UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

LUIZ HENRIQUE MARCANDALLI

Efeito residual de elementos potencialmente tóxicos oriundos de fertilizantes: qualidade dos produtos agrícolas

Piracicaba

2012

LUIZ HENRIQUE MARCANDALLI

Efeito residual de elementos potencialmente tóxicos oriundos de fertilizantes: qualidade dos produtos agrícolas

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior

Piracicaba

2012

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Marcandalli, Luiz Henrique

Efeito residual de elementos potencialmente tóxicos oriundos de fertilizantes: qualidade dos produtos agrícolas / Luiz Henrique Marcandalli; orientadorCassio Hamilton Abreu Junior. - - Piracicaba, 2011.

76 p.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Alface 2. Cádmio 3. Chumbo 4. Metal pesado do solo 5.Micronutrientes 6. Nutrição vegetal 7. Qualidade dos alimentos 8. Rabanete I. Título

CDU 631.81.031 : 581.13

DEDICO

Aos meus pais, Nelson Luiz Marcandalli e Maria José Bernardo Marcandalli, pelos ensinamentos, exemplos de dedicação e honestidade.

Ao meu irmão Nelson Luiz Marcandalli Jr. pelo companheirismo, amizade e ajuda.

À minha namorada, grande companheira, amiga e conselheira, a qual desejo estar junto, em todos os momentos da minha vida: Amanda Prado Gilabel.

OFEREÇO

Aos meus avós que, acima de tudo, são os esteios e espelhos de toda nossa família.

"Construí amigos, enfrentei derrotas e venci os obstáculos, bati na porta da vida e disse-lhe: NÃO TENHO MEDO DE VIVÊ-LÁ."

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades as quais me concebestes nestes anos de vida.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da Universidade de São Paulo, por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciência, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior, pela confiança, orientação, apoio, incentivo e por toda sua amizade ao longo desses anos.

Ao meu orientador na graduação, Prof. Dr. Edson Lazarini, pelos ensinamentos transmitidos que carrego por toda a vida.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e importantes contribuições.

Em especial, quero agradecer aos professores Dr. Takashi Muraoka e Dr. Antonio E. Boaretto, ao amigo Prof. Dr. José Lavres Junior, às Biólogas Cleusa Pereira Cabral e Henriqueta Maria Gimenes Fernandes e à Sra. Suzi Manesco, pelo apoio, incentivo e por todos os excelentes momentos que compartilhamos ao longo do meu mestrado.

Aos professores, funcionários e colegas dos Laboratórios de Nutrição Mineral de Plantas (LNMP), Fertilidade do Solo e Química Analítica do CENA/USP, Laboratório de Química do Solo da ESALQ/USP.

Ao amigo Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes (UFPR), por sua colaboração na elaboração do projeto inicial, auxílio em diferentes etapas do meu mestrado e, principalmente, por ter contribuído para minha vinda para o CENA/USP.

Ao pesquisador Dr. Felipe Carlos Alvarez Villanueva, pelo precioso auxílio nas atividades laboratoriais, em especial na determinação dos metais pelo ICP-MS.

À Seção de Apoio Acadêmico e PG-CENA/USP, em especial à Alzira, Cláudia, Daiane, Fábio, Gilson, Neuda e Sônia Aparecida, pelo carinho, apoio e incentivo.

À Seção Técnica de Biblioteca do CENA/USP, pela indispensável colaboração na busca de artigos, cópias e revisão das normas da dissertação.

Enfim, certo de que nenhuma conquista é obtida sozinha, quero deixar meus sinceros agradecimentos a todos que os participaram direta ou indiretamente deste trabalho.

Obrigado a todos que me ajudaram a concluir esse sonho!

RESUMO

MARCANDALLI, L. H. **Efeito residual de elementos potencialmente tóxicos oriundos de fertilizantes**: qualidade dos produtos agrícolas. 2012. 77 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

Devido à presença de contaminantes (Elementos Potencialmente Tóxicos – EPT) nos fertilizantes, seja pelo material de origem das rochas fosfatadas ou pelo uso de subprodutos que contém altos teores de metais pesados, tem provocado muita polêmica e discussões. O conhecimento das frações dos elementos no solo pode indicar na disponibilidade dos mesmos para as plantas e, por fim, subsidiar as práticas de adubação de forma mais segura. O presente projeto teve como objetivo: (1) avaliar a produção de massa seca e determinar os teores de P, (Ni e Zn) e EPT (Cr, Cd, Pb) na parte comestível da alface (folhas) e do rabanete (raízes), em resposta a fertilização com fontes de fósforo e de zinco aplicadas em cultivo anterior (efeito residual); (2) avaliar o estado nutricional da alface e do rabanete em relação aos nutrientes P e Zn sob efeito da fertilização com fontes de fósforo e de zinco aplicadas em cultivo anterior (efeito residual); (3) determinar os teores residuais disponíveis de P (resina), micronutrientes (Ni, Zn) e EPT (Cr, Cd, Pb) extraídos por Mehlich-1, DTPA, CaCl2 0,01 mol L^{-1} e solução de ácidos orgânicos, em dois solos fertilizados com fontes de fósforo e de zinco após cultivo de alface e de rabanete. Serão desenvolvidos os cultivos residuais com as culturas da alface e rabanete em casa de vegetação, utilizando dois solos contrastantes quanto ao teor de argila. Os tratamentos foram aplicados por ocasião do cultivo do arroz de terras altas e, assim, serão realizadas apenas adubações de base e cobertura. Os tratamentos são assim constituídos: três fontes de Zn (subproduto, fertilizante comercial obtido da acidulação do subproduto e uma mistura de reagentes pró-análise) e três fontes de P (rocha fosfática de Togo, superfosfato simples obtido pela acidulação da rocha de Togo e uma mistura de reagentes pró-análise) em doses equivalentes a 0; 2,5; 5; 10 e 20 vezes a dose recomendada (em média, 4 kg de Zn e 90 kg de P_2O_5 por ha). Após as analises realizadas no solo com os diferentes extratores e as analises de folhas (alface) e raízes (rabanete) para determinarmos os níveis de elementos potencialmente tóxicos presentes no solo e partes comestíveis pode-se concluir que os teores no solo de fósforo e zinco aumentaram com o uso de doses crescente desses elementos no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV);o uso dos extratores solução de ácidos orgânicos, mehlich-1 e DTPA, determinaram uma maior disponibilidade dos metais no solo;as doses crescentes de fósforo elevaram os teores de cádmio disponível no solo, porém esse aumento não apresentou diferenças significativas nas partes comestíveis;o uso de diferentes fontes e doses de fósforo e zinco não apresentaram diferenças significativas na produção de material vegetal das culturas;as doses de zinco elevaram os teores de chumbo disponível no solo, porém esse aumento não foi observado nas partes

comestíveis das culturas;o crômio não foi alterado com as diferentes doses dos fertilizantes.

Palavras-chave: Micronutrientes.Cádmio.Chumbo.Zinco.Fósforo.

ABSTRACT

MARCANDALLI, L. H. **Residual effects of potentially toxic elements from the fertilizing:**quality of agricultural products.2012. 77 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

Due to the presence of contaminants (Potentially Toxic Elements - EPT) in fertilizers, is the source material of PRs or the use of products which contain high levels of heavy metals, has caused much controversy and discussion. The knowledge of the fractions of the elements in the soil can indicate the availability thereof to the plants and finally subsidize fertilizer practice in a safer way. This project aimed to: (1) evaluate the dry matter production and determine the levels of P (Ni and Zn) and EPT (Cr, Cd, Pb) in the edible portion of the lettuce (leaves) and radish (roots) in response to fertilization with phosphorus sources and zinc applied in previous crop (residual effect), (2) assess the nutritional status of lettuce and radish in relation to nutrients P and Zn fertilization under the effect of phosphorus sources and Zinc applied in previous crop (residual effect): (3) determining the residue content of available P (resin), trace elements (Ni, Zn) and EFA (Cr, Cd, Pb) extracted by Mehlich-1, DTPA, $CaCl_2$ 0 , 01 mol L^{-1} solution and organic acids in soils fertilized with phosphorus sources and zinc after growing lettuce and radish. Residual crops are developed with the lettuce and radishes in a greenhouse using two contrasting soils as the clay content. Treatments were applied during the cultivation of upland rice and thus will be conducted only fertilizers and basic coverage. Treatments are divided as follows: three sources of Zn (byproduct, commercial fertilizer obtained from acidulation by product and a mixture of reagents for analysis) and three sources of P (phosphate rock from Togo, superphosphate obtained by acidulation of rock and Togo a mixture of reagents for analysis) at doses of 0, 2.5, 5, 10 and 20 times the recommended dose (average of 4 kg Zn and 90 kg P_2O_5 per ha). The analyzes carried out on the ground with different extractants and analysis of leaves (lettuce) and roots (radish) to determine the levels of potentially toxic elements present in the soil and edible parts can be concluded that the levels of phosphorous in soil and zinc increased with increasing doses of the use of these elements in the Oxisol (LVA) and Oxisol (LV), the use of organic acid solution extractants, Mehlich-1 and DTPA, led to an increased availability of metals in soil; doses increasing phosphorus elevated levels of cadmium in the soil available, but this increase did not show significant differences in the edible parts, the use of different sources and levels of phosphorus and zinc showed no significant differences in the production of plant material cultures; doses of zinc elevated levels of lead in the soil available, however this increase was not observed in the edible parts of crops, chromium has not changed with the different fertilizer levels.

Keywords: Micronutrients.Cadmium.Lead.Zinc.Phosphorus.

Sumário

Sumário 9
1. INTRODUÇÃO 10
2. JUSTIFICATIVA 13
3. OBJETIVOS 14
3.1. Objetivo Geral 14
3.2. Objetivos Específicos 14
4. REVISÃO DE LITERATURA 15
4.1. Funções do solo na qualidade e segurança alimentar 15
4.2. Fertilização das Culturas: Exigência nutricional e a transferência de EPT para os alimentos 17
5. MATERIAL E MÉTODOS 24
5.1. Local e solo 25
5.2. Caracterização física e química do solo 26
5.3. Tratamentos e delineamento experimental 27
5.4. Desenvolvimento experimental 29
5.4.1. Desenvolvimento dos cultivos residuais 30
5.5. Análises químicas de planta e solo 38
5.6. Análises estatísticas 39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 40
6.1. Disponibilidade de Cd, Cr, Pb e Ni no solo com efeito de doses e fontes de P e Zn para extração com DTPA, Mehlich-1, Ac. Orgânico e $CaCl_2$ 40
6.2. Efeito residual das fontes de P na contaminação das partes comestíveis de Alface (2° cultivo) e Rabanete (3° cultivo) 54
6.3. Efeito residual das fontes de Zn na contaminação das partes comestíveis de Alface (2° cultivo) e Rabanete (3° cultivo) 58
7. CONCLUSÕES 65

1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos cresce com o aumento da população mundial. Em 1800, havia 1 bilhão de habitantes no planeta terra. Atualmente, crescendo a uma taxa média de 1,37%, a população mundial é de 6,7 bilhões de habitantes (ONU, 2007; ZHANG, 2008). Para 2050, estima-se que a população mundial atinja 9,4 bilhões de pessoas (LAL, 2000). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira aumentou em 10 vezes no período de 1900 a 2000, passando de 17,4 milhões de pessoas para aproximadamente 170 milhões. Atualmente, a população brasileira é de 187 milhões e, em 2050, estima-se que haverá 260 milhões de brasileiros (IBGE, 2008).

A produção mundial de cereais seguiu o mesmo ritmo do apresentado pelo crescimento populacional, passando de 275 kg por pessoa, nos anos 50, para 370 kg por pessoa, nos anos 80. Sendo assim, a demanda global por alimentos pode facilmente duplicar no período de 1990-2030, com aumento de duas vezes e meia a três nos países em desenvolvimento (DAILY et al., 1998).

O uso dos fertilizantes pode ser considerado a base para a produção sustentável de alimentos, havendo correlação linear positiva entre crescimento populacional e consumo de fertilizantes (ZHANG; ZHANG, 2007). Experimentos de longa-duração realizados no Brasil e no exterior demonstraram que, dentre os fatores responsáveis pelo sucesso no rendimento de grãos, os fertilizantes minerais contribuem com 30 a 50% (STEWART et al., 2005; MALAVOLTA; MORAES, 2009). Com base em uma gama enorme de experimentos, em um grande número de países, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) considera que “é razoável aceitar que 1 kg de nutriente do fertilizante ($N+P_2O_5+K_2O$) produza cerca de 10 kg de grãos de cereais” (FAO, 1984).

O consumo anual global de fertilizantes aumentou de 46 milhões de toneladas em 1960 para 157,3 milhões de toneladas em 2006, e precisará chegar a 260 milhões de toneladas até o ano de 2030, se mantida a corrente produção per capita de 300 kg de cereais por ano (AYOUB, 1999; DAHER, 2008). Segundo informações da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o consumo anual brasileiro de fertilizantes (NPK) aumentou de aproximadamente 100 mil toneladas no início dos anos 50 para 8,9 milhões de toneladas em 2006 (MALAVOLTA; MORAES,

2009). De forma semelhante, o consumo de micronutrientes no Brasil aumentou 13,3 vezes no período de 1990 a 2003 (YAMADA, 2004).

Os aumentos recordes da produção agrícola e medidas políticas de distribuição de renda têm reduzido a fome mundial na última década. Entretanto, segundo a FAO (2008), devido à alta dos preços dos alimentos nos últimos 5 anos, o número de famintos voltou a subir em todo o mundo, totalizando 907 milhões de pessoas em 2007 (13,5% da população mundial). Adicionalmente, a desnutrição, consequência reta da deficiência de minerais e vitaminas, tem sido crescente, afetando mais de 3 bilhões de pessoas no mundo todo (WELCH, 2008).

A qualidade dos alimentos apresenta relação direta com os elementos químicos presentes nos solos cultivados. Os fertilizantes e corretivos podem, além de aumentar a produtividade, pode melhorar a qualidade dos produtos agrícolas (alimentos) por meio de incrementos no teor de micronutrientes na parte comestível. Por outro lado, a presença de contaminantes (elementos potencialmente tóxicos (EPT), ex.: cádmio, chumbo, etc.) em fertilizantes tem sido motivo de preocupação sobre suas consequências ao ambiente e a saúde humana, devido à possibilidade do aumento do teor destes nos produtos agrícolas. Os efeitos prejudiciais dos EPT no organismo humano são cumulativos. Eles, além de carcinogênicos e mutagênicos, podem causar doenças cardiovasculares e reduzir a absorção de micronutrientes pelo organismo humano. É importante destacar que o consumo de vegetais e cereais contribui com a maior parte da ingestão humana de EPT.

O Brasil tem sua economia baseada na produção agrícola, sendo o agronegócio, o principal responsável pelo crescimento da economia. Atualmente, o agronegócio representa 33% do Produto Interno Bruto, 37 % dos empregos e 40% das exportações. O Brasil é o maior exportador dos seguintes produtos agrícolas: açúcar, café, carne bovina, carne de frango, soja em grão e suco de laranja (LOPES; GUILHERME, 2007).

Tendo em vista a importância dos fertilizantes para sustentar a demanda mundial por alimentos e do seu valor para o agronegócio brasileiro, neste trabalho são estudados alguns fatores envolvidos (direta ou indiretamente) na transferência de micronutrientes e de EPT dos fertilizantes ao produto agrícola, a saber: métodos de análise e teores em fertilizantes, solubilidade, avaliação da disponibilidade no

solo, teores na parte comestível em função da fertilização, variação genotípica no teor em grãos de arroz e influência do estado nutricional das plantas.

