn (0, 2, 4 e 6 kg ha⁻¹), totalizando 32 tratamentos e 96 parcelas experimentais.

As oito fontes de Zn utilizadas neste experimento apresentavam-se na forma de grânulos provenientes de sete empresas, produzidas a partir de duas matérias primas, sendo elas o óxido de Zn (ZnO) e as chamadas fritas (FTE), que são micronutrientes fundidos com silicatos a altas temperaturas. Assim, as fontes foram classificadas da seguinte maneira:

- ✓ *Fonte A* – granulado de ZnO com 15% de Zn da empresa 1;
- ✓ *Fonte B* – granulado de ZnO com 10% de Zn da empresa 2;
- ✓ *Fonte C* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 3;
- ✓ *Fonte D* – granulado de FTE com 15% de Zn de empresa 4;
- ✓ *Fonte E* – granulado de FTE com 10% de Zn da empresa 5;
- ✓ *Fonte F* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 6;
- ✓ *Fonte G* – granulado de ZnO com 2% de Zn da empresa 1, porém de formulação diferente;
- ✓ *Fonte H* – granulado de FTE com 15% de Zn da empresa 7.

Assim, neste trabalho foram variadas apenas as doses de Zn, sendo que a fertilização com macronutrientes foi idêntica em todos os tratamentos, sendo aplicada no momento da semeadura, constituída dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Como fonte dos macronutrientes foi utilizado sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] para N, superfosfato simples (SS) para P e cloreto de potássio (KCl) para K.

A Tabela 1 apresenta as concentrações dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm do solo utilizado no experimento, das fontes de Zn e do formulado pronto do fertilizante N:P₂O₅:K₂O. Para tanto, realizou-se digestão nitro-perclórica (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005), seguida de técnicas de espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA-chama) (WELZ; SPERLING, 1999).

Tabela 1: Concentrações (médias de três determinações) dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr do solo utilizado no experimento nas profundidades de 0 a 20 e 0 a 40 cm, das oito fontes de Zn e do formulado N:P₂O₅:K₂O

Amostra	Cd	Pb	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Solo 0-20 cm	1,03	25,32	10,29
Solo 20-40 cm	1,22	34,83	10,97
Fonte A	178,89	2746,82	309,87
Fonte B	245,06	2450,57	20,28
Fonte C	123,37	1362,55	33,14
Fonte D	203,82	9872,82	1304,42
Fonte E	237,19	2011,39	33,21
Fonte F	115,08	1380,96	27,62
Fonte G	6,54	233,47	48,56
Fonte H	211,74	11039,46	1347,45
N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	3,67	32,12	14,68

Cada parcela de avaliação do experimento foi constituída de cinco linhas de semeadura, com espaçamento de 0,9 m e comprimento de 4,0 m. Como parcela útil foram utilizadas as três linhas centrais, desconsiderando-se 1,0 m das extremidades como bordadura, proporcionando uma área útil de 5,4 m².

A área em que foi realizado este experimento era manejada no sistema de plantio convencional, sem a prática de revolvimento de solo, porém cultivada por dois anos com sucessão soja-milho.

Com 25 dias após a emergência (DAE) foi realizada a adubação de cobertura para o nutriente N, sendo aplicados 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (COELHO, 2006).

Para determinação da fitodisponibilidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr para as plantas de milho foram realizadas determinações dos teores destes elementos no tecido foliar e nos grãos das plantas.

Para tanto, realizou-se a coleta de tecido foliar no momento do aparecimento da inflorescência feminina (estádio R1) (RITCHIE et al., 2003), atingido com 61 DAE. Assim, foram coletadas folhas da parte oposta e abaixo da espiga superior de quatro plantas escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela, sendo estas colocadas em sacos limpos e devidamente identificados. No laboratório as folhas foram lavadas com detergente e água destilada e deionizada, após isso retirou-se a nervura central das folhas e estas foram desidratadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 h. Em seguida as folhas foram trituradas e armazenadas em sacos devidamente limpos e identificados para posterior análise.

Os grãos de milho foram coletados com 119 DAE, quando o experimento foi finalizado, onde realizou-se a coleta das espigas de toda a parcela útil, e após desidratados, os grãos foram triturados e armazenados em sacos de polietileno devidamente limpos e identificados para posterior análise.

Ainda, após a finalização do experimento, foi realizada a coleta de solo para estudo da disponibilização dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr pelas diferentes fontes de Zn. Desta forma, com o auxílio de um trado tipo holandês, dentro de cada parcela experimental, foi realizada a coleta de três amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, que ao serem misturas formaram uma única amostra composta. Para a camada de 20 a 40 cm foi realizado o mesmo procedimento.

Após coletadas as amostras de solo foram encaminhadas ao laboratório e secas em estufa de circulação forçada de ar a 40 °C por 48 h. Em seguida, estas foram trituradas e armazenadas em sacos de polietileno devidamente limpos e identificados para posterior análise.

As análises químicas de tecido foliar, dos grãos de milho e das duas camadas de solo avaliadas neste experimento foram realizadas de acordo com o mesmo procedimento descrito anteriormente para determinação dos metais Cd, Pb e Cr no solo antes da instalação do experimento.

Para análise estatística dos resultados obtidos neste trabalho foi utilizado o *software* SISVAR (FERREIRA, 2003). Os dados foram submetidos à análise de variância na significância de 5%. No caso de significância entre as fontes foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade e, para as doses análise de regressão.

3. Resultados e discussão

Ao se comparar os resultados dos metais pesados tóxicos Cd e Pb obtidos na análise dos fertilizantes com os valores de referência estipulados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio da Instrução Normativa nº 27 de 2006 (BRASIL, 2006) observa-se que apenas a fonte H apresenta valores superiores de Pb em seu fertilizante (11039,46 mg kg⁻¹), sendo que os valores máximos permitidos de Pb são 10000,00 mg kg⁻¹ e de Cd 450,00 mg kg⁻¹.

Nas análises químicas realizadas neste trabalho não foram detectados teores de Cd e Cr no tecido foliar das plantas e de Cd, Pb e Cr nos grãos de milho. Porém, deve-se destacar que estes resultados não garantem que não houve acúmulo destes metais nas plantas avaliadas, podendo estar abaixo do limite de detecção do método utilizado (EAA-chama).

A não detecção de concentrações destes metais pode ser considerada normal, uma vez que as plantas podem absorver quantidades significativas de metais pesados como o Cd, Pb e Cr, mas esses metais, em geral, são pouco translocados para grãos de cereais (MORTVEDT, 2001; MALAVOLTA, 2006). Deve-se destacar que esta dinâmica geralmente ocorre em solos com baixas concentrações de metais pesados, sendo que em solos com altas concentrações as plantas podem acumular elementos tóxicos em seus grãos. Dudka et al. (1994) estudaram o desenvolvimento do trigo em solos com altas concentrações de Cd e observaram que este metal pesado tóxico não se mostrou prejudicial as plantas, porém, os grãos produzidos por estas apresentaram-se em níveis considerados tóxicos para animais e seres humanos.

Na Tabela 2 é apresentada a análise de variância para os resultados dos teores foliares de Pb, e das concentrações de Cd, Pb e Cr nas duas profundidades de solos amostradas (0 a 20 e 20 a 40 cm). Para uma melhor homogeneização dos dados foi realizada a transformação destes para as concentrações foliares de Pb, de Cd e Cr na camada de 0 a 20 cm de solo e de Cr para a camada de 20 a 40 cm de solo. Para tanto, a transformação utilizada destes dados foi a de raiz quadrada do somatório do valor do resultado com 0,5 ($\sqrt{Y + 0,5}$).

Tabela 2: Análise de variância para os resultados das concentrações de Pb no tecido foliar das plantas de milho e de Cd, Pb e Cr nas camadas de solo de 0 a 20 e 20 a 40 cm

F. V.	G. L.	Quadrados médios						
		Pb foliar	Cd 0-20 cm	Pb 0-20 cm	Cr 0-20 cm	Cd 20-40 cm	Pb 20-40 cm	Cr 20-40 cm
Bloco	2	0,13	1,68	47,43	1,31	0,06	16,82	0,66
Doses (A)	3	2,47**	0,42**	189,36**	4,70**	10,86**	1203,39**	1,51 ^{NS}
Fontes (B)	7	1,21**	0,02 ^{NS}	22,65 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,08 ^{NS}	16,55 ^{NS}	1,06 ^{NS}
A x B	21	0,25**	0,04 ^{NS}	42,07*	0,17 ^{NS}	0,09 ^{NS}	14,50 ^{NS}	0,61 ^{NS}
Resíduo	62	0,05	0,04	21,42	0,27	0,07	11,65	1,08
C.V. (%)	--	16,91	12,90	13,48	13,06	11,93	7,42	22,31

F.V. (fonte de variação), G.L. (graus de liberdade), ** - significativo a 1% pelo teste T de *Student*, * - significativo a 5% pelo teste T de *student*, NS – não significativo a 5% pelo teste T de *student*, C.V. (coeficiente de variação).

Observa-se na Tabela 2 que para as concentrações foliares de Pb ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) para as fontes e doses de Zn utilizadas, bem como na interação entre estes dois fatores. Já para as concentrações de Cd e Cr, na camada de solo de 0 a 20 cm, e para o Cd e Pb, na camada de solo de 20 a 40 cm, observa-se diferença significativa ($P < 0,05$) apenas para as doses de Zn utilizadas. Para as concentrações de Pb na camada de 0 a 20 cm observa-se efeito significativo ($P < 0,05$) para as doses de Zn utilizadas e na interação entre fontes e doses deste micronutriente. Finalmente, para os teores de Cr na camada de 20 a 40 cm pode ser observado que não ocorreu diferença significativa ($P > 0,05$) para nenhum dos fatores avaliados.

As médias das concentrações de Pb no tecido foliar das plantas de milho estão apresentadas na Tabela 3, onde pode-se observar que as fontes de Zn D e H proporcionaram maiores teores ($P < 0,05$) deste metal pesado tóxico no tecido foliar das plantas com relação as outras fontes. Estes resultados podem ser explicados pelas concentrações de Pb nestas fontes (Tabela 1), que podem ser considerados muito superiores aos das outras fontes.