2. JUSTIFICATIVA

Os estudos dos EPT têm recebido especial atenção. Para sustentar o crescimento populacional e a demanda por alimentos, cresce a cada dia as atividades industriais (siderurgia, galvanização) e agrícolas (uso de fertilizantes, lodo de esgoto, etc.). Estas atividades são as principais responsáveis pela adição de EPT ao ambiente, sendo que os alimentos é a principal via de entrada (>70% da ingestão total) de EPT no organismo humano. Neste contexto, faz se necessário melhor compreender o processo de transferência de EPT no sistema fertilizante-solo-planta.

As informações deste projeto sobre o potencial de transferência dos EPT, serão de grande importância para consolidação/melhoria das legislações brasileiras sobre: (1) contaminantes em fertilizantes minerais e corretivos (BRASIL, 2006), (2) monitoramento da poluição do solo e da água no Estado de São Paulo (CETESB, 2005) e (3) contaminantes em alimentos (ANVISA, 1965).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

A demanda de fertilizantes vem aumentando a cada ano que se passa, e cada vez mais utiliza-se de fontes alternativas ou de menor qualidade para suprir essa demanda. Portanto, faz-se a necessidade de avaliar se tais fontes podem suprir a necessidade de nutrientes às plantas, por longos períodos de adubação, sem que haja a contaminação dos alimentos provenientes dessas áreas.

3.2. Objetivos Específicos

(a) Avaliar a produção de massa seca e determinar os teores de P, (Ni, Zn) e EPT (Cr, Cd, Pb) na parte comestível da alface (folhas) e do rabanete (raízes), em resposta a fertilização com fontes de fósforo e de zinco aplicadas em cultivo anterior (efeito residual);

(b) Avaliar o estado nutricional da alface e do rabanete em relação aos nutrientes P e Zn sob efeito da fertilização com fontes de fósforo e de zinco aplicadas em cultivo anterior (efeito residual);

(c) Determinar os teores residuais disponíveis de P (resina), micronutrientes (Ni, Zn) e EPT (Cr, Cd, Pb) extraídos por Mehlich-1, DTPA, $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} e solução de ácidos orgânicos, em dois solos fertilizados com fontes de fósforo e de zinco após cultivo de alface e de rabanete;

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Funções do solo na qualidade e segurança alimentar

Conforme estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), em outubro de 2011, a população mundial chegou à marca de sete bilhões de habitantes. Em 2050, este número deve ultrapassar dez bilhões. Consequentemente, constata-se a necessidade do aumento na produção mundial de alimentos.

Produzir alimentos em quantidade suficiente e com qualidade para atender ao crescimento populacional mundial sempre foi um dos maiores desafios da humanidade. Afinal, estamos falando de segurança alimentar. Essa questão configura-se de especial interesse, principalmente para as próximas décadas, dado o crescente aumento do poder aquisitivo da população de países emergentes, sem contar a carência generalizada de alimento em grandes partes das nações subdesenvolvidas (LOPES, 2011).

A população mundial tem crescido a uma taxa histórica de 1,8% desde 1950. Paralelamente, a produção de cereais manteve o mesmo ritmo do crescimento populacional, aumentou de 275 kg por pessoa nos anos 50 a 370 kg nos anos 80. A demanda global por alimentos pode facilmente duplicar no período de 1990-2030, com um aumento de duas vezes e meia a três nos países mais pobres (DAILY et al., 1998). Segundo estudos e estimativas da Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura (FAO), a produção mundial de alimentos, que era de 2 bilhões de toneladas em 1990, quando a população mundial era de 5,2 bilhões de habitantes, deverá passar para 4 bilhões de toneladas no ano de 2025, quando a população mundial deverá ser de 8,3 bilhões de habitantes (LOPES et al., 2010).

E o solo, qual o seu papel diante deste cenário? Do ponto de vista agronômico, o solo é definido como um material mineral e/ou orgânico, não consolidado na superfície da terra, servindo como meio natural para crescimento e desenvolvimento das plantas. Sua formação é influenciada por fatores genéticos e ambientais do material de origem, pelo clima (incluindo efeitos de umidade e temperatura) e pela ação de macrorganismos e de microrganismos, além da topografia, resultando em diferentes tipos de solos, com propriedades e

características físicas, químicas, mineralógicas, biológicas e morfológicas peculiares (CURI et al., 1993).

Em escala global, o uso do solo para fins agrícolas tem sido uma prática bem-sucedida. A agricultura moderna vem satisfazendo uma demanda crescente de alimentos durante a última metade do século XX. O rendimento de grãos básicos, como trigo e arroz, aumentou enormemente, diminuindo, em parte, a fome crônica existente. Esse impulso na produção de alimentos deveu-se, principalmente, a avanços científicos e a inovações tecnológicas, incluindo o desenvolvimento de novas variedades de plantas, o uso de fertilizantes e defensivos, e o crescimento de grandes infraestruturas de irrigação (GLIESSMAN, 2005).

Entretanto, para manter a corrente produção per capita de 300 kg ano^{-1} de cereais, haverá necessidade de dobrar o consumo anual global de fertilizantes até 2030, para aproximadamente 260 milhões de toneladas (AYOUB, 1999). As perspectivas de aumento da produção agropecuária brasileira para 2018/2019, em comparação com as produções observadas em 2007/2008, indicam a necessidade de considerável aumento da demanda de fertilizantes minerais. Tem-se que a expectativa de que o consumo de N, P_2O_5 e K_2O em 2020 aumente em cerca de 1,6 vezes em relação ao consumo de 2009 (LOPES et al., 2010). O uso de práticas adequadas de manejo das culturas, as técnicas de melhoramento vegetal e a adubação contribuíram para uma economia de 80 milhões de hectares (LOPES; GUILHERME, 2007), sendo a prática da adubação responsável por 25 a 50% dessa área.

Por outro lado, a prática de adubar o solo, visando a elevar a produtividade das culturas, pode conduzir ao manejo inadequado do solo, provocando danos irreparáveis e ocasionando sua contaminação e/ou poluição[(1)]. Exemplo disso trata-se do manejo não apropriado de defensivos, de fertilizantes, de água de irrigação de baixa qualidade e a disposição indiscriminada de materiais como os lodos de esgoto industriais e urbanos, águas residuárias e resíduos de indústria de beneficiamento químico, que podem provocar o acúmulo de substâncias que sejam tóxicas às plantas e, ao entrar na cadeia alimentar, tornam-se perigosas aos animais e ao homem. Em virtude dessas relações e de sua importância no ecossistema, o solo

---

([1]) Utiliza-se o termo “contaminação” quando ocorre o aumento das concentrações do contaminante em relação às concentrações naturais, enquanto se utiliza o termo “poluição”, quando esses aumentos de concentração prejudicam o ambiente (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

ocupa papel de destaque no controle da qualidade ambiental e na segurança alimentar. Se esse controle será de boa ou de má qualidade, dependerá muito damaneira como serão entendidas e manejadas as reservas edáficas (CAMARGO et al., 2006).

Devido à poluição ocasionar o decréscimo da funcionalidade do solo, é imprescindível que os solos sejam tratados cuidadosamente de modo a aumentar a sua sustentabilidade para as futuras gerações (SOARES, 2004).

O solo é um componente muito específico da biosfera, agindo não apenas como depósito de contaminantes, mas também como tampão natural, controlando o transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota. O papel mais importante do solo está em sua produtividade, que é essencial para a sobrevivência dos seres humanos. Portanto, a manutenção das funções ecológica e agrícola do solo é responsabilidade da humanidade (ABREU JUNIOR et al., 2009). Um dos fatores que podem causar riscos à segurança alimentar e limitar o uso do solo para fins produtivos é a presença de EPT.

4.2. Fertilização das Culturas: Exigência nutricional e a transferência de EPT para os alimentos

A revolução verde foi um importante marco no desenvolvimento da humanidade. Aobtenção de variedades de porte baixo, melhoradas para responder ao fertilizante nitrogenadosem acamamento, foi um avanço da agricultura que permitiu altas produções de cereais porárea. Deste modo, conseguiu-se suprir a demanda por alimentos decorrente do crescimentopopulacional. Embora a produção de alimentos tenha acompanhado o crescimentopopulacional, problemas de deficiência nutricional têm aumentado, afetando quase metade dapopulação mundial, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (WELCH;COMBS; DUXBURY, 1997; WELCH, 2001; GRAHAM et al., 2007).

As deficiências ocasionadas pela falta de ferro (Fe), iodo (I), selênio (Se), vitamina Ae zinco (Zn) são atualmente as que causam maior preocupação em relação à saúde humana,principalmente nos países em desenvolvimento. De acordo com a Organização Mundial deSaúde (OMS), mais de 2 bilhões de pessoas são

anêmicas em decorrência da deficiência de Fe(ALLEN et al., 2006). Estima-se que um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco em relação à deficiência de Zn, sendo sugerido que um quinto da população mundial pode não estar ingerindo este nutriente em quantidade suficiente (HOTZ;BROWN, 2004). Combs Junior (2001), estima que haja de 0,5 a 1,0 bilhão de pessoas comprovável carência de Se, ao passo que mais de 800 milhões de pessoas são deficientes em I(WELCH, 2008).

Na América Latina, as primeiras constatações de deficiência de micronutrientes na população, ocorreram por volta de 1950. As deficiências mais comuns são de Fe e vitaminaA. No Brasil, a deficiência de Fe é a mais generalizada. Crianças e gestantes são as mais afetadas, em níveis muito variáveis, dependendo da região, devido às diferenças de hábitos alimentares e de desenvolvimento social (SILVA et al., 2002; BRESSANI, 2000).

Não existem levantamentos sobre a ocorrência da deficiência de Zn e Se na população brasileira. Ferreira et al. (2002b), analisando diversos gêneros alimentícios consumidos no Brasil, observaram que os valores de Zn nos alimentos eram normais e compatíveis com os da literatura internacional. Entretanto, Ferreira et al. (2002a) relatam que a concentração de Se nos alimentos de origem vegetal consumidos no Brasil é considerada baixa, em relação aos padrões internacionais, e aventam como possível fator determinante os baixos teores de Se nos solos agrícolas. Estudos sobre a quantidade de Se ingerida pela população em alguns Estados brasileiros demonstraram baixa ingestão do elemento em São Paulo e Mato Grosso, e alta ingestão no Pará (BOAVENTURA; COZZOLINO, 1993; MAIHARA et al., 2004).

As principais causas da desnutrição são: a) alta taxa de ingestão de alimentos com baixo teor de minerais e vitaminas (ex.: arroz, milho e trigo), em detrimento de grãos de leguminosas, frutas, verduras e produtos de origem animal, comum em países de regiões em desenvolvimento, como Ásia, África e América Latina (WELCH, 2001; DIBB; ROBERTS;WELCH, 2005); b) baixo teor do nutriente no solo; c) perdas na qualidade nutricional devido ao sistema de industrialização, por exemplo, o polimento do arroz acarreta perda de minerais dos grãos; d) fatores antinutricionais, como EPT e fitatos, que reduzem a absorção de micronutrientes pelo organismo humano.

O baixo teor de minerais em grãos se deve, em parte, ao melhoramento genéticovegetal voltado para ganho em produtividade sem a devida consideração pela melhoria daqualidade. Em trabalhos recentes, foi demonstrado que, ao longo dos anos, o aumento deprodutividade obtido por intermédio do melhoramento vegetal apresentou relação inversa aoteor de micronutrientes em grãos de trigo (GARVIN; WELCH; FINLEY, 2006; MURPHY;REEVES; JONES, 2008).

No presente trabalho, o termo “metal pesado” será usado para todo elemento que tempeso específico maior que 5 g cm-3 ou possui número atômico maior que 20 (MALAVOLTAet al., 2006). Porém, os metais pesados essenciais, tais como: cobalto (Co), cobre (Cu), Fe,manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn), serão denominados “micronutrientes” e para os até entãosem função conhecida para as plantas, tais como: cádmio (Cd), crômio (Cr) e chumbo (Pb),será usado o termo “EPT”. Vale ressaltar que qualquer macro,micronutriente ou elemento benéfico pode tornar-se tóxico quando em concentração excessivano meio, ou seja, “a dose faz o veneno”.

O Ni satisfaz o critério direto (DIXON et al., 1975) e indireto (BROWN; WELCH;CARY, 1987) de essencialidade e sua deficiência foi constatada em condições de campo(WOOD; REILLY; NYCZEPIR, 2004; RUTER, 2005). O Ni passou da categoria de tóxicopara essencial e tem sido incluído nas legislações de fertilizantes, cita-se o exemplo dos casosdo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e do Brasil, que em 2003 e 2007,respectivamente, admitiram o Ni na lista de micronutrientes (MALAVOLTA; MORAES,2007). O selênio, classificado como metalóide, foi o mais recente elemento incluído na listados micronutrientes de plantas (WEN; LI; CHEN, 1988), embora sua essencialidade já tivessesido comprovada para os animais e o homem no início da década de 60. O crômio, quedesempenha função essencial no metabolismo da glicose e do colesterol no homem, pode sero próximo a ser incluído na lista de micronutrientes de plantas.

O Zn nas folhas está associado aos complexosde baixo peso molecular, íons livres e formas insolúveisna parede celular, podendo tornar-se inativo dentro dacélula pela complexação com o fósforo. Suaessencialidade para a função e, ou, estrutura, de diversasdesidrogenases, proteinases e peptidases encontradasem plantas foram relatadas por Welch e Norvell (1999),sendo classificado como elemento parcialmente móvelna planta (PEASLEE et al., 1981). Este nutriente tem comofunção principal ser componente e ativador enzimático,estando diretamente

envolvido no metabolismo donitrogênio (FAQUIN, 1994). O zinco é importante para ocrescimento (GREWAL et al., 1997) e para manutençãoda integridade da membrana plasmática da raiz (CAKMAK; MARSCHNER, 1988).

Os altos coeficientes de correlação encontradospor Kalyanaraman e Sivagurunathan (1993), sugerem quea concentração de zinco e cobre nos tecidos é linearmenterelacionado com a sua aplicação no solo. Em ambienteprotegido Gomes et al. (1999), recomendam acrescentar naadubação de plantio da alface, 3,0 kg ha^{-1}de Zn.

O efeito positivo da adição de zinco em alface érelatado por Moreira et al. (2001), que observaram comrelação à matéria seca da planta inteira, no nível baixode P, não haver efeito da adição de Zn na solução;sendo que no nível normal de P, a adição de Znproporcionou maior produção de matéria seca, e nonível alto de P, os níveis normal e alto de Znproporcionaram maiores incrementos na produção dematéria seca. Fontes et al. (1982), observaram umdecréscimo médio de 25,5; 31,1 e 17,4% em dois anosde estudo, quando na ausência da adubação com zinco,sobre a produção total e comercial e o peso médio dacabeça. Ao contrário, não foram encontrados efeitosdo Zn e do P sobre área foliar e a produção de matériaseca da parte aérea e da raiz de alface, em meiohidropônico.

Os teores de micronutrientes e/ou EPT nos solos estão estreitamenterelacionados com o material de origem. Em função da ação do intemperismo das rochasmatrizes, os elementos passam então a fazer parte do solo e podem estar disponíveis para asplantas que, por conseguinte, por meio dos produtos agrícolas, podem entrar na cadeiaalimentar (OMS, 1998; ADRIANO, 2001; KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007).

Quando os solos apresentam baixos teores de micronutrientes, como acontece com muitafrequência em solos intemperizados de regiões de clima tropical, principalmente em relaçãoao B e Zn, o fornecimento via fertilizante se faz necessário. Os cultivos sucessivos quesempre retiram nutrientes dos solos pelas colheitas e o uso de cultivares mais exigentestambém são fatores que determinam a necessidade do fornecimento regular de macro emicronutrientes para manutenção da produtividade agrícola.