Tabela 3: Concentrações foliares de Pb em plantas de milho fertilizadas com diferentes fontes de Zn

Fontes de Zn	Concentração foliar de Pb (mg kg ⁻¹)
Fonte A	1,50 ^b
Fonte B	1,50 ^b
Fonte C	1,50 ^b
Fonte D	3,92 ^a
Fonte E	1,50 ^b
Fonte F	1,50 ^b
Fonte G	1,50 ^b
Fonte H	4,17 ^a
D.M.S.	0,93

Médias seguidas de letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; D.M.S. (diferença mínima significativa).

Ainda com relação às concentrações foliares de Pb, obteve-se, no desdobramento da interação entre doses e fontes de Zn, efeito linear ($P < 0,05$) apenas para as fontes D e H (Figura 1). Pode-se constatar que não ocorreu a saturação das plantas de milho com Pb, demonstrando que as plantas podem acumular maiores quantidades deste metal, e que as fontes de Zn D e H proporcionaram uma efetiva disponibilização de Pb para a cultura.

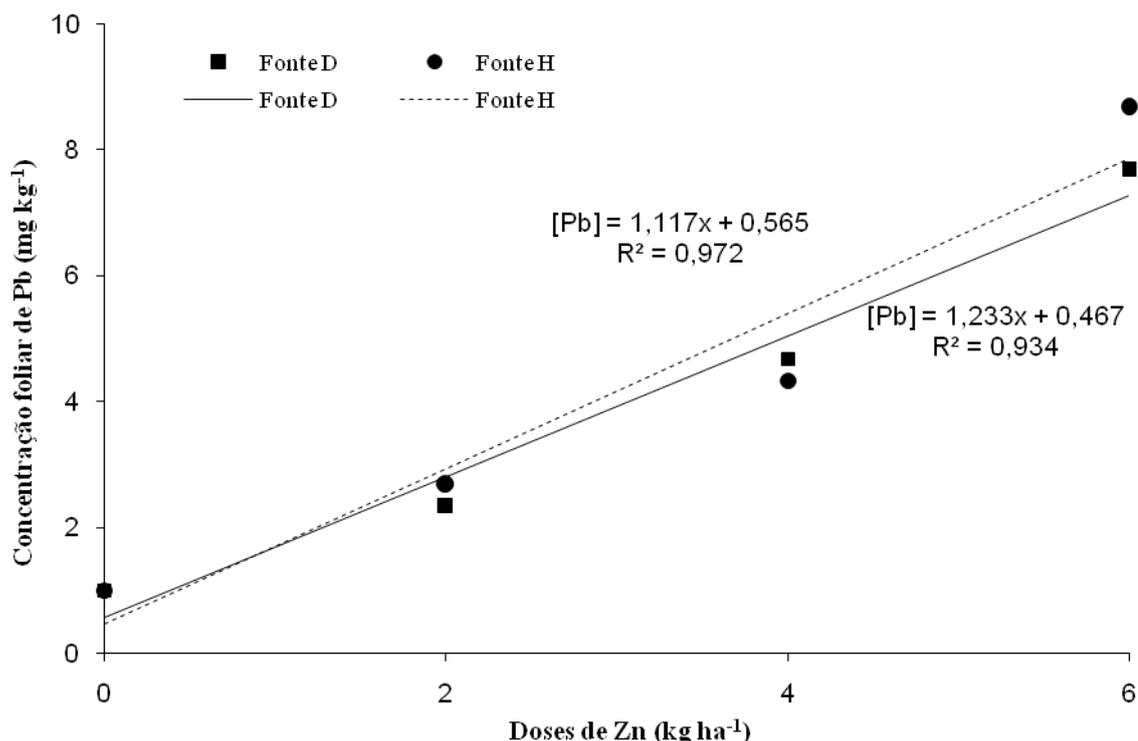


Figura 1: Concentração foliar de Pb em função das doses de Zn D e H utilizadas no experimento.

De acordo com Kabatta-Pendias e Pendias (2001) os teores toleráveis de Pb em cultivos agrícolas encontram-se entre 0,5 e 10 mg kg⁻¹, sendo que neste experimento a maior dose de Zn utilizada (6,0 kg ha⁻¹) disponibilizou, respectivamente, 7,87 e 7,27 mg kg⁻¹ de Pb para as fontes D e H. Assim, constata-se que não ocorreram concentrações críticas de Pb nas plantas, porém estes valores podem ser considerados como altos, pois ocorreram com apenas uma fertilização com estas fontes, e, para o caso de fertilizações sucessivas poderá ocorrer uma disponibilização maior de Pb para as plantas, e os níveis deste metal pesado tóxico podem se tornar superiores ao seu limite crítico em plantas. Isto evidencia que são necessários maiores estudos relacionados à fertilização mineral com micronutrientes e contaminação por metais pesados tóxicos.

Merece destaque ainda o fato de que são poucos os estudos relacionados com a remobilização de metais pesados tóxicos em plantas superiores e, de acordo com Dordas et al. (2001), enquanto a absorção, acúmulo e transporte de metais pesados tóxicos dentro das plantas forem reconhecidos apenas como uma estratégia de biorremediação, as informações sobre a remobilização de metais pesados tóxicos continuarão sendo limitadas.

Para os teores do metal pesado tóxico Cd, nas duas camadas de solo avaliadas, observa-se um aumento linear crescente ($P < 0,05$) deste elemento em função das doses de Zn utilizadas (Figuras 2 e 3). Sendo que a maior dose de Zn utilizada neste experimento ($6,0 \text{ kg ha}^{-1}$) disponibilizou para o solo, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de solo uma média de 2,27 e de 2,76 mg dm^{-3} de Cd, respectivamente.

De acordo com a Resolução 420 no Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2009), o valor de prevenção (VP) de Cd em solos é acima de $1,3 \text{ mg dm}^{-3}$ e o valor de investigação (VI) para áreas agrícolas é superior a 3 mg dm^{-3} . Neste trabalho as médias de Cd em ambas camadas de solo obtidas com a dose máxima de Zn o classifica como VP, que, segundo a resolução supracitada é a concentração de valor limite para que o solo seja capaz de sustentar as suas funções principais.

Deve-se ressaltar que os valores estabelecidos pelo CONAMA nesta Resolução são obtidos com base nos métodos 3050 e 3051 da Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos – USEPA, porém, estes métodos utilizam a digestão total das amostras com ácidos fortes, o mesmo procedimento executado neste trabalho, permitindo, assim, a comparação dos resultados (RAURET, 1998).

Merece destaque o fato de que a Resolução 420 do CONAMA apresenta vários equívocos e distorções na sua elaboração. Um dos principais questionamentos levantados é sobre os valores máximos de metais estabelecidos e a sua ocorrência nos solos, onde, no artigo 15, associado ao artigo 9, são estabelecidos estes limites de introdução de metais, possibilitando desta forma, o uso de fertilizantes e corretivos contaminados na agropecuária até que se atinjam estes valores, e conseqüentemente, permitindo a entrada ou disposição no solo de metais pesados tóxicos até o limiar da degradação da qualidade ambiental.

Comparando-se ainda os valores médios de Cd obtidos no solo deste trabalho com os valores máximos comumente encontrados em solos dos Estados Unidos ($2,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e Rússia ($1,14 \text{ mg dm}^{-3}$), de acordo com Kabatta-Pendias e Pendias (2001), pode-se inferir que as fontes de Zn utilizadas neste experimento disponibilizaram Cd para o solo em nível de contaminação.

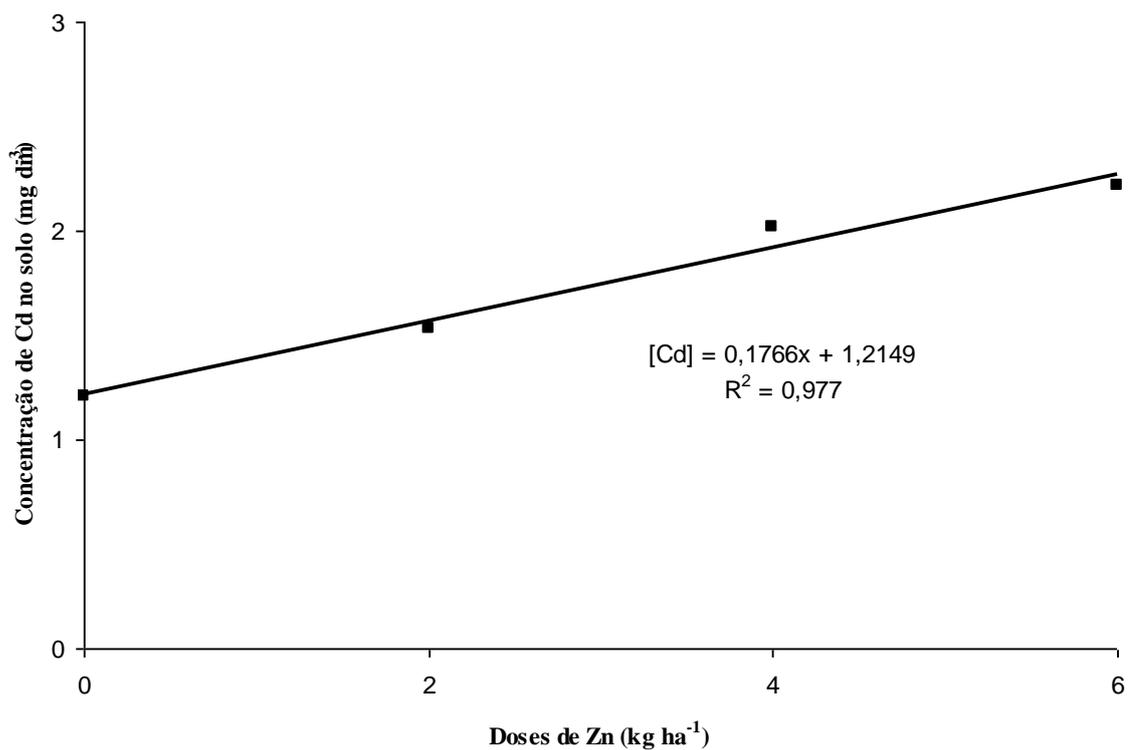


Figura 2: Concentração de Cd na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.