Por outro lado, os fertilizantes minerais podem conter EPT emconcentrações variáveis. Nos fosfatados, os EPT são devido, em suamaioria, a rocha matriz usada

na fabricação dos mesmos (McLAUGHLIN; PARKER;CLARKE, 1999; GRANT; SHEPPARD, 2008). Rochas sedimentares contêm maiores teoresde EPT. No caso de fertilizantes fontes de micronutrientes, no Brasil e no exterior,subprodutos industriais têm sido utilizados para fabricação de fertilizantes (MORTVEDT,2001; MALAVOLTA, 1994), tais materiais podem conter EPT em altasconcentrações.

A problemática dos EPT em fertilizantes minerais tem sido motivode muitas discussões. Há uma ampla faixa de variação nos limites toleráveis de teores dessesmetais nos fertilizantes, nas taxas de adições por hectare e nos teores máximos no solo, entreas legislações de diversos países (MALAVOLTA et al., 2006). Isso demonstra orientaçõesnão uniformes no estabelecimento das normas e necessidade de mais pesquisas sobre oassunto. Alguns estudos nacionais e internacionais indicam que os EPTadicionados via fertilizantes podem aumentar seus teores na parte comestível das plantas(PAN; STEVENS; LABNO, 2004; SILVA; FURTINI NETO; CHANG, 2009) e/ou apenasno solo, sem atingir níveis críticos (MORTVEDT, 1985; RAMALHO; AMARALSOBRINHO; VELLOSO, 1999), ou ainda, podem não contribuir de modo relevante paraaumentar o teor no solo e na planta (MULLA; PAGE; GANJE, 1980; MORTVEDT, 1987;CAMARGO et al., 2000; SANTOS et al., 2002). Argumenta-se que, as taxas de EPT adicionadas são relativamente baixas, seja devido às doses aplicadas parasuprimento dos micronutrientes serem sempre pequenas, ou pelo baixo teor nas fontes demacronutrientes (MALAVOLTA et al., 2006).

Geralmente, os teores de EPT nos solos são baixos, todavia, sãoconhecidos alguns solos de regiões dos Estados Unidos, Canadá, Brasil e outros, que possuemteores naturalmente elevados (LUND et al., 1981; GARRETT, 1994; MONTAGNON et al.,2003; LOPES, 2009). É importante mencionar que: 1) além dos fertilizantes minerais ecorretivos, os EPT podem ser adicionados em áreas agrícolas por outrasfontes antrópicas: fungicidas, dessecantes, lodo de esgoto, restos da produção intensiva deanimais, queima de combustível fóssil, etc. (ALLOWAY, 1995; SANTOS; AMARALSOBRINHO; MAZUR, 2003; CAMPOS, 2003; CAPDEVILA et al., 2003); 2) nem todometal pesado adicionado ao solo está disponível para absorção pelas plantas, e, uma vezabsorvido, apenas uma pequena quantia chega efetivamente à parte comestível, em se tratandode frutos e sementes.

O uso das variações genotípicas, intra e interespecíficas, no melhoramento de plantasvisando a “biofortificação”, maior teor de nutrientes e vitaminas na parte comestível(GRAHAM; WELCH, 1996; WELCH et al., 2005; NUTTI; CARVALHO; WATANABE,2006; CAKMAK, 2008) ou a seleção de plantas para baixo teor de EPT (Llet al., 1997; KURZ; SCHULZ; ROMHELD, 1999; ARAO; AE, 2003; CLARKE et al., 2005;GRANT et al., 2008) são abordagens recentes no meio científico, tendo despertado muitointeresse devido ao potencial de aplicação na melhoria da qualidade dos alimentos.

Atualmente, há também, crescente interesse no conhecimento da relação entre teores demicronutrientes e de EPT na parte comestível das plantas, visando nofuturo à seleção de cultivares que ao mesmo tempo apresentem maiores teores demicronutrientes e baixos de EPT (CLARKE et al., 2002; LIU et al., 2003;CHEN et al., 2007; SHI et al., 2009).

Visando assegurar a qualidade dos alimentos e proteger a saúde da população,algumas medidas têm sido tomadas para evitar ou reduzir a entrada de EPTna cadeia alimentar, sendo elas:

1) Legislações para estabelecer valores máximos permissíveis de EPT emfertilizantes comerciais e/ou suas taxas de adição e também, o teor máximo no solo(CANADA, 1996; WSDA, 1999; CETESB, 2005; BRASIL, 2006) (Tabela 1).

2) Legislações, na área segurança alimentar, regulando limites máximos permissíveis deEPT na parte comestível das plantas (ANVISA, 1965; CEC, 2001;CODEX, 2001; FSANZ, 2009).

3) Avaliação do teor e/ou da ingestão diária de EPT por meio de resultados deconsumo *per capita* e de amostras de alimentos coletadas no comércio/locais de produção(DePIERI; BUCKLEY; KOWALENKO, 1997; Al-SALEH; SHINWARI, 2001; SANTOS;LAURIA; SILVEIRA, 2004; RAGHUNATH et al., 2006).

Tabela 1 - Panorama geral dos teores máximos de EPT permitidos emfertilizantes de diversos países(1)

País ou Região	As	Cd	Pb	Hg
	---------- mg kg^{-1} ----------			
OECD – Fosfatados				
Suíça, Finlândia	-	50	-	-
Suécia, Noruega	-	100	-	-
Dinamarca	-	110	-	-
Bélgica, Alemanha	-	210	-	-
Áustria	-	275	-	-
USA – Sugestão AAPFCO				
Fosfatados(2)	13	10	61	1
Com micronutriente(3)	112	83	463	6
Environmental Protection Agency–USA				
Estado do Texas – Diversos	41	39	300	17
Vários				
91% da rocha fosfática(4)	71	165	66	0,29
Canadá – Diversos	75	20	500	-
Califórnia				
Fosfatados(2)	2	4	20	-
Com micronutriente(3)	13	12	140	-
Washington				
Fosfatados(2)	13	10	61	1
Com micronutriente(3)	112	83	463	6
Brasil – Proposto				
Fosfatados(2)		0,75	37,5	-
Exclusivos de micronutriente(3)		15/150(5)	750/7500(5)	-
Demais fertilizantes minerais		20	100	-
Brasil – Publicado				
Fosfatados(2)	2	4	20	0,05
Exclusivos de micronutriente(3)	500/4000(5)	15/450(5)	750/10000(5)	10
Demais fertilizantes minerais	250	57	1000	-
Austrália				
Fosfatados	-	300	-	5
Não fosfatados	-	10	-	5
Macronutrientes ou condicionadores de solo	-	-	100	5
Macronutrientes com micros	-	-	500	5
Micronutrientes	-	50	2000	5
China – Diversos	50	8	100	5
Japão - Fosfatados	50	8	100	5

(1) Copilado por Malavolta e Moraes (2006); (2) mg por 1% de P2O5; (3) mg por 1% de micronutriente; (4) mg/kg de P; (5) Valor máximo na massa total; OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development; AAPFCO: American Association of Plant Food Control Officials; –, valor não estabelecido.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizados dois solos anteriormente fertilizados com fontes de fósforo e de zinco e cultivados com arroz de terras altas, conforme descrito a seguir (MORAES, 2009).

As amostras de fontes de fósforo e de zinco utilizadas na adubação inicial foram obtidas no comércio e analisadas quimicamente para seleção das que contivessem altos teores de cádmio e chumbo, elementos de maior interesse por frequentemente serem encontrados em altos teores nos fertilizantes e devido ao potencial destes em causar danos ao ambiente e a saúde humana.

Procurou-se analisar várias fontes de fósforo e de micronutrientes visando selecionaralgumas delas para adubação do arroz de terras altas. Devido à grande variação encontradanos teores de EPT em levantamento das pesquisas realizadas no Brasil(MALAVOLTA; MORAES, 2006) e das discussões em andamento visando a definição demétodos oficiais para análise de contaminantes, decidiu-se avaliar dois métodos instrumentaispara quantificação de EPT nos fertilizantes.

No período de agosto a outubro de 2006, antes do início do experimento,foram analisadas 16 amostras de fertilizantes minerais, sendo duas fontes de Cu, duas fontesde Zn, quatro rochas fosfáticas e oito fertilizantes fosfatados. Embora a Instrução NormativaSDA No 24, do MAPA, tratando sobre teores máximos permissíveis de contaminantes emfertilizantes (BRASIL, 2006) houvesse sido publicada em 05/06/2006, conforme comentado,não haviam métodos oficiais recomendados para análise de contaminantes em fertilizantes.Desta forma os EPT foram quantificadosaproveitando-se os extratos usados para análise dos teores totais de P e de micronutrientes,conforme procedimento de preparo de amostra descrito e seguindo-se asextrações abaixo (LANARV, 1988).

<u>Extração para fontes de micronutrientes:</u> transferiu-se 1,00 g de amostra para béquerde 250 mL e adicionaram-se 10 mL de HCl concentrado. O material foi fervido até destruirtoda a matéria orgânica e, então, adicionados 20 mL de HCl 2 mol L^{-1}. Depois de novafervura por 5 minutos, fez-se a filtragem e completou-se o volume para 50 mL.

Extração para fontes de fósforo: transferiu-se 1,00 g de amostra para béquer de 250mL e adicionaram-se 30 mL de HNO_3 e 5 mL de HCl concentrados. O material foi fervido atéa destruição da maior parte da matéria orgânica e, então, adicionados 20 mL água deionizada.Depois de nova fervura por 5 minutos, fez-se a filtragem e completou-se o volume para 50mL.

O fósforo foi quantificado por colorimetria e os micronutrientes e EPT quantificados por ICP-AES, no Centro de Solos e Recursos Agroambientais - IAC, epor ICP-MS, no Laboratório de Análise e Referência em Amostras Ambientais e Fertilizantes(LARAFERT), do CENA/USP.

A rocha de Togo, o SFS obtido pela acidulação da rocha de Togo, o subproduto fontede Zn e o fertilizante fonte de Zn obtido pela acidulação do mesmo subproduto, foramselecionados para uso na fertilização do experimento devido aos seus maiores teoresde Cd e Pb(Tabela 2).

Tabela 2 - Teores de fósforo, determinado por colorimetria, zinco, determinado por ICP-AES, e EPT, quantificados por ICPMS, nas fontes de fertilizantes utilizadas no experimento

Fontes[1]	P	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	g kg^{-1}		mg kg^{-1}			
SFS Togo	75	-[2]	17	48	13	35
Rocha Togo	143	-	57	114	26	7
Subproduto Zn	-	423	153	12	146	13392
Fertilizante Zn	-	415	47	7	7	3578

[1]Valores médios de três repetições; SFS: Superfosfato simples; [2] Elementos não analisados.

5.1. Local e solo

Foram utilizadas amostras de dois solos de características físicas e químicas contrastantes. Um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) distrófico típico, textura arenosa (IAC, Campinas-SP) e um Latossolo Vermelho (LV) distroférrico, textura muito argilosa (Centro de Citricultura, Cordeirópolis-SP). Ambas as amostras de solos foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm.

5.2. Caracterização física e química do solo

As amostras de solo foram caracterizadas quanto aos teores de areia, silte, argila e classe textural, conforme CAMARGO et al. (1986). Os teores totais de Si, Al, Fe, Mn e Ti foram determinados por meio de ataque sulfúrico. Os índices Ki e Kr, que indicam o grau de intemperismo dos solos, foram estimados pelas relações moleculares de SiO_2/Al_2O_3 e $SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (Tabela 3).

Para avaliação da fertilidade dos solos foram determinados o pH ($CaCl_2$), matéria orgânica, fósforo, cátions trocáveis, micronutrientes e EPT (RAIJ et al., 2001). O boro foi extraído com água quente e Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn por extração com DTPA (Tabela 4).

Tabela 3 -Características mineralógicas dos solos usados no experimento

Solos	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	Ki[1]	Kr[2]
				g kg^{-1}			
LVA	96,5	120,8	48,2	8,3	0,3	1,36	1,08
LV	152,5	208,2	151,7	14,0	0,7	1,25	0,85

[1]Ki = relação molecular SiO_2 / Al_2O_3; [2]Kr = relação molecular SiO_2 / Al_2O_3 + Fe_2O_3. Valores médios de duas repetições.

Tabela 4 -Características químicas e físicas dos solos usados no experimento[1]

Variáveis	Solos	
	Latossolo Vermelho Amarelo	Latossolo Vermelho
pH ($CaCl_2$)	4,4	4,0
Matéria Orgânica (g dm^{-3})	26	42
P (mg dm^{-3})	4	5
K (mmol$_c$ dm^{-3})	2,4	1,5
Ca (mmol$_c$ dm^{-3})	7	9
Mg (mmol$_c$ dm^{-3})	4	3
Al (mmol$_c$ dm^{-3})	4	15
H+Al (mmol$_c$ dm^{-3})	34	98
SB (mmol$_c$ dm^{-3})	13,4	13,5
CTC (mmol$_c$ dm^{-3})	47,7	111,7
V (%)	28	12
B (mg dm^{-3})	0,3	0,4
Cu (mg dm^{-3})	1,1	1,7
Fe (mg dm^{-3})	26	29
Mn (mg dm^{-3})	6,3	17,5

continua

conclusão

Zn (mg dm^{-3})	0,5	0,7
Cd (mg dm^{-3})	<0,01	<0,01
Cr (mg dm^{-3})	<0,01	<0,01
Ni (mg dm^{-3})	0,01	0,04
Pb (mg dm^{-3})	3,33	4,96
Argila (g kg^{-1})	358	707
Silte (g kg^{-1})	47	106
Areia (g kg^{-1})	595	187

(1)Extratores: B = água quente; P, K, Ca e Mg = resina; Al = KCl; Micronutrientes e EPT = DTPA; Acidez potencial (H+Al) = tampão SMP; Granulometria = método da pipeta

5.3. Tratamentos e delineamento experimental

Para cada cultura, foram desenvolvidos dois cultivos residuais (sem aplicação dos tratamentos) simultâneos, um avaliando três fontes de P e outro avaliando três fontes de Zn, sendo em cada fonte 4 doses, simulando até 20 cultivos. Os tratamentos foram adicionados em cultivo anterior (MORAES, 2009), sendo compostos por três fontes, quatro doses de cada fonte e dois tratamentos adicionais sem adição de P ou Zn (Tabela 5). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial, 2 X 3 X 4 + (2), com três repetições. Cada cultivo foi composto por 78 parcelas, perfazendo 156 parcelas no total.

As fontes de P usadas foram: rocha fosfática de Togo, superfosfato simples obtido pela acidulação da rocha de Togo e uma mistura de reagentes pró-análise com composição química idêntica a rocha fosfática (Tabela 3). As doses foram fornecidas baseando-se no teor total de P_2O_5, definidas segundo a recomendação oficial (RAIJ et al., 1997) do Estado de São Paulo para culturas anuais (arroz, feijão, milho e soja) com P no solo de muito baixo a baixo. Deste modo, aplicaram-se taxas de 0; 2,5; 5; 10 e 20 vezes a dose recomendada (em média 90 kg ha^{-1} de P_2O_5). A mistura pró-análise tinha a mesma composição da rocha fosfática, preparada usando hidroxiapatita pró-análise: $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$. Os EPT Cd, Cr, Ni e Pb foram adicionados como nitrato, a exceção do Cr, fornecido como cromato de potássio. A massa da mistura foi completada a 100 g com quartzo moído.

As fontes de Zn usadas foram: fertilizante, subproduto e uma mistura reagentes pró-análise com composição química idêntica ao subproduto (Tabela 5).