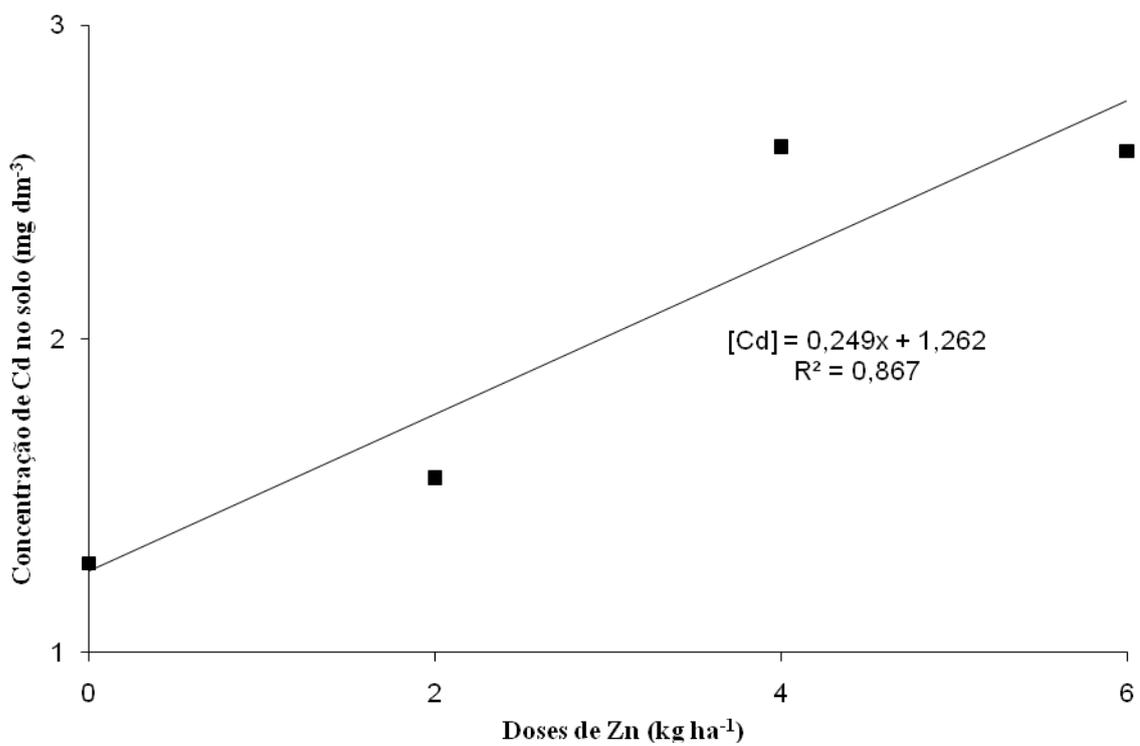


Figura 3: Concentração de Cd na camada de 20 a 40 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.

Com relação as concentrações de Pb no solo após a execução do experimento, para a camada de 0 a 20 cm, no desdobramento da interação significativa, obteve-se, assim como para o Pb foliar, efeito apenas para as fontes D e H. Logo foi realizada a regressão para estas fontes, onde foi constatado que o modelo linear é o que melhor explica a distribuição dos dados (Figura 4). Já para a camada de 20 a 40 cm de solo, a regressão quadrática proporcionou o melhor ajuste dos valores deste metal (Figura 5).

Novamente, para ambas camadas de solo, conforme as doses de Zn aumentaram, ocorreu incremento nas concentrações de Pb no solo, onde obteve-se, respectivamente, 46,54 e 44,22 mg kg⁻¹ de Pb, para as fontes D e H, na camada de 0 a 20 cm, e 51,48 mg kg⁻¹ de Pb para as médias de todas as fontes de Zn na camada de 20 a 40 cm de solo.

Comparando os teores de Pb obtidos no solo após o experimento com os valores estabelecidos pela resolução nº 420 do CONAMA (BRASIL, 2009), observa-se que estes encontram-se abaixo do limite estipulado para a categoria de VP (72 mg kg⁻¹ de Pb).

Devido à falta de dados relacionados a valores de referência de qualidade (VRQ) para o Estado do Paraná utilizou-se os fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB do Estado de São Paulo (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005), que estipula o valor de 17 mg kg⁻¹ de Pb como nível máximo, demonstrando que o solo do experimento apresenta Pb em concentração acima da determinada como qualidade natural do solo. Merece destaque ainda o valor de Pb no solo na dose de 0 kg ha⁻¹ de Zn, que corresponde ao teor de Pb no solo do experimento sem a aplicação de Zn, sendo 27,56 e 36,53 mg kg⁻¹ para as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente, demonstrando que o teor o solo já possuía um alto teor deste metal pesado tóxico, provavelmente ocasionado pela fertilização em cultivos anteriores a este trabalho.