As doses foram fornecidas baseando-se no teor total de Zn, definidas em função de experimento preliminar e da recomendação oficial (RAIJ et al., 1997) do Estado de São Paulo, para culturas anuais (arroz, feijão, milho e soja) com teor de Zn no solo considerado baixo. Deste modo, aplicaram-se taxas de 0; 2,5; 5; 10 e 20 vezes a dose recomendada (em média 4 kg ha^{-1} de Zn). A mistura pró-análise foi formulada para ter a composição do subproduto, preparada a partir de óxido de Zn. Os metais Cd, Cr, Ni e Pb foram adicionados como nitrato, a exceção do Cr, fornecido como cromato de potássio. A massa da mistura foi completada a 100 g com sulfato de cálcio pró-análise.

Tabela 5 - Esquema de aplicação das doses de P e Zn e adições calculadas de Ni e EPT pelas fontes de fertilizantes utilizadas no experimento (MORAES, 2009)

Tratamentos	P	Zn	Cd[1]	Cr	Ni	Pb
	mg dm^{-3}		µg dm^{-3}			
Controle	-[2]	-	-	-	-	-
Rocha fosfática Togo	50	-	13,6	30,4	6,6	1,4
	100	-	27,3	60,8	13,3	2,8
	200	-	54,5	121,7	26,6	5,6
	400	-	109,1	243,3	53,1	11,2
SFS Togo	50	-	7,3	22,0	5,3	14,7
	100	-	14,7	44,0	10,7	29,3
	200	-	29,3	88,0	21,3	58,7
	400	-	58,7	176,0	42,7	117,3
Mistura pró-análise P[3]	50	-	13,6	30,4	6,6	1,4
	100	-	27,3	60,8	13,3	2,8
	200	-	54,5	121,7	26,6	5,6
	400	-	109,1	243,3	53,1	11,2
Subproduto Zn	-	5	1,8	0,1	1,7	158,3
	-	10	3,6	0,3	3,5	316,6
	-	20	7,2	0,6	6,9	633,2
	-	40	14,5	1,1	13,8	1266,4
Fertilizante Zn	-	5	0,6	0,1	0,1	43,1
	-	10	1,1	0,2	0,2	86,2
	-	20	2,3	0,3	0,3	172,4
	-	40	4,5	0,7	0,7	344,9
Mist. pró-análise Zn[3]	-	5	1,8	0,1	1,7	158,3
	-	10	3,6	0,3	3,5	316,6
	-	20	7,2	0,6	6,9	633,2
	-	40	14,5	1,1	13,8	1266,4

[1]As taxas de adições foram calculadas multiplicando-se os teores de EPT nas fontes pela massa de cada produto necessária para fornecimento das doses de P e Zn; [2]Não calculada ou com dose/adição não significativa; [3]As misturas pró-análise tinham composição química idêntica a rocha fosfática e ao subproduto fontes de Zn, respectivamente, e foram preparadas a partir de reagentes pró-análise.

É importante destacar que as adições máximas de Cd, pelas fontes fosfatadas e de Pb, pelas fontes de zinco, no segundo experimento do presente trabalho, ultrapassam os valores máximos permissíveis de adição de metais pesados tóxicos aos solos em vários países, a exceção do Estado do Texas - EUA (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores máximos permissíveis de adição de metais pesados tóxicos no solo pela aplicação de fertilizantes, adimitidos pelas legislações de alguns países[(1)].

País ou região	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg
		g ha^{-1} ano^{-1}				
Canadá	333	-	89	-	2222	22
Áustria	-	-	5,0	-	-	-
Finlândia	-	-	3,0	-	-	-
Alemanha [(2)]	-	-	16,7	-	-	-
Suíça	-	-	0,75	-	-	-
Bélgica	-	-	150	-	-	-
EUA – Estado do Texas	415	-	392	-	3004	168
EUA – Washington	333	-	89	-	2222	22

[(1)] Copilado por Malavolta e Moraes (2006); [(2)] Período de três anos; EUA: Estados Unidos da América; –, valor não estabelecido.

5.4. Desenvolvimento experimental

Para o cultivo do arroz de terras altas, foi empregada uma mistura de $CaCO_3$ + $MgCO_3$ na proporção de 1:1, visando elevar a saturação por bases a 50% (CANTARELLA; FURLANI, 1997)

As amostras de solo foram passadas em peneira de 2 mm e secas ao ar em casa de vegetação, sendo em seguida, adicionadas em vasos de plástico contendo 3 dm^3. O calcário, fertilizante para básica e os tratamentos (fontes de P e Zn), foram misturados ao solo e, após cada operação, incubados por 30 dias com umidade mantida em 60% da capacidade de retenção de água. Os nutrientes da adubação básica foram fornecidos nas seguintes doses (mg dm^{-3}): N - 50; P - 200 (nas parcelas com Zn); K - 50; S - 50; Si - 50; B - 1; Co - 0,1; Cu - 1; Cl - 5; Mn - 5; Mo - 0,15; Ni - 0,1; Zn - 3 (nas parcelas com P) e Se - 0,1. Após aplicação dos

tratamentos e antes da semeadura do arroz, foram coletadas amostras de solo para análise química. O fornecimento do N e K, em cobertura (perfilhamento pleno e início do florescimento) foi parcelado em duas aplicações, sendo adicionados na forma de solução (mg dm^{-3}): N - 100, K - 100 e S - 25 (aplicado somente na primeira cobertura). Foram colocadas 10 sementes por vaso e procederam-se desbastes periódicos até restarem três plantas por vaso. No período anterior a floração, foram coletadas, em cada vaso, cinco folhas superiores bem desenvolvidas para diagnóstico do estado nutricional do arroz, conforme FAGERIA (1998). Ao final do ciclo do arroz, na ocasião da colheita, foram separados os grãos com casca. As folhas da diagnose foliar e os grãos foram secos em estufa a 65.ºC, mensurada a massa seca e armazenados para análise química (MORAES, 2009).

5.4.1. Desenvolvimento dos cultivos residuais

Cultivo das Plantas de Alface

Após o cultivo do arroz, procedeu-se com nova caracterização da fertilidade das amostras de solo (Tabela 7), para realizar as correções necessárias para o cultivo do alface (TRANI et al., 1997a; 1997b). Procede-se a correção da reação das amostras de solo, aplicando-se uma mistura de $CaCO_3$ + $MgCO_3$ na proporção de 3:1 para elevar a saturação por bases a 80%, e aplicaram-se os nutrientes (N, P, K, e S) necessários, na forma de reagentes pró-análise, visando evitar a contaminação dos tratamentos residuais.

Para a cultura da alface, os nutrientes foram fornecidos com base na análise da fertilidade do solo (Tabela7). A adubação de base complementar consistiu nas seguintes doses (mg dm-3): N - 50; P - 200; K - 50; S - 50. O fornecimento do N, em cobertura, foi parcelado em duas aplicações, a cada 10 dias após o transplantio, sendo adicionados 100 mg dm^{-3} em cada aplicação, na forma de solução. Foram transplantadas e cultivadas duas plantas por vaso. Durante o cultivo da alface foram coletadas amostras foliares (folha diagnose) para a avaliação do estado nutricional da cultura e ao final do cultivo, de cada vaso, todas as folhas foram coletadas, pesadas (massa de matéria fresca), lavadas em água deionizada (Figuras 1 a 5), secas em estufa a 65 ^{o}C, pesadas novamente (massa de matéria seca), moídas,

acondicionadas em frascos plásticos estéreis com tampa e armazenadas para análise química do tecido foliar de P, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb.

As amostras do material vegetal foram digeridas em solução de HNO_3 Purificado + H_2O_2 (Peróxido de Hidrogênio) em sistema de digestão fechado (microondas) e a determinação das concentrações foi realizada em ICPMS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

Tabela 7 - Características químicas das amostras de solos usados no experimento antes do cultivo da cultura de alface

Variáveis[1]	Solos	
	Latossolo Vermelho Amarelo	Latossolo Vermelho
pH ($CaCl_2$)	4,5	4,5
Matéria Orgânica (g dm^{-3})	19	31
P (mg dm^{-3})	34	35
K ($mmol_c$ dm^{-3})	1,5	0,9
Ca ($mmol_c$ dm^{-3})	12	19
Mg ($mmol_c$ dm^{-3})	5	10
H+Al ($mmol_c$ dm^{-3})	33	55
SB ($mmol_c$ dm^{-3})	17,9	30,4
CTC ($mmol_c$ dm^{-3})	51,3	85,1
V (%)	35	35

[1]Extratores: P, K, Ca e Mg = resina; Acidez potencial (H+Al) = tampão SMP

Figura 1 -Transplantio das mudas de alface, em destaque a marcação dos vasos (vaso 67, solo B = argiloso, dose 50 kg ha^{-1} de Fósforo (P), usando como fonte a Mistura P.A. (M)

Figura 2 -Vista geral do experimento na casa de vegetação

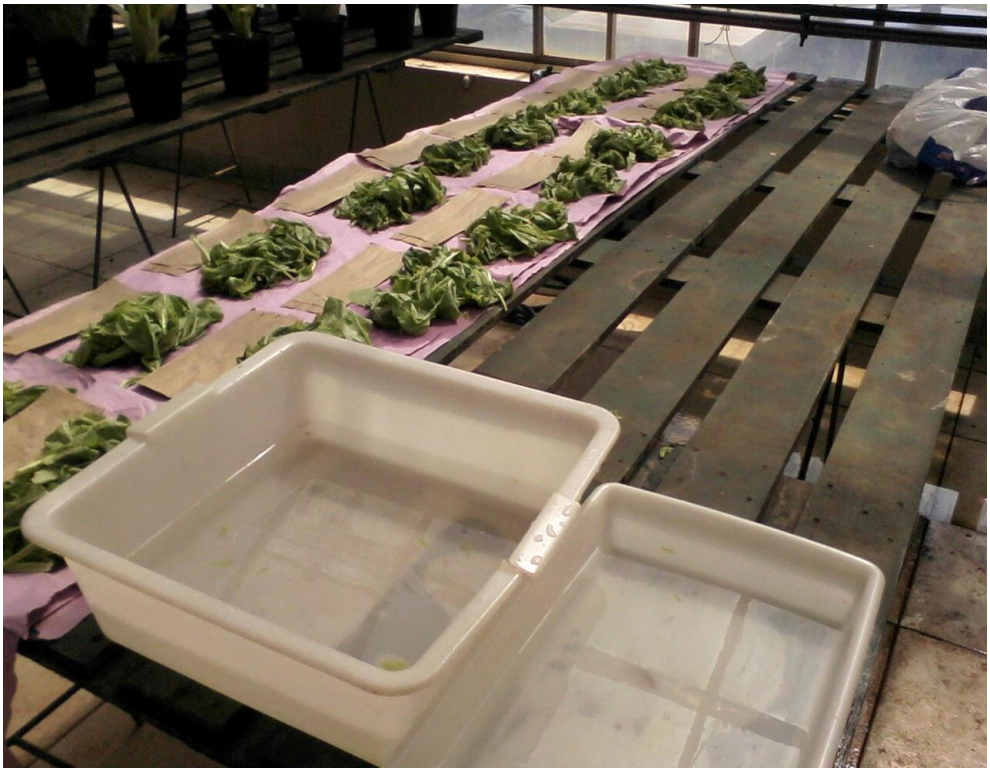

Figura 3 -Coleta do experimento, fase da pesagem da produção de massa fresca, lavagem em água deionizada e pré-secagem

Figura 4 -Folhas de alface coletadas, lavadas e sendo pré-secadas, para serem levadas a estufa

Figura 5 -Pesagem das folhas de alface, após a coleta, para obtenção da produção de massa fresca da cultura

Cultivo das Plantas de Rabanete

O cultivo do rabanete foi realizado em total residual sem a adição de fertilizantes, devido os teores no solo encontrar-se em níveis adequados para o cultivo do mesmo segundo TRANI et al.(1997a; 1997b). A variedade utilizada foi a Crimson Gigante, sendo utilizadas 4 plantas vaso^{-1}, nos mesmos solos, sem adição dos tratamentos

Para avaliação do estado nutricional, em cada vaso, foram coletadas 4 folhas recém desenvolvidas de rabanete, aos 20 dias após o transplante (TRANI; RAIJ, 1997).

Ao final do ciclo do rabanete, na ocasião da colheita (Figuras 6 a 10), foram separadas a parte aérea e raízes. As folhas da diagnose foliar e o material vegetal de parte aérea e raízes foram secos em estufa a 65.ºC, mensurada a massa seca e armazenados para análise química.

As amostras do material vegetal foram digeridas em solução de HNO_3 Purificado + H_2O_2 (Peróxido de Hidrogênio) em sistema de digestão fechado (microondas) e as determinações de concentraçãoforam realizadas em ICPMS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

Figura 6 -Início da colheita da cultura do rabanete

Figura 7 -Cultura do Rabanete no período de colheita

Figura 8 -Limpeza e separação das folhas e raízes para prévia secagem

Figura 9 -Material em pré-secagem antes de ser levado à estufa

Figura 10 -Rabanete após dupla lavagem com água deionizada

5.5. Análises químicas de planta e solo

As amostras de folhas de alface e rabanete foram coletadas, com 25 dias após transplantio, secas em estufa (a 65 ºC), moídas e acondicionadas em frascos plásticos esterilizados. Posteriormente foram digeridas e realizadas determinações dos teores de P e Zn nas folhas. Ao final do cultivo foi coletada toda a parte aérea que também foi seca, moída e digerida para determinação dos teores totais de P, micronutrientes e EPT. Para a cultura do rabanete, após o cultivo, foram realizados os mesmos procedimentos de avaliação, onde no momento da colheita foram separadas as folhas e raízes, as quais foram secas (a 65 ºC), e determinou-se os teores totais de P, Zn e EPT nas raízes.

Para as determinações do estado nutricional (P e Zn) e dos teores de P, micronutrientes e EPT em folhas e raízes, conforme citado anteriormente, as amostras foram digeridas com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) + ácido nítrico (HNO_3) em sistema fechado (microondas). Sempre utilizando reagentes purificados e água ultrapura. A quantificação foi realizada em ICPMS e uma amostra certificada (NIST SRM 1515 “apple leaves”) foi utilizada para garantir a confiabilidade dos resultados (Tabela 8).

Tabela 8 - Teores de EPT em amostras certificadas de farelo de arroz e de folhas de maçã avaliadas por micro-ondas e quantificação em ICPMS

Amostras	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	P
	---------- μg kg^{-1} ----------				----mg kg^{-1}---	
NIST 1515[(1)]						
Certificado[(2)]	13±2	300	470±24	910±120	12,5±0,3	1590±110
Determinado[(3)]	13,3	298	460	900	12	1532,7
% recuperação	102,5	99,1	97,5	97,9	96,0	96,4

[(1)]NIST 1515 “apple leaves”: National Institute of Standards and Technology, amostra de folha de maça certificada; [(2)]Valores de referência; [(3)]Valores determinados durante as análises das folhas de alface com digestão em micro-ondas.

Nas amostras de solo, foram determinados os teores disponíveis de micronutrientes e EPT, extraídos com Mehlich-1, DTPA, $CaCl_2$ 0,05 mol L^{-1} e solução de ácidos orgânicos (EMBRAPA, 1997; ABREU et al., 2001; HUANG et al., 2004; PIRES et al., 2004). Sempre utilizando reagentes purificados e água ultrapura. A quantificação foi realizada em ICPMS e uma amostra certificada (NIST SRM 2709 “San Joaquim Soil”) foi utilizada para garantir a confiabilidade dos resultados.

A digestão por micro-ondas usando HNO_3 purificado e diluído, mais água oxigenada é capaz de evitar contaminações devidas aos utensílios, manuseio durante a análise e EPT presentes nos reagentes analíticos (KRUG; SANTOS JUNIOR, 2006).