Os teores de Pb em ambas camadas de solo estudadas neste trabalho encontram-se acima da média dos solos agricultáveis dos Estados Unidos (10,6 mg kg⁻¹), Polônia (20,9 mg kg⁻¹) e mundial (25 mg kg⁻¹) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

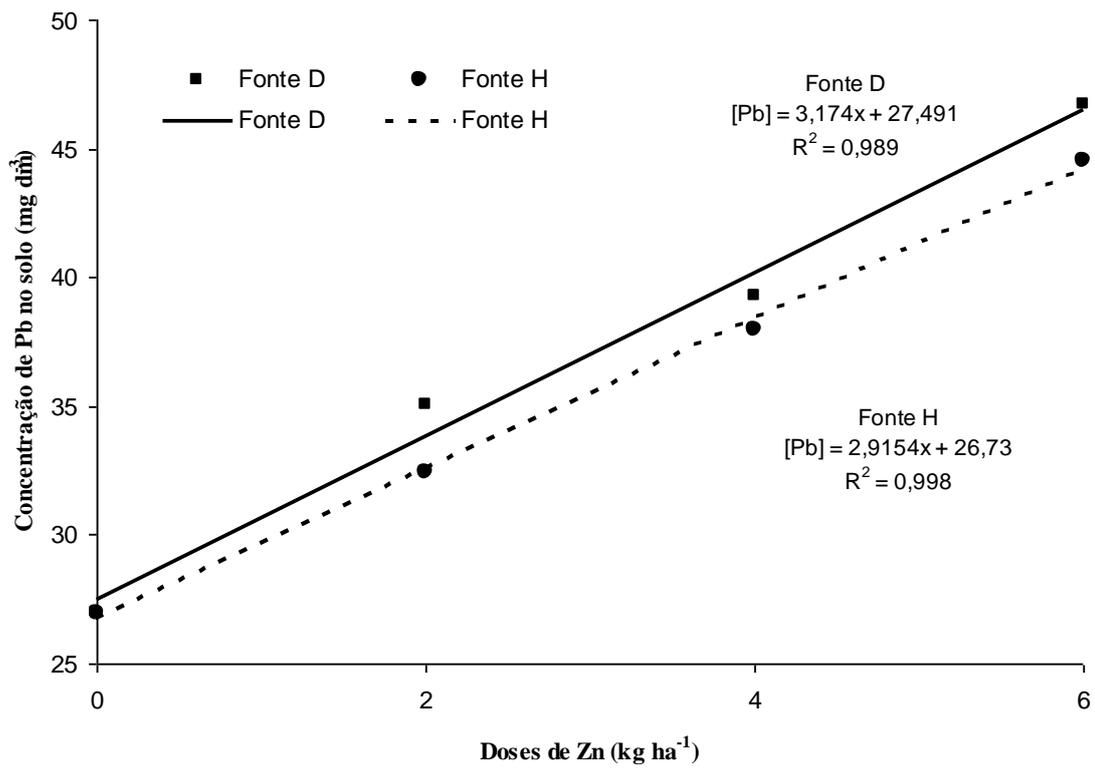


Figura 4: Concentração de Pb na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn D e H utilizadas no experimento.

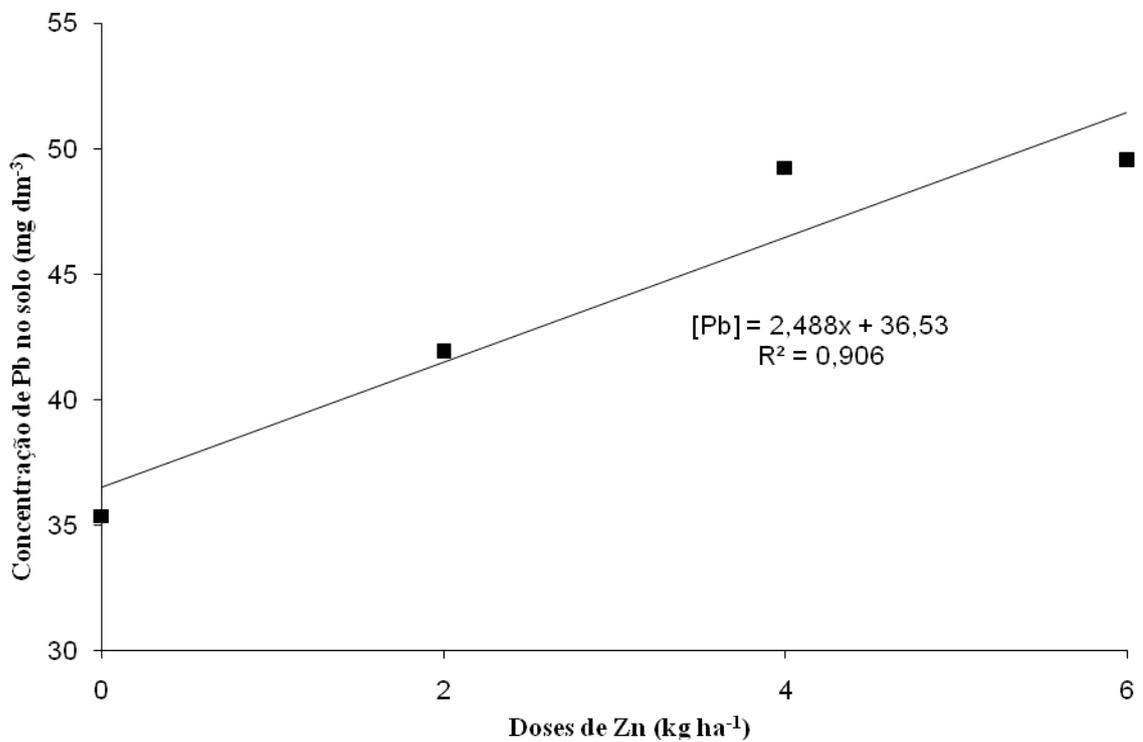


Figura 5: Concentração de Pb na camada de 20 a 40 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.