5.6. Análises estatísticas

Foram realizadas as análises de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey 5%) para as fontes e os micronutrientes e EPT em função das mesmas, doses, solos e extratores. Regressão entre doses de P e Zn, teores nos solos e teor ou conteúdo de micronutrientes e EPT nas plantas (raízes e folhas). Para realização das analises estatísticas foi utilizado o software Statistical Analysis System - SAS (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Disponibilidade de Cd, Cr, Pb e Ni no solo com efeito de doses e fontes de P e Zn para extração com DTPA, Mehlich-1, Ac. Orgânico e $CaCl_2$

Inicialmente serão apresentados os resultados da disponibilidade de P, Zn, Cd, Cr, Pb e Ni no solo, utilizando os extratores ácidos orgânicos e DTPA, após a fertilização com as fontes e doses de P e Zn utilizadas (Moraes, 2009), visando elevar os níveis desses metais no solo para, posteriormente, realizar-se os cultivo de arroz, alface (residual) e rabanete (residual).

Na Tabela 10 pode-se observar que as a doses de P, independente da fonte utilizada, elevou os teores de P no solo para valores até 140 e 40 vezes no LVA e LV, respectivamente, comparado com o controle. Os teores de Zn no solo também foram alterados com uso da fertilização em diferentes doses, independente da fonte utilizado, obtendo níveis 20 vezes superiores ao controle (Tabela 11).

Os teores de metais nos solos estudados foram aumentados com as doses das fontes de P (Tabela 10), para cádmio e crômio, e das fontes de Zn (Tabela 11), para cádmio e chumbo. Embora os valores tenham sido aumentados, os teores nos solos dos tratamentos com a máxima adição de contaminantes não ultrapassaram os limites para solos agrícolas brasileiros, conforme relatado anteriormente em estudos realizados por Dynia et al. (2000) e Abreu et al. (2005), e também, são inferiores aos teores máximos permitidos por legislações de diversos países sobre teores de contaminantes em solos (Tabela 9).

De modo geral, tanto o superfosfato simples quanto a hidroxiapatita, na dose de 50 mg de P dm^{-3}, foram capazes de incrementar os rendimentos de grãos e os teores de P nos solos para faixa de 16-40 mg dm^{-3}, considerada média (RAIJ et al., 1997). Independente da fonte de zinco utilizada, a menor dose, de 5 mg dm^{-3}, foi suficiente para se obter o mais alto rendimento de grãos (Moraes, 2009) e aumentar o teor no solo para valores considerados altos (RAIJ et al., 1997). Os teores de Zn no solo (Tabela 11), nas doses máximas adicionadas, não alcançaram nível crítico tóxico para arroz de 35 mg kg^{-1} (FAGERIA, 2000).Os resultados obtidos,inicialmente, para os teores de Zn(DTPA) no solo, em função das doses das fontes de Zn: fertilizante, subproduto e mistura pró-análise, para o Latossolo Vermelho-Amarelo e

Latossolo Vermelho são apresentados na Tabela 11. De modo geral, para ambos os solos, os teores de Zn(DTPA) nos solos foram incrementados de modo linear pelas doses das fontes de Zn, seguindo as equações: subproduto ($y = 0,3635x + 0,1475$; $r^2 = 0,999^{**}$); fertilizante ($y = 0,3685x - 0,0275$; $r^2 = 0,987^{**}$); mistura ($y = 0,5485x - 0,4875$; $r^2 = 0,986^{**}$) para LVA e subproduto ($y = 0,4055x + 0,0575$; $r^2 = 0,993^{**}$); fertilizante ($y = 0,3865x + 0,4825$; $r^2 = 0,999^{**}$); mistura ($y = 0,5065x - 0,0175$; $r^2 = 0,995^{**}$) para o LV, sendo que a mistura pró-análise propiciou teores superiores aos do fertilizante e subproduto, que apresentaram teores semelhantes, devido essa conter os elementos na forma mais disponível e facilmente extraída pelo DTPA.

Nas Figuras 11 e 12, observa-se a correlação entre Cd adicionado e Cd no solo, nas diferentes fontes e doses de P e Zn, respectivamente, para as fontes de P, observou-se que a solubilidade das fontes interferiu na disponibilidade do Cd, sendo os maiores incrementos nas fontes mais solúveis. Dentre as fontes de Zn utilizadas, a disponibilidade de Cd não apresentou diferenças no LV, dentre as fontes utilizadas, enquanto que no LVA a disponibilidade de Cd foi maior na Mistura PA.

Tabela 9 - Valores máximos permissíveis de EPT no solo pelas legislações de alguns países[(1)]

País	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg
	----------mg kg^{-1}----------					
Holanda						
Mat. Org. e Argila 0%	15	39	0,4	50	50	0,2
Mat. Org 10% e Argila 25%	29	200	0,8	100	85	0,3
Austrália	-	-	1,0	-	20	0,2
Bélgica/Luxemburgo	-	-	1-3	-	-	-
Japão	-	-	<1,0	-	-	-
Áustria	-	-	1,0	-	-	-
Dinamarca	-	-	0,5	-	-	-
Finlândia	-	-	0,5	-	-	-
Alemanha	-	-	1,0	-	-	-
CETESB	3,5	-	<0,5	40	17	0,05
SANEPAR						
pH< 7	-	-	1	100	50	1,0
pH > 7	-	-	3	150	300	1,5
Portugal						
pH < 5,5	-	-	1	50	50	1,0
pH 5,5 a 7,0	-	-	3	200	300	1,5

[(1)] Copilado por Malavolta e Moraes (2006); CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo; SANEPAR: Companhia de Saneamento do Paraná; –, valor não estabelecido.

Tabela 10 - Teores de Fósforo (resina) e EPT disponíveis nos solos experimentais, após a adição das doses de P, extraídos com solução de ácidos orgânicos e DTPA

Fonte	Fósforo		Cádmio		Crômio		Níquel		Chumbo	
	Dose	Solo	AO	DTPA	AO	DTPA	AO	DTPA	AO	DTPA
	--mg dm^{-3}--		----------µg dm^{-3}----------						-mg dm^{-3}-	
					Latossolo Vermelho-Amarelo					
Controle	0	2	34	4	191	<1,3	165	23	1,2	1,1
Subproduto	50	16	32	6	191	<1,3	161	25	1,2	1,2
	100	32	37	6	190	<1,3	158	24	1,2	1,1
	200	57	44	8	198	<1,3	165	24	1,2	1,1
	400	93	52	12	202	<1,3	178	24	1,3	1,2
Fertilizante	50	21	41	18	196	<1,3	185	28	1,2	1,1
	100	39	46	29	250	<1,3	221	31	1,1	1,2
	200	74	55	36	265	<1,3	368	35	1,0	1,1
	400	195	67	73	306	<1,3	386	53	0,7	1,1
Mistura PA	50	26	34	13	279	<1,3	354	26	1,2	1,1
	100	77	41	23	317	<1,3	368	25	1,0	1,1
	200	124	47	33	314	<1,3	339	27	1,0	1,1
	400	281	55	60	394	<1,3	403	28	0,8	1,1
DMS (Tukey 5%)		*7*	*12*	*8*	*86*	*-*	*60*	*3*	*0,2*	*0,2*
					Latossolo Vermelho					
Controle	0	6	27	4	988	<1,3	321	26	1,8	1,6
Subproduto	50	11	23	5	1030	<1,3	372	27	1,9	1,7
	100	16	26	6	1137	<1,3	676	26	2,0	1,7
	200	26	25	8	1255	<1,3	433	26	2,0	1,6
	400	43	22	13	1132	<1,3	328	28	1,8	1,7
Fertilizante	50	16	23	14	1116	<1,3	315	30	1,9	1,7
	100	26	32	21	1323	<1,3	395	31	2,0	1,6
	200	71	40	49	1391	<1,3	507	43	1,9	1,8
	400	159	55	66	1580	<1,3	659	38	1,6	1,7
Mistura PA	50	22	22	17	1267	<1,3	614	27	2,0	1,6
	100	72	21	21	1257	<1,3	548	54	2,0	1,7
	200	99	50	46	1329	<1,3	602	30	1,8	1,7
	400	249	70	75	1530	<1,3	737	33	1,7	1,6
DMS (Tukey 5%)		*6*	*27*	*35*	*168*	*-*	*177*	*38*	*0,2*	*0,2*

Tabela 11 - Teores de Zinco (DTPA) e EPT disponíveis nos solos experimentais, após a adição das doses de Zn, extraídos com solução de ácidos orgânicos e DTPA

Fonte	Zinco		Cádmio		Crômio		Níquel		Chumbo	
	Dose	Solo	AO	DTPA	AO	DTPA	AO	DTPA	AO	DTPA
	mg dm^{-3}		----------µg dm^{-3}----------						-mg dm^{-3}-	
					Latossolo Vermelho-Amarelo					
Controle	0	0,5	5,0	4,3	329	<1,3	723	40	1,3	1,3
Subproduto	5	1,9	5,0	5,0	328	<1,3	1006	40	1,4	1,3
	10	3,8	6,7	4,7	338	<1,3	721	42	1,4	1,3
	20	6,8	8,3	6,3	344	<1,3	637	42	1,5	1,4
	40	15,0	13,0	6,7	363	<1,3	604	44	1,7	1,6
Fertilizante	5	1,6	4,3	4,3	343	<1,3	568	41	1,3	1,3
	10	3,9	5,3	4,3	338	<1,3	447	40	1,4	1,2
	20	6,3	5,3	4,7	332	<1,3	328	42	1,4	1,3
	40	15,2	5,0	6,0	337	<1,3	287	47	1,4	1,4
Mistura PA	5	2,6	4,7	4,3	340	<1,3	276	43	1,4	1,3
	10	3,8	6,0	7,0	336	<1,3	263	43	1,4	1,5
	20	9,5	8,7	7,7	345	<1,3	247	44	1,5	1,9
	40	22,2	20,0	19,3	361	<1,3	353	52	1,7	2,2
DMS (Tukey 5%)		*1,8*	*5,8*	*3,1*	*58*	*-*	*167*	*5*	*0,3*	*0,3*
					Latossolo Vermelho					
Controle	0	0,6	5,6	4,0	1188	<1,3	225	36	2,0	2,0
Subproduto	5	2,2	6,3	5,0	1151	<1,3	207	34	2,0	2,0
	10	3,7	9,3	6,0	1207	<1,3	221	36	2,0	2,1
	20	7,5	8,0	7,0	1189	<1,3	189	39	2,1	2,1
	40	16,7	11,3	9,6	1204	<1,3	182	40	2,2	2,3
Fertilizante	5	2,5	5,3	4,7	1174	<1,3	171	36	2,0	2,0
	10	4,1	5,7	5,0	1245	<1,3	170	35	2,1	2,0
	20	8,4	7,0	5,0	1195	<1,3	173	36	2,1	2,0
	40	15,9	7,6	5,7	1170	<1,3	200	38	2,0	2,0
Mistura PA	5	2,6	7,0	4,7	1168	<1,3	166	35	2,0	2,0
	10	4,6	11,7	5,7	1203	<1,3	164	34	2,1	2,1
	20	9,4	11,0	6,3	1214	<1,3	168	37	2,1	2,8
	40	20,7	16,0	12,0	1211	<1,3	177	40	2,4	2,8
DMS (Tukey 5%)		*3,8*	*8,7*	*3,4*	*174*	*-*	*50*	*3*		*0,6*

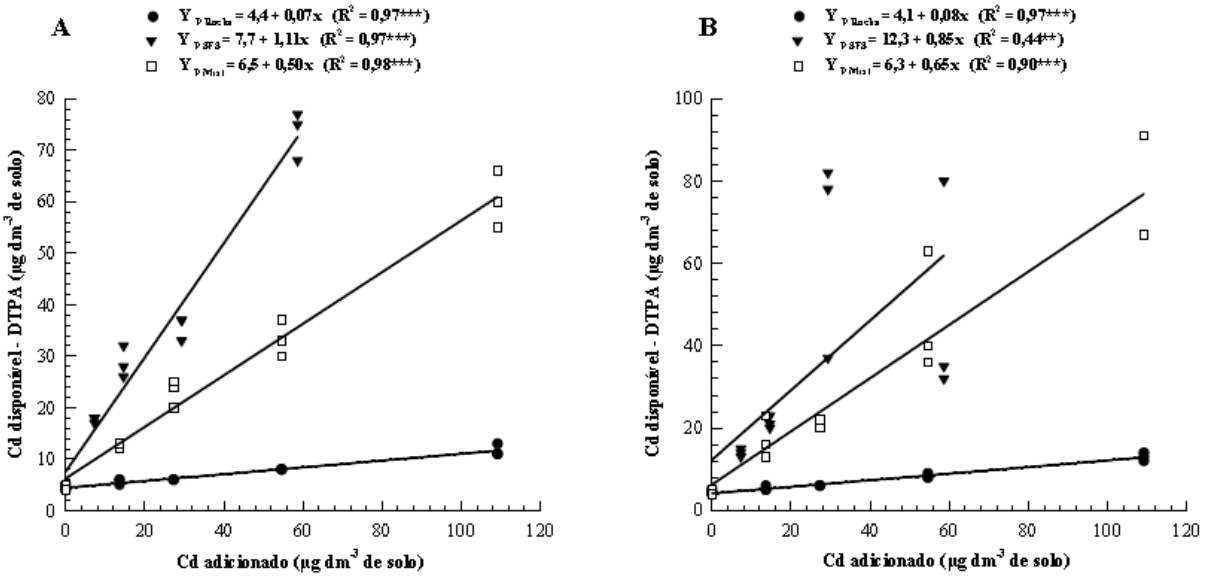

Figura 11 - Relações entre o Cd adicionado e o disponível nos solos LVA (A) e LV (B), fertilizados com três fontes de fósforo: subproduto (●), fertilizante (▼) e mistura pró-análise de igual composição ao subproduto (□)

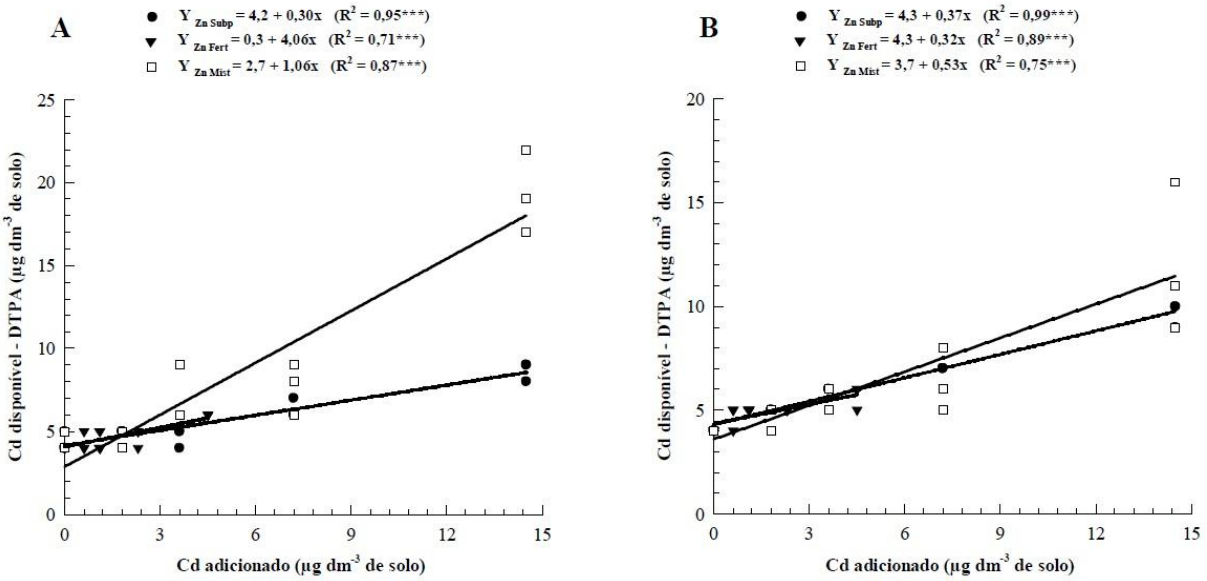

Figura 12 - Relações entre o Cd adicionado e o disponível nos solos LVA (A) e LV (B), fertilizados com três fontes de zinco: subproduto (●), fertilizante (▼) e mistura pró-análise de igual composição ao subproduto (□)

Experimento de Fontes de Fósforo

Após o cultivo do arroz, foram realizadas novas coletas de solo para determinarmos os teores presentes dos solos de P, Ni, Cr, Cd e Pb, visando os próximos cultivos sequenciais de alface e rabanete no mesmo solo, sem que haja a introdução, novamente, dos fertilizantes e EPT. Na Tabela 12 podemos observar os valores de P determinados pelos métodos de extração USEPA 3051A, Resina e Mehlich-1, em todos os métodos utilizados, os teores de P no solo continuaram apresentando diferenças entre as doses utilizadas, mesmo após o cultivo da cultura do arroz, conforme podemos observar as equações: $Y_{Ptotal\ LVA} = 0{,}0447x^2 + 4{,}4826x + 156{,}14$; $r^2 = 0{,}991^*$, $Y_{Ptotal\ LV} = -0{,}2888x^2 + 20{,}637x + 180{,}93$; $r^2 = 0{,}991^*$, $Y_{Presina\ LVA} = 0{,}00026x^2 - 0{,}0489x + 37{,}341$; $r^2 = 0{,}729^*$, $Y_{Presina\ LV} = 0{,}0588x + 27{,}733$; $r^2 = 0{,}838^{**}$, $Y_{Pmehlich1\ LVA} = 0{,}00034x^2 + 0{,}227x + 9{,}44$; $r^2 = 0{,}985^{**}$, $Y_{Pmehlich1\ LV} = 0{,}00063x^2 + 0{,}066x + 12{,}15$; $r^2 = 0{,}995^{**}$.

As doses de fertilizantes aplicadas foram muito superiores ao recomendado e, consequentemente, as adições de EPT também foram maiores. Devido ao uso de reagentes e água de alta pureza nas análises, assim como também, da quantificação dos elementos em ICPMS, foi possível determinar com confiabilidade, teores de EPT no solo em valores muito baixos, da ordem de micrograma por dm^3 ou kg de massa seca vegetal.

Para as fontes de P utilizadas, observaram-se diferenças significativas no LVA, apenas quando se utilizou o extrator mehlich-1, no LV as diferenças foram observadas no P extraído por resina e mehlich-1 (Tabela 12).

O extrator DTPA tem apresentado bons resultados na avaliação da disponibilidade de Pb e Cd adicionado via fertilizantes e cultivados com hortaliças nos EUA (HUNG; KUO; BEMBENEK, 2003, 2004, 2005), o que corrobora os resultados do presente estudo. O uso de solução contendo ácidos orgânicos como extrator de metais do solo foi proposto por Pires, Mattiazzo e Berton (2004), tentando simular as reações que acontecem na rizosfera das raízes das plantas, crítica feita aos extratores químicos que não são capazes de simular as reações que ocorrem nessa região. Entretanto, em todos os casos, a exceção para extração de Pb, os valores obtidos de Ni (Tabelas 13 e 18), Cr (Tabelas 14 e 19) foram consideravelmente maiores que o extraídos pelo DTPA, possivelmente devido ao seu baixo pH (1,1).

Tabela 12 - Valores de F e teores de Fósforo (mg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho		
	Total(1)	Resina	Mehlich1	Total(1)	Resina	Mehlich1
Subproduto	252,3	37,33	78,19a	372,1	37,58ab	69,35a
Fertilizante	241,2	40,54	23,20b	350,5	27,27b	16,64b
Mistura PA	249,2	45,41	77,19a	348,1	44,81a	61,58a
Dose 0	162,3	43,23	15,90	169,9	22,60	12,10
Dose 50	178,2	25,03	12,05	283,2	32,18	12,53
Dose 100	191,6	37,74	35,78	376,8	39,55	23,08
Dose 200	274,7	40,59	74,38	461,6	38,20	54,43
Dose 400	405,1	58,88	159,52	547,2	50,23	140,02
Valores de F						
Fontes (F)	2,821 NS	1,397 NS	9,777**	1,421 NS	8,721**	7,099**
Doses (D)	4,267*	7,496**	4,518*	3,599*	6,944**	6,396*
F x D	3,001 NS	0,781 NS	2,054 NS	2,921 NS	2,441 NS	1,344 NS
DMS	39,8	12,03	15,47	41,3	10,44	9,98
CV (%)	22,12	32,39	12,22	21,94	31,62	13,32
Média	244,3	41,09	59,52	363,7	36,55	49,19

NS – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%; (1)método de extração USEPA 3051A

Tabela 13 - Valores de F e teores de Níquel (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	2,43b	170,4a	90,3	48,2	3,17b	135,9b	161,0a	47,6
Fertilizante	3,07b	178,8a	86,2	51,8	3,55b	153,8a	70,6b	50,8
Mistura PA	10,8a	140,1b	97,4	44,1	7,73a	126,9b	85,9b	51,2
Dose 0	3,85	131,9	84,5	41,2	4,15	129,1	89,5	39,7
Dose 50	2,18	155,0	75,1	43,3	1,65	149,2	199,9	49,6
Dose 100	4,61	168,6	87,0	52,4	5,02	129,0	79,0	54,8
Dose 200	9,16	192,6	102,6	52,6	5,35	136,5	63,8	50,2
Dose 400	7,10	170,3	102,4	52,3	7,91	150,8	97,1	54,8
Valores F								
Fontes (F)	6,264*	6,065*	2,255NS	1,850NS	6,059*	7,735*	4,560**	2,888NS
Doses (D)	5,934*	4,208*	8,018**	2,433NS	3,988*	3,656*	2,977NS	3,590NS
F x D	2,357NS	1,908NS	3,996NS	2,212NS	1,291NS	1,983	2,165NS	1,446NS
DMS	1,15	20,06	19,21	10,43	0,81	18,89	30,31	9,33
CV (%)	18,06	5,27	8,62	9,65	14,45	5,47	8,32	7,43
Média	5,44	163,1	91,3	48,1	4,81	138,9	105,8	49,8

NS – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Na Tabela 13, observa-se que os extratores atuaram diferentemente na extração do níquel, sendo que para o $CaCl_2$ as maiores disponibilidades foram

observadas na Mistura PA, devido essa ser a fonte mais solúvel. Para os extratores mais ácidos a disponibilidade desse elemento foi maior no subproduto. Nas doses avaliadas, observou-se que, exceto o extrator DTPA, todos extratores quantificaram diferenças crescentes entre a dose de P e teores de Ni no solo conforme as equações: $Y_{NiCaCl\ LVA} = -0{,}00006x^2+0{,}038x+2{,}44$; $r^2=0{,}634^{**}$, $Y_{NiAO\ LVA} = -0{,}001x^2+0{,}519x+129{,}5$; $r^2=0{,}994^{**}$, $Y_{NiMehlich\ LVA} = 0{,}054x+83{,}143$; $r^2=0{,}551^{*}$, $Y_{NiCaCl\ LV} = 0{,}012x+3{,}004$; $r^2=0{,}716^{*}$, $Y_{NiAO\ LV} = 0{,}038x+133{,}17$; $r^2=0{,}322^{*}$.

O uso dos extratores $CaCl_2$ e DTPA, devido esses serem extratores pouco ácidos, o valores extraídos de Cr ficaram abaixo do limite de detecção do ICPMS (Tabela 14). Para os extratores com pH menor, ácidos orgânicos e mehlich-1, pode se observar diferenças significativas entre as fontes, sendo que para o subproduto de P observou-se os maiores teores de Cr no solo. Também em ambos extratores ácidos observou valores crescentes de Cr entre as doses utilizadas de P, conforme as equações: $Y_{CrAO\ LVA} = 0{,}0006x^2 + 1{,}326x + 148{,}5$; $r^2=0{,}975^{*}$, $Y_{CrMehlich\ LVA} = -0{,}0001x^2 + 0{,}141x + 10{,}02$ $r^2=0{,}966^{*}$, $Y_{CrAO\ LV}= -0{,}0126x^2 + 6{,}887x + 150{,}57$; $r^2=0{,}985^{**}$, $Y_{CrMehlich\ LV} = -0{,}0006x^2 + 0{,}368x + 12{,}95$; $r^2=0{,}988^{**}$.

Tabela 14 - Valores de F e teores de Crômio (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	<1	309,8	40,9a	<1	<1	646,8b	58,4a	<1
Fertilizante	<1	321,4	21,6b	<1	<1	555,1c	32,7b	<1
Mistura PA	<1	335,2	14,6b	<1	<1	735,6a	39,9b	<1
Dose 0	<1	125,1	12,5	<1	<1	124,0	12,7	<1
Dose 50	<1	233.6	12,8	<1	<1	529,7	32,5	<1
Dose 100	<1	305,1	22,5	<1	<1	667,8	40,1	<1
Dose 200	<1	358,7	35,1	<1	<1	1026,8	65,4	<1
Dose 400	<1	589,5	45,3	<1	<1	881,1	67,6	<1
Valores F								
Fontes (F)	-	$2{,}915^{NS}$	5,254*	-	-	5,254*	4,451*	-
Doses (D)	-	4,819*	3,508*	-	-	5,901**	5,838**	-
F x D	-	$1{,}888^{NS}$	$2{,}013^{NS}$	-	-	$2{,}218^{NS}$	$2{,}952^{NS}$	-
DMS	<1	36,7	7,58	<1	<1	63,5	8,85	<1
CV (%)	-	4,44	5,25	-	-	4,43	7,54	-
Média	<1	322,2	25,7	<1	<1	645,8	43,6	<1

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

O Cd que é o EPT mais perigoso, pouco aumentou no solo, apresentando o teor máximo de 0,1 mg dm^{-3} quando extraído com Mehlich-1, no experimento com fontes e doses de P (Tabela 15). Segundo Kabata-Pendias e Mukherjee (2007), o teor "total" natural de Cd para maioria dos solos pode variar entre 0,06 e 1,1 mg kg^{-1}.

Análises de 8.702 amostras de solos do Estado de São Paulo utilizando extrator DTPA apresentaram os seguintes teores (mg dm^{-3}): Cd de 0,0 - 3,4, com valor médio de 0,02; Pb de 0,0 - 63,9, com valor médio de 0,85; Ni de 0,0 – 65,1, com valor médio de 0,18 e Cr de 0,0 - 42,9, com valor médio de 0,03 (ABREU et al., 2005). Dynia et al. (2000), encontraram teores de Cd extraído por DTPA variando entre 0,00 e 0,23 mg dm^{-3}, ao analisarem 384 amostras de solos fertilizados com altas doses de fósforo e cultivados com frutíferas irrigadas na região do vale do Rio São Francisco.

Neste trabalho pode-se observar ao utilizamos extratores com menores valores de pH (ácidos orgânicos e mehlich-1), a fonte subproduto apresentou os maiores teores de Cd no solo, devido essa apresentar menor solubilidade e possivelmente esse elemento não ter sido absorvido durante a cultura do arroz, pois os valores adicionados de Cd nas fontes, subproduto e mistura PA, foram idênticas.

Tabela 15. Valores de F e teores de Cádmio (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados.

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	8,5	30,3a	63,7a	33,2b	6,6	46,3a	48,4a	28,4c
Fertilizante	13,4	21,9b	51,9b	54,6a	7,9	27,8b	32,7b	42,8a
Mistura PA	11,4	29,5a	42,4c	38,9b	8,3	43,9a	31,8b	35,8b
Dose 0	16,1	13,6	12,3	81,3	9,0	13,5	12,5	55,1
Dose 50	5,6	25,2	32,4	25,1	3,2	39,5	23,3	19,9
Dose 100	5,9	27,1	42,0	24,3	4,1	46,3	32,1	20,8
Dose 200	8,4	32,3	61,8	24,6	4,4	51,9	43,8	20,4
Dose 400	16,5	37,9	115,1	55,8	7,4	45,3	76,8	35,5
Valores F								
Fontes (F)	$3,849^{NS}$	3,668*	6,042*	6,227*	$2,147^{NS}$	3,132*	4,716*	4,582*
Doses (D)	$3,300^{NS}$	4,863*	5,651*	$3,850^{NS}$	$2,999^{NS}$	4,797*	3,580*	$3,242^{NS}$
F x D	$2,531^{NS}$	$1,995^{NS}$	$0,908^{NS}$	$3,010^{NS}$	$1,598^{NS}$	$0,750^{NS}$	$1,984^{NS}$	$2,948^{NS}$
DMS	5,4	3,9	8,9	7,2	3,5	10,5	9,1	6,8
CV (%)	3,17	5,83	8,25	6,54	4,77	3,9	11,41	6,8
Média	11,1	27,2	52,7	42,2	7,6	39,3	37,6	33,6

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Dentre as doses de P adicionadas (Tabela 15), observa-se que, de modo geral, houve incremento dos teores Cd com aumento das doses, porem as diferenças estatísticas foram observadas somente para os extratores ácidos orgânicos e mehlich-1, conforme as equações: $Y_{CdAO\ LVA} = -0{,}0002x^2 + 0{,}126x + 15{,}98$; r^2=0, 938*, $Y_{CdMehlich\ LVA} = 0{,}246x + 15{,}71$; r^2=0,992*, $Y_{CdAO\ LV} = -0{,}0006x^2 + 0{,}313 + 18{,}84$; r^2=0, 894*, $Y_{CdMehlich\ LV} = 0{,}155x + 14{,}27$; r^2=0,994*.

O uso do $CaCl_2$ como extrator, para determinar os teores de Pb no solo, apresentou valores abaixo do limite de detecção do ICPMS (Tabela 16). Para os demais extratores utilizados, os valores observados foram significativos entre as fontes utilizadas, sendo que, de modo geral o uso de mistura PA como fonte de P apresentaram os maiores teores de Pb no solo. Nas doses adicionadas de P observou-se diferenças significativas apenas quando se utilizou o DTPA como extrator, apresentando neste, acréscimo dos teores de Pb no solo com o aumento das doses de P, nos dois solos avaliados, conforme as equações: $Y_{PbDTPA\ LVA} = 0{,}252x + 862{,}34$; r^2=0,777*, $Y_{PbDTPA\ LV} = -0{,}0059x^2 + 2{,}98x + 868{,}27$ r^2=0,929*.