Para o metal pesado tóxico Cr foi realizada regressão apenas para a camada de 0 a 20 cm de solo (Tabela 2), onde obteve-se um efeito quadrático, que evidencia, assim como para os outros metais estudados neste trabalho, o aumento dos teores deste metal pesado tóxico no solo a partir do aumento das doses de Zn (Figura 6).

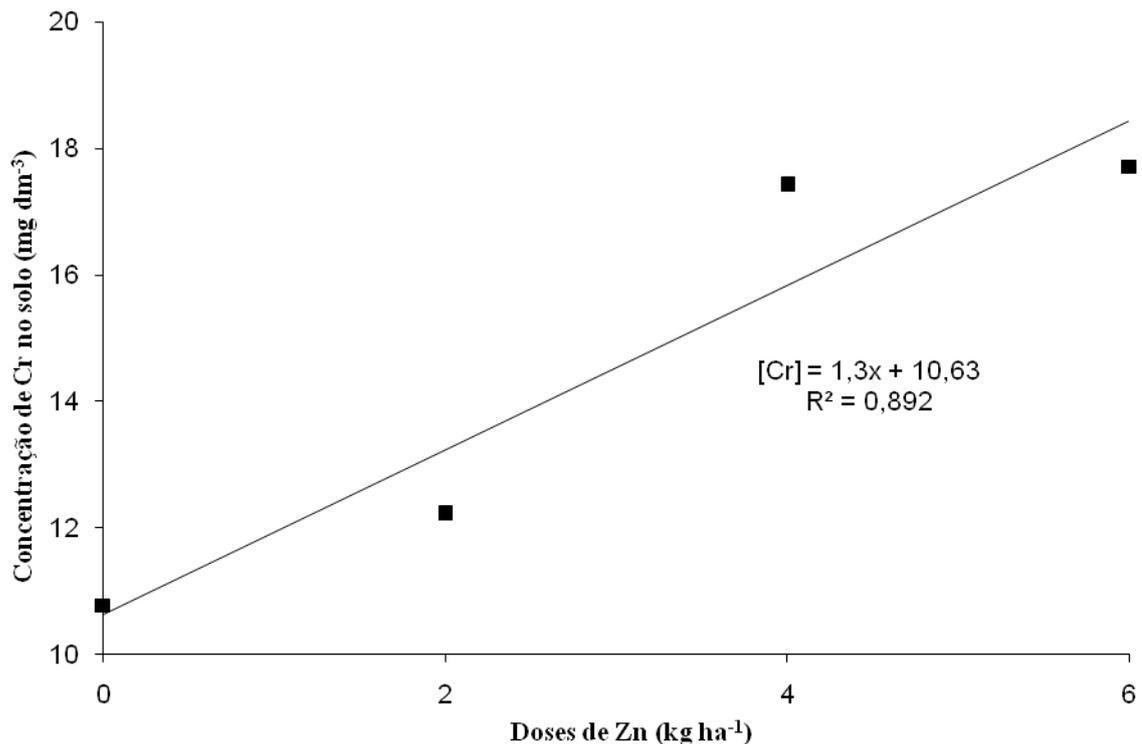


Figura 6: Concentração de Cr na camada de 0 a 20 cm de solo em função das doses de Zn utilizadas no experimento.

Por meio da equação de regressão obtida constata-se que a maior dose de Zn utilizada ($6,0 \text{ kg ha}^{-1}$) disponibilizou uma concentração de $18,43 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cr, considerada inferior ao VRQ estabelecido pela CETESB (40 mg kg^{-1}) (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009), podendo-se considerar que o solo não possui contaminação com este metal pesado tóxico.

Em um apanhado geral dos resultados obtidos neste trabalho fica evidenciado que as fontes de Zn utilizadas neste experimento possuem quantidade significativa dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr, e com seu uso contínuo na agricultura poderá ocorrer contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas,

plantas, animais e seres humanos, acarretando em severos danos ao meio ambiente.

Deve-se evidenciar que em solos argilosos a mobilidade de metais pesados é considerada baixa (BERTONCINI; MATTIAZO, 1999; OLIVEIRA; MATTIAZO, 2001; PIERANGELI et al., 2004; PIERANGELI et al., 2007), entretanto, apesar deste fenômeno diminuir, de certa forma, a contaminação de águas subterrâneas e outros componentes ambientais, o acúmulo destes elementos tóxicos no solo poderá proporcionar a sua entrada na cadeia alimentar pela absorção por meio das plantas, um problema difícil de ser constatado, uma vez que os efeitos prejudiciais causados por eles ocorrem apenas a longo prazo, aumentando ainda mais a periculosidade do uso de materiais contaminados nas atividades agropecuárias.

4. Conclusões

Não houve acúmulo dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr nos grãos de milho por meio da aplicação das fontes de Zn.

Em apenas uma aplicação, as fontes de Zn D e H disponibilizaram Pb para as plantas de milho em concentração considerada alta.