Tabela 16 - Valores de F e teores de Chumbo (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	<1	200,3b	731,5	947,2a	<1	707,2a	551,3b	1123
Fertilizante	<1	189,9b	689,7	915,6a	<1	454,0b	594,7a	994
Mistura PA	<1	585,9a	627,6	837,8b	<1	784,9a	608,7a	1073
Dose 0	<1	624,9	595,1	831,6	<1	601,5	568,2	831
Dose 50	<1	388,9	709,9	903,6	<1	854,7	618,5	1066
Dose 100	<1	198,6	623,7	895,9	<1	700,8	600,2	1092
Dose 200	<1	100,1	763,9	911,6	<1	652,7	517,3	1210
Dose 400	<1	314,2	722,1	958,3	<1	410,6	593,4	1116
Valores F								
Fontes (F)	-	4,457*	$3{,}112^{NS}$	5,388*	-	4,409*	3,726*	$1{,}794^{NS}$
Doses (D)	-	$1{,}220^{NS}$	$2{,}621^{NS}$	3,999*	-	$2{,}263^{NS}$	$2{,}021^{NS}$	5,025*
F x D	-	$2{,}599^{NS}$	$1{,}320^{NS}$	$3{,}181^{NS}$	-	$1{,}325^{NS}$	$1{,}324^{NS}$	$3{,}680^{NS}$
DMS	<1	43,2	112,1	53,1	<1	50,5	24,9	156,8
CV (%)	-	5,81	2,40	5,04	-	4,02	3,65	4,57
Média	<1	325,3	682,9	900,2	<1	648,7	584,9	1063

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Experimento de Fontes de Zinco

Após o cultivo do arroz, foram realizadas novas coletas de solo para determinarmos os teores presentes dos solos de Zn, Ni, Cr, Cd e Pb, visando os próximos cultivos sequenciais de alface e rabanete no mesmo solo, sem que haja a introdução, novamente, dos fertilizantes e EPT. Na Tabela 17 podemos observar os valores de P determinados pelos métodos de extração USEPA 3051A, Ácidos Orgânicos, Mehlich e DTPA, em todos os métodos utilizados, os teores de P no solo continuaram apresentando diferenças entre as doses utilizadas, mesmo após o cultivo da cultura do arroz, conforme podemos observar as equações abaixo: $Y_{Zntotal\ LVA} = 0{,}0167x^2 - 0{,}279x + 22{,}591$; $r^2=92{,}54^{**}$, $Y_{ZnAO\ LVA} = -0{,}0139x^2+0{,}654x+4{,}352$; $r^2=46{,}96^{*}$, $Y_{ZnMehlich\ LVA} = -0{,}0059x^2+0{,}339x+2{,}535$; $r^2=44{,}91^{*}$, $Y_{ZnDTPA\ LVA} = 0{,}0028x^2 +0{,}052x+1{,}603$; $r^2=96{,}49^{*}$, $Y_{Zntotal\ LV} = 0{,}0105x^2 + 0{,}3099x + 28{,}414$; $r^2=97{,}01^{**}$, $Y_{ZnAO\ LV} = -0{,}0054x^2+0{,}443x+2{,}397$; $r^2=95{,}98^{*}$, $Y_{ZnMehlich\ LV} = -0{,}0021x^2 +0{,}234x+1{,}423$; $r^2=96{,}07^{*}$, $Y_{ZnDTPA\ LV} = 0{,}0045x2-0{,}035x+1{,}665$; $r^2=96{,}78^{**}$.

Houve influência do tipo de fonte, em geral, para o fertilizante Zn, devido à acidulação no processo de fabricação para tornar o Zn mais disponível, também torna os contaminantes mais disponíveis.

Tabela 17 - Valores de F e teores de Zinco (mg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	Total(1)	AO	Mehlich	DTPA	Total(1)	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	29,8	5,1c	3,8c	2,7b	36,2	6,9	4,4a	3,2a
Fertilizante	24,1	8,2b	6,3a	4,3a	39,1	6,6	3,8b	3,2a
Mistura PA	27,5	11,4a	5,1b	3,8a	37,8	6,8	3,9b	2,7b
Dose 0	24,7	3,1	1,8	2,1	30,2	3,1	1,8	2,1
Dose 5	18,5	6,5	3,3	1,2	26,8	3,3	1,7	0,9
Dose 10	21,3	14,2	8,5	2,2	33,8	6,6	3,8	1,6
Dose 20	25,2	8,7	4,9	4,3	39,4	9,4	5,4	3,1
Dose 40	37,9	8,7	6,8	8,2	57,5	11,4	7,3	7,4
Valores F								
Fontes (F)	$2{,}194^{NS}$	7,006**	4,094*	3,157*	$1{,}534^{NS}$	$2{,}267^{NS}$	3,412*	3,212*
Doses (D)	4,025*	5,012*	5,487*	3,242*	5,025*	3,629*	7,066*	4,421*
F x D	$0{,}980^{NS}$	$2{,}719^{NS}$	$3{,}012^{NS}$	$2{,}812^{NS}$	$2{,}680^{NS}$	$2{,}512^{NS}$	$1{,}619^{NS}$	$3{,}052^{NS}$
DMS	10,1	1,4	0,9	0,8	15,2	0,5	0,4	0,3
CV (%)	5,92	4,26	3,82	5,24	9,01	3,75	4,21	4,41
Média	26,1	8,2	5,1	3,6	37,6	6,7	4,0	3,1

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%; (1)método de extração USEPA 3051A

A influência da acidulação na disponibilização do Cd foi estudada em rocha fosfática por Iretskaya, Chien e Menon (1998). Os autores observaram que com a acidulação, o Cd do fertilizante disponível em DTPA, que antes era de menos de 5%, aumentou para valores acima de 50% no fertilizante totalmente acidulado. Esses autores verificaram que o arroz absorveu maiores quantidades de Cd no tratamento com fosfato totalmente acidulado. A diferença de solubilidade do Cd contido em fosfatos de rocha e em fertilizantes tem sido relatada em experimentos realizados no Brasil (PROCHNOW; PLESE; ABREU, 2001; MENDES et al., 2006; GONÇALVES et al., 2008). Diferentemente, neste trabalho observou-se que, em efeito residual, as fontes menos solúveis apresentaram maiores teores de Cd no solo, provavelmente pela absorção desse elemento no primeiro cultivo (arroz).

Diferente dos resultados observados no experimento com fontes e doses de P, ao testarmos fontes e doses Zn, o tipo de solo interferiu nos resultados observados entre os extratores (Tabela 18). O efeito das doses de Zn, no incremento dos teores de Ni, foi observado somente ao utilizarmos o extrator DTPA: $Y_{NiDTPA\ LVA} = 0{,}256x + 42{,}45$; $r^2=0{,}703^*$, $Y_{NiDTPA\ LV} = -0{,}00015x^2+0{,}088x+43{,}07$; $r^2=0{,}621^*$.

Tabela 18 - Valores de F e teores de Níquel (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	7,3b	127,5	98,7a	46,6	9,2b	121,9	106,1a	55,9a
Fertilizante	4,7c	135,4	50,3b	44,2	24,7a	116,7	52,4c	44,2b
Mistura PA	10,2a	132,4	90,5a	48,1	7,0b	127,8	87,2b	48,2b
Dose 0	4,1	129,1	89,5	39,7	4,8	124,1	85,3	40,8
Dose 5	7,8	128,5	84,1	45,9	17,5	119,6	76,8	48,6
Dose 10	7,5	144,9	83,9	47,9	23,8	114,3	86,6	54,7
Dose 20	8,1	129,6	57,7	44,9	4,4	123,5	92,0	52,1
Dose 40	9,4	126,7	84,0	53,1	18,4	124,2	64,4	52,2
Valores F								
Fontes (F)	5,565*	$3{,}276^{NS}$	4,553*	$2{,}129^{NS}$	3,802*	$2{,}821^{NS}$	3,581*	4,555*
Doses (D)	$2{,}809^{NS}$	$2{,}841^{NS}$	$3{,}281^{NS}$	5,276*	$1{,}021^{NS}$	$3{,}217^{NS}$	$2{,}160^{NS}$	3,617*
F x D	$1{,}527^{NS}$	$1{,}451^{NS}$	$2{,}864^{NS}$	$0{,}183^{NS}$	$0{,}921^{NS}$	$2{,}992^{NS}$	$2{,}212^{NS}$	$1{,}180^{NS}$
DMS	2,4	10,2	8,4	5,8	3,9	10,2	6,9	4,3
CV (%)	13,67	3,59	5,81	4,90	6,69	1,55	7,21	5,66
Média	7,4	131,8	79,6	46,3	13,6	121,1	81,9	49,4

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Na determinação dos teores de Cr, os extratores $CaCl_2$ e DTPA, apresentaram teores abaixo dos limites de detecção do ICPMS, para os extratores ácidos orgânicos e mehlich-1, observou-se diferenças significativas entre as fontes de Zn, porém com interferência do tipo de solo (Tabela 19). As doses de Zn também diferenciaram os teores de Cr no solo, conforme as equações: $Y_{CrAO\ LVA} = 0,152x^2 - 0,058x + 133,05$; $r^2=0,992^*$, $Y_{CrAO\ LV} = -1,399x^2 + 61,579x + 283,36$ $r^2=0,743^*$, $Y_{CrMehlich\ LV} = -0,072x^2 + 3,217x + 20,73$ $r^2=0,753^*$

Tabela 19 - Valores de F e teores de Crômio (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	<1	121,1c	12,4b	<1	<1	677,6a	45,2a	<1
Fertilizante	<1	180,5b	9,0b	<1	<1	612,6b	35,6b	<1
Mistura PA	<1	289,6a	16,7a	<1	<1	547,2c	34,5b	<1
Dose 0	<1	124,0	12,7	<1	<1	334,1	22,7	<1
Dose 5	<1	147,1	12,5	<1	<1	771,1	46,7	<1
Dose 10	<1	153,5	10,0	<1	<1	808,2	46,6	<1
Dose 20	<1	184,1	8,9	<1	<1	824,6	50,5	<1
Dose 40	<1	376,8	19,4	<1	<1	534,3	35,4	<1
Valores F								
Fontes (F)	-	6,828*	5,023*	-	-	3,811*	6,552*	-
Doses (D)	-	5,489*	$2,916^{NS}$	-	-	4,751*	6,812*	-
F x D	-	$3,099^{NS}$	$0,982^{NS}$	-	-	$3,221^{NS}$	$2,888^{NS}$	-
DMS	<1	30,6	4,1	<1	<1	47,2	8,2	<1
CV (%)	-	5,92	10,28	-	-	3,72	4,93	-
Média	<1	197,1	12,7	<1	<1	642,4	38,4	<1

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

O uso de fontes e doses de Zn, não afetaram os teores de Cd no LV (Tabela 20), no LVA as doses crescentes de Zn também não apresentaram aumento significativo dos teores de Cd no solo, porem podemos observar que, em efeito residual, no LVA, o uso de fontes com baixa solubilidade (subproduto de Zn) apresentaram os maiores teores de Cd determinado, em todos extratores utilizados. Para os teores de Pb no solo, as fontes e doses de Zn, apresentaram diferenças significativas em todos extratores, exceto o $CaCl_2$, que apresentou teores abaixo de limite de detecção do ICPMS (Tabela 21). Observa-se que no LVA, o uso da mistura PA, como fonte de Zn, elevou os teores de Pb no solo, diferente do LV, onde essa fonte apresentou o menores teores. As doses de Zn elevaram significativamente os

teores de Pb no solo, principalmente no LVA: $Y_{PbAO\ LVA} = 0{,}0759x^2 + 5{,}033x + 618{,}4$; r^2=0, 987*, $Y_{PbMehlich\ LVA} = -0{,}252x^2 + 10{,}924x + 602{,}25$; r^2=0,741*, $Y_{PbDTPA\ LVA} = -0{,}136x^2 + 13{,}227x + 839{,}27$; r^2=971**, $Y_{PbDTPA\ LV} = -0{,}324x^2 + 24{,}836x + 923{,}51$; r^2=823*.

Tabela 20 - Valores de F e teores de Cádmio (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	7,6a	29,3a	35,4a	46,9a	4,5	31,6	12,5	28,2
Fertilizante	6,4b	20,3b	13,3b	23,5b	4,0	33,8	9,2	26,2
Mistura PA	7,6a	16,6b	13,6b	24,9b	3,8	28,9	14,6	27,2
Dose 0	9,0	13,6	12,3	70,2	8,5	15,6	9,8	30,3
Dose 5	2,7	38,5	48,4	13,9	2,6	38,5	11,3	25,7
Dose 10	3,8	19,2	18,2	37,7	2,6	34,2	9,9	27,6
Dose 20	4,6	16,6	14,4	14,7	2,5	34,4	9,3	27,9
Dose 40	5,7	22,3	10,5	20,6	3,0	36,5	17,8	28,4
Valores F								
Fontes (F)	4,012*	3,295*	4,744*	6,496*	$2{,}646^{NS}$	$3{,}100^{NS}$	$3{,}502^{NS}$	$2{,}748^{NS}$
Doses (D)	$2{,}224^{NS}$	$1{,}556^{NS}$	$2{,}723^{NS}$	$3{,}039^{NS}$	$2{,}233^{NS}$	$3{,}540^{NS}$	$2{,}482^{NS}$	$2{,}821^{NS}$
F x D	$3{,}041^{NS}$	$3{,}092^{NS}$	$3{,}507^{NS}$	$0{,}566^{NS}$	$2{,}647^{NS}$	$1{,}995^{NS}$	$2{,}502^{NS}$	$1{,}966^{NS}$
DMS	0,9	3,7	3,2	3,3	1,5	4,9	6,2	2,3
CV (%)	3,45	5,7	8,96	8,85	2,20	5,26	9,09	8,85
Média	5,2	22,0	20,8	31,8	4,1	31,4	12,1	28,2

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 21 - Valores de F e teores de Chumbo (µg kg^{-1}) em dois tipos de solo, em função dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA	$CaCl_2$	AO	Mehlich	DTPA
Subproduto	<1	699,2b	652,5b	899b	<1	999b	623,1a	1202a
Fertilizante	<1	671,9b	638,5b	991a	<1	1169a	523,6b	1166a
Mistura PA	<1	807,5a	685,7a	1047a	<1	849c	566,9b	1103b
Dose 0	<1	624,9	595,1	831	<1	624	595,1	831
Dose 5	<1	625,0	636,5	930	<1	1161	546,2	1157
Dose 10	<1	625,4	730,0	928	<1	1066	541,8	1177
Dose 20	<1	744,5	693,2	1058	<1	1126	566,1	1209
Dose 40	<1	941,7	639,6	1148	<1	1051	606,9	1412
Valores F								
Fontes (F)	-	3,438*	3,669*	3,882*	-	5,468*	4,536*	3,512*
Doses (D)	-	5,241*	4,357*	3,473*	-	$3{,}142^{NS}$	$1{,}715^{NS}$	7,822*
F x D	-	$2{,}347^{NS}$	$2{,}266^{NS}$	$2{,}915^{NS}$	-	$2{,}176^{NS}$	$1{,}924^{NS}$	$1{,}603^{NS}$
DMS	<1	30,3	22,8	60,5	<1	147,1	45,1	55,2
CV (%)	-	3,57	2,95	5,27	-	4,60	3,12	4,09
Média	<1	726,2	658,9	979,6	<1	1006	571,2	1157

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

6.2. Efeito residual das fontes de P na contaminação das partes comestíveis de Alface (2° cultivo) e Rabanete (3° cultivo)

Cultivo de Alface

Avaliando o efeito residual das fontes de fósforo, após o cultivo de arroz, utilizou-se duas culturas em cultivos sequenciais, alface, determinando os níveis de EPT nas folhas, e rabanete, determinando os níveis de EPT nas raízes.

Inicialmente podemos observar que a produção de parte aérea de alface não foi afetada por nenhumas das fontes utilizadas (Tabela 22), quando avaliamos as doses utilizadas, observa-se que o aumento das doses de fósforo causou um incremento na produção de matéria fresca de folha ($Y = -0{,}0004x^2 + 0{,}2133x + 36{,}4638$; $r^2 = 0{,}85$*), produção de matéria fresca de caule ($Y = -0{,}0003x^2 + 0{,}1709x + 7{,}8912$; $r^2 = 0{,}96$*) e produção de matéria seca de folha ($Y = 0{,}0037x + 1{,}9836$; $r^2 = 0{,}76$*). Os teores foliares observados, para cultura da alface no LVA, apresentaram diferenças significativas apenas entre as doses de P, com aumento linear do teor Cd, conforme a equação: $Y_{CdFoliar\ LVA} = 0{,}0028x + 0{,}9421$; $r^2 = 0{,}753$*.