As fontes de Zn utilizadas neste experimento proporcionaram o aumento das concentrações dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr para o solo do experimento.

5. Referências bibliográficas

ACCIOLY, A. M. A. et al. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 58, n. 7, 1483-1491, 2000.

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC, 2005. 3000 p.

AYOUB, A. T. Fertilizers and the environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 55, n. 2, 1170121, 1999.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n.5, p. 737-744, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 27. Brasília, DF, 2006, 3 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução 420. Brasília, DF, 2009, 16 p.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica 78).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de diretoria 195-2005-E. São Paulo, 2005.

DAHER, E. Uma crise de demanda. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, v. 5, n. 5, 27-27, 2008.

DORDAS, C. et al. Remobilização de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, Manoel Evaristo et al. (Org.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 43-69.

DUDKA, S.; PIOTROWSKA, M.; CHLOPECKA, A. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal content of the plants. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 76, n. 2, p. 333-341, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

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

GONÇALVES Jr., A. C. et al. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, 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, A. C.; PESSOA, A. C. S. Fitodisponibilidade de Cádmio, Chumbo e Cromo, em soja cultivada em argilossolo vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 3, n. 1-2, p. 19-23, 2002.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3 ed. London: CRC Press, 2001. 403 p.

MALAVOLTA, E. Elementos benéficos e tóxicos. In: MALAVOLTA, Eurípedes (Org.). **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 418-511.

MENCONI, D. **Lixo tóxico importado para enriquecer fertilizantes pode contaminar o solo, a água e toda a lavoura nacional**. Revista Istoé. 2004. Disponível em: <http://www.istoe.com.br/reportagens/10653_AMEACA+INVISIVEL?pathImagem=&path=&actualArea=internalPage>. Acesso em: 10 jan 2011.

MORTVEDT, J. J. Adubos e adubação: Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes - presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, Manoel Evaristo et al. (Org.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 237-251.

NAVA, I. A. **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**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

OLIVEIRA, F. C. ; MATTIAZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 807, 812, 2001.

PIERANGELI, M. A. P. et al. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 377-384, 2004.

PIERANGELI, M. A. P. et al. Comportamento sortivo, individual e competitivo, de metais pesados em Latossolos com mineralogia contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 4, p. 819-826, 2007.

RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. **Talanta**, Londres, v.46, p.449-455, 1998.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20 p. (Arquivo do Agrônomo 15).

RODELLA, A. A. Legislação sobre teores de contaminantes em fertilizantes – estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 5, 797-801, 2005.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999. 941 p.

YAMADA, T. **Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. 12 p. (Informações Agronômicas 105).

CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a importância de estudos regionais voltados para a fertilidade e nutrição mineral de plantas, uma vez que as recomendações técnicas devem partir de resultados de pesquisas, e desta forma, estudos pontuais e locais irão proporcionar dados adaptados para as características de cada região. A importância de estudos se dá ainda pela escassez de fontes naturais de nutrientes, um desafio que se tornará realidade em um futuro próximo.

Ademais, com este trabalho, fica evidenciado a importância de estudos relacionados a fertilizações minerais sucessivas com micronutrientes e a possível contaminação com metais pesados tóxicos do solo e plantas.

Deve-se destacar ainda, o dever, por parte dos pesquisadores, de sempre avaliar os produtos colocados no mercado agropecuário, um ramo que movimenta grandes quantidades monetárias e que sempre será alvo de pessoas de índole questionável.

A fertilização de plantas é uma das grandes responsáveis pelo incremento da produção de alimentos, porém, para que essa capacidade de produção seja mantida, deve-se tomar muito cuidado com as fontes de fertilizantes que são utilizadas na agricultura, em especial as de micronutrientes. Pois, como visto neste trabalho, a poluição do solo com metais pesados já existe, e a tendência é que se agrave cada vez mais.

Cabem as instituições de pesquisa, aos órgãos governamentais, e também as empresas privadas as ações necessárias para um desenvolvimento equilibrado e sustentável, sob pena de tornarmos, as tão preciosas áreas agricultáveis de nosso país, improdutivas e prejudiciais a todo o ecossistema que as cercam.

O Brasil é dito por muitos como o país do futuro, mas que futuro haverá se utilizarmos lixo contaminado para produzir nossos alimentos? A tecnologia desenvolvida por nossa civilização proporciona várias maneiras para que tenhamos um desenvolvimento limpo e de qualidade, por que não utiliza-la?

O legado a ser deixado para as gerações futuras deve ser, no mínimo, melhor do que o obtido de nossos antepassados, não é isso que todos deveríamos imaginar?

Finalizando, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho não sejam apenas uma parte de alguns poucos estudos relacionados com a contaminação ambiental causada pela agricultura. Mas sim, que sirvam de incentivo para que se realizem mais pesquisas visando a sustentabilidade ambiental e manutenção do equilíbrio de nosso tão estimado planeta.

Se você tem metas para um ano, plante arroz.

Se você tem metas para 10 anos, plante uma árvore.

Se você tem metas para 100 anos, então eduque uma criança.

Se você tem metas para 1000 anos, então preserve o Meio Ambiente.

Confúcio