Tabela 22 -Valores de F e produção (g vaso^{-1}) de matéria fresca e seca de alface cultivada em dois tipos de solo, em função dos tratamentos

Trata/o	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	Matéria Fresca		Matéria Seca		Matéria Fresca		Matéria Seca	
	Folha	Caule	Folha	Caule	Folha	Caule	Folha	Caule
Subproduto	50,7	17,8	2,44	1,03	47,9	18,1	2,29	0,85
Fertilizante	53,9	22,7	2,34	1,16	48,3	19,3	2,26	0,71
Mistura PA	54,4	16,2	2,86	1,15	48,0	17,6	2,15	0,72
Dose 0	31,7	7,0	1,44	0,76	48,7	20,9	2,17	1,22
Dose 50	54,2	17,8	2,47	1,12	45,6	15,5	2,24	0,53
Dose 100	52,8	20,0	2,70	1,03	44,9	14,8	1,91	0,54
Dose 200	62,1	28,5	2,77	1,21	48,4	22,1	2,29	0,82
Dose 400	64,1	21,2	3,34	1,44	52,7	18,6	2,56	0,68
Valores F								
Fonte (F)	$0{,}184^{NS}$	$3{,}283^{NS}$	$1{,}190^{NS}$	$0{,}300^{NS}$	$0{,}001^{NS}$	$0{,}111^{NS}$	$0{,}130^{NS}$	$0{,}405^{NS}$
Doses (D)	4,516*	9,269*	4,467*	$1{,}911^{NS}$	$0{,}254^{NS}$	$0{,}911^{NS}$	$0{,}782^{NS}$	$3{,}063^{NS}$
F x D	$0{,}845^{NS}$	$1{,}239^{NS}$	$1{,}197^{NS}$	$1{,}536^{NS}$	$0{,}549^{NS}$	$0{,}691^{NS}$	$0{,}886^{NS}$	$0{,}641^{NS}$
DMS	16,4	6,6	0,89	0,49	16,6	9,2	0,72	0,44
CV (%)	34,18	38,45	38,78	48,66	38,2	55,13	35,6	63,9
Média	52,97	18,90	2,54	1,12	48,05	18,37	2,23	0,76

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 23 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de alface cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	3,88	0,19	1,13	1,06	0,26
Fertilizante	4,69	0,14	1,17	1,64	0,24
Mistura PA	4,00	0,21	1,42	1,40	0,26
Dose 0	4,14	0,16	1,20	1,06	0,29
Dose 50	3,56	0,19	1,13	1,35	0,24
Dose 100	4,04	0,16	1,14	0,90	0,20
Dose 200	4,76	0,18	1,47	1,28	0,33
Dose 400	4,44	0,21	1,27	2,24	0,22
Valores de F					
Fontes (F)	2,664 ^{NS}	0,898 ^{NS}	1,397 ^{NS}	1,493 ^{NS}	0,150 ^{NS}
Doses (D)	1,662 ^{NS}	0,226 ^{NS}	0,642 ^{NS}	2,788*	1,970 ^{NS}
F x D	2,074 ^{NS}	1,901 ^{NS}	0,640 ^{NS}	2,891 ^{NS}	0,978 ^{NS}
DMS	0,94	0,13	0,46	0,84	0,11
CV (%)	24,9	77,5	41,4	68,1	45,5
Média	4,19	0,18	1,24	1,37	0,26

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 24 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de alface cultivada em um Latossolo Vermelho

	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	4,26	0,20b	0,68b	0,59	0,25
Fertilizante	4,55	0,38a	0,87ab	1,13	0,22
Mistura PA	4,73	0,41a	0,98a	1,03	0,26
Dose 0	4,14	0,27	1,03	1,55	0,20
Dose 50	4,56	0,33	0,74	1,13	0,29
Dose 100	4,32	0,34	0,69	0,37	0,20
Dose 200	4,68	0,32	0,88	0,65	0,29
Dose 400	4,86	0,40	0,87	0,88	0,24
Valores de F					
Fontes (F)	2,581 ^{NS}	18,754**	4,103*	1,559 ^{NS}	0,437 ^{NS}
Doses (D)	2,226 ^{NS}	1,740 ^{NS}	1,908 ^{NS}	2,275 ^{NS}	1,409 ^{NS}
F x D	0,960 ^{NS}	2,358 ^{NS}	0,419 ^{NS}	0,649 ^{NS}	0,871 ^{NS}
DMS	0,51	0,09	0,26	0,81	0,11
CV (%)	12,7	31,1	34,5	98,19	47,7
Média	4,51	0,33	0,84	0,91	0,25

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

Cultivo de Rabanete

As avaliações de raiz e folha de rabanete não apresentaram diferenças significativas na produção de matéria seca ou fresca em função dos tratamentos,

porém as determinações de folha e raiz, apresentam diferenças nas concentrações de Cd e Pb, sendo encontrado os maiores teores em fontes mais solúveis de P

Tabela 25 -Valores de F e produção (g vaso^{-1}) de matéria fresca e seca de rabanete cultivado em dois tipos de solo, em função dos tratamentos

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho		
	M. Fresca	Matéria Seca		M. Fresca	Matéria Seca	
	Raiz	Raiz	Folha	Raiz	Raiz	Folha
Subproduto	27,9	1,13	1,93	24,8	1,03	1,73
Fertilizante	31,2	1,28	2,60	24,3	1,01	2,07
Mistura PA	31,1	1,25	2,40	24,4	0,96	1,87
Dose 0	31,8	1,25	2,33	23,6	0,96	1,66
Dose 50	27,3	1,11	2,00	25,1	1,04	2,00
Dose 100	32,4	1,29	2,00	28,1	1,15	1,67
Dose 200	29,5	1,21	2,67	25,8	1,02	1,89
Dose 400	29,5	1,24	2,56	20,1	0,83	2,22
Valores F						
Fonte (F)	0,379 ^{NS}	0,397 ^{NS}	3,243 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,100 ^{NS}	1,622 ^{NS}
Doses (D)	0,276 ^{NS}	0,194 ^{NS}	1,581 ^{NS}	0,822 ^{NS}	0,775 ^{NS}	1,921 ^{NS}
F x D	0,235 ^{NS}	0,314 ^{NS}	0,780 ^{NS}	0,702 ^{NS}	0,591 ^{NS}	1,088 ^{NS}
DMS	10,6	0,43	0,66	8,9	0,36	0,46
CV (%)	38,9	39,4	31,8	40,2	40,6	27,0
Média	30,1	1,22	2,31	24,5	1,00	1,89

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 26 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das raízes de rabanetecultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	2,70	0,19	0,41	0,26	0,48b
Fertilizante	3,88	0,08	0,58	0,32	0,67b
Mistura PA	3,56	0,10	0,43	0,27	1,85a
Dose 0	2,29	0,12	0,27	0,10	1,53
Dose 50	2,64	0,12	0,52	0,22	0,83
Dose 100	3,16	0,11	0,39	0,22	1,22
Dose 200	3,49	0,12	0,41	0,21	1,54
Dose 400	4,23	0,15	0,56	0,48	0,38
Valores de F					
Fontes (F)	2,664 ^{NS}	1,898 ^{NS}	1,397 ^{NS}	1,493 ^{NS}	3,250*
Doses (D)	1,662 ^{NS}	0,226 ^{NS}	0,642 ^{NS}	2,788 ^{NS}	1,970 ^{NS}
F x D	2,074 ^{NS}	1,901 ^{NS}	0,640 ^{NS}	2,891 ^{NS}	0,978 ^{NS}
DMS	0,94	0,13	0,46	0,84	0,11
CV (%)	13,2	15,2	20,1	12,3	15,2
Média	3,30	0,12	0,45	0,27	1,03

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 27 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das raízes de rabanete,cultivado em um Latossolo Vermelho

	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	2,90	0,24	0,41	0,11b	0,39b
Fertilizante	3,08	0,22	0,58	0,13b	1,21a
Mistura PA	2,88	0,15	0,38	0,19a	1,37a
Dose 0	2,28	0,02	0,22	0,12	0,29
Dose 50	2,57	0,16	0,37	0,12	0,99
Dose 100	2,69	0,15	0,50	0,12	1,04
Dose 200	3,35	0,26	0,43	0,15	0,73
Dose 400	3,21	0,24	0,52	0,19	1,20
Valores de F					
Fontes (F)	2,581 ^{NS}	1,754 ^{NS}	3,103 ^{NS}	3,559*	3,437*
Doses (D)	2,226 ^{NS}	1,740 ^{NS}	1,908 ^{NS}	2,275 ^{NS}	1,409 ^{NS}
F x D	0,960 ^{NS}	2,358 ^{NS}	0,419 ^{NS}	0,649 ^{NS}	0,871 ^{NS}
DMS	0,92	0,10	0,19	0,05	0,30
CV (%)	18,2	25,2	20,3	13,5	15,2
Média	2,90	0,19	0,44	0,13	0,93

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

Tabela 28 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas rabanete,cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	2,74b	0,18	0,38	0,50	0,42b
Fertilizante	3,88a	0,09	0,42	0,77	0,43b
Mistura PA	3,53ab	0,11	0,37	0,58	0,78a
Dose 0	2,17	0,07	0,30	0,22	0,28
Dose 50	2,61	0,11	0,42	0,35	0,48
Dose 100	3,21	0,11	0,38	0,46	0,75
Dose 200	3,41	0,13	0,41	0,53	0,66
Dose 400	3,29	0,16	0,35	1,13	0,28
Valores de F					
Fontes (F)	3,664*	0,898 ^{NS}	1,397 ^{NS}	1,493 ^{NS}	3,150*
Doses (D)	1,662 ^{NS}	0,226 ^{NS}	0,642 ^{NS}	2,788 ^{NS}	1,970 ^{NS}
F x D	2,074 ^{NS}	1,901 ^{NS}	0,640 ^{NS}	2,891 ^{NS}	0,978 ^{NS}
DMS	1,02	0,05	0,10	0,32	0,21
CV (%)	9,8	12,1	15,2	13,2	17,1
Média	3,29	0,12	0,38	0,59	0,52

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 29 - Valores de F e teores de Fósforo (g kg^{-1}) e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas rabanete, cultivado em um Latossolo Vermelho

	Fósforo	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	2,89	0,25	0,34	0,29b	0,26b
Fertilizante	3,04	0,23	0,42	0,96a	0,41b
Mistura PA	2,47	0,14	0,37	0,32b	0,88a
Dose 0	2,44	0,08	0,25	0,12	0,12
Dose 50	2,51	0,18	0,32	0,39	0,39
Dose 100	2,79	0,19	0,38	0,48	0,55
Dose 200	2,96	0,24	0,41	0,48	0,47
Dose 400	2,94	0,21	0,39	0,74	0,66
Valores de F					
Fontes (F)	2,581 ^{NS}	1,754 ^{NS}	4,103*	3,559*	4,437*
Doses (D)	2,226 ^{NS}	1,740 ^{NS}	1,908 ^{NS}	2,275 ^{NS}	1,409 ^{NS}
F x D	0,960 ^{NS}	2,358 ^{NS}	0,419 ^{NS}	0,649 ^{NS}	0,871 ^{NS}
DMS	0,51	0,11	0,16	0,31	0,21
CV (%)	20,1	19,3	11,3	18,5	16,7
Média	2,77	0,20	0,37	0,49	0,49

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

6.3. Efeito residual das fontes de Zn na contaminação das partes comestíveis de Alface (2° cultivo) e Rabanete (3° cultivo)

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2000), os valores naturais para os EPT estudados em folhas de alface são em mg kg^{-1}: Cd, 0,66 - 3,0; Cr, < 1,5 e Pb, 0,7 - 3,6. A alface é considerada uma planta acumuladora de EPT, principalmente Cd, cujo nível tóxico nas folhas é de 10 - 95 mg kg^{-1} (MALAVOLTA, 2006).

No Brasil, segundo a ANVISA (1965), o limite máximo de Cd em alimentos consumidos in natura é de 1 mg kg^{-1}. Se consumido na forma crua, como vegetais e hortaliças o resultado deve ser expresso na massa fresca e no caso do arroz, consumido após cozimento, o resultado é expresso na massa seca. Para vegetais consumidos como folha, a Australian and New Zealand Food Authority (FSANZ, 2009) adotou como limite máximo de Cd, 0,1 mg kg^{-1} na massa fresca. (aproximadamente 3,3 mg kg^{-1} na massa seca, considerando que 97% da massa fresca da alface é água). A Commission of the European Communities (CEC, 2001) e a Codex Alimentarius Commission (CODEX, 2004) permitem até 0,2 mg de Cd por kg de massa fresca. Assim podemos observar que, mesmo as doses mais elevadas de Zn, não atingiram os níveis máximos permitidos pela legislação brasileira e

também de outros países, sendo essa até metade do máximo permitido na Nova Zelandia, onde se tem os menores limites permitidos.

Resultados de análise de arroz e alface produzidos no Brasil, apresentam valores de Cd na massa seca variando de 0,002 - 0,55 mg kg^{-1} para alface e de 0,001 – 0,060 mg kg^{-1} para arroz (MASIRONI; KOIRTYOHANN; PIERCE, 1977; LENZI et al., 1990; SANTOS; LAURIA; SILVEIRA, 2004).

No presente estudo, o fato de o teor de Pb nas partes comestíveis reduzirem mesmo com a adição de altas doses do elemento (Tabela 5), pode ser devido à competição por sítios de absorção com o Zn, devido à imobilização pelos íons fosfato ou devido a outro fator ainda não elucidado (GRANT et al., 1999). Para o melhor entendimento da problemática dos EPT adicionados aos solos via fertilizantes, é de fundamental importância o esforço para a instalação de experimentos de longa duração no Brasil.

Os resultados obtidos para as produções de matéria fresca e matéria seca da cultura da alface e do rabanete em função das doses residuais das fontes de Zn: fertilizante, subproduto e mistura pró-análise, para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, respectivamente, são apresentados nas Tabelas 30 e 33. As produções de matéria fresca e matéria seca da cultura da alface foram alteradas em função das doses residuais e das fontes de Zn; porém, houve um padrão diferente dos feitos dos tratamentos doses e fontes sobre as produções de matéria fresca e matéria seca, inclusive entre os solos, no caso da matéria fresca. A produção de matéria seca, em ambos os solos, foram crescentes com as doses residuais da mistura pró-análise, com maior produção na dose de 40 mg dm^{-3}. Contudo as doses residuais de Zn do fertilizante e subproduto causaram maior produção de matéria seca de alface na dose de 10 mg dm^{-3}, conforme as equações: $Y_{FolhaFresca\ LVA} = -0{,}0086x^2 + 0{,}5116x + 24{,}674$; $r^2 = 0{,}834^*$, $Y_{FolhaFresca\ LV} = -0{,}0121x^2 + 0{,}6308x + 21{,}231$; $r^2 = 0{,}549^*$.

Nesse experimento, os teores foliares de zinco nas folhas de alface, tiveram um incremento linear com o aumento das doses de Zn, com diferenças significativas no LVA, ($Y_{ZnFoliar\ LVA} = 1{,}6626x + 55{,}273$ $r^2 = 0{,}997^*$),chegando a teores superiores o recomendado por Trani e Raij (1997b), onde os teores foliares adequados de zinco para alface, situam-se entre 30 e 100 mg kg^{-1} de matéria seca.Para os valores de Cd observa-seuma grande redução no teor foliar da cultura da alface ($Y_{CdFoliar\ LVA} = -0{,}0231x + 1{,}2618$; $r^2 = 0{,}992^*$), como podemos observar na Tabela 31.

Tabela 30 -Valores de F e produção (g vaso^{-1}) de matéria fresca e seca de alface, cultivada em dois tipos de solo, em função dos tratamentos

Trata/o	Latossolo Vermelho-Amarelo				Latossolo Vermelho			
	Matéria Fresca		Matéria Seca		Matéria Fresca		Matéria Seca	
	Folha	Caule	Folha	Caule	Folha	Caule	Folha	Caule
Subproduto	31,63	13,77	1,57	0,59	26,22	10,85	1,37	0,45b
Fertilizante	28,71	11,85	1,33	0,67	24,86	10,01	1,30	0,51ab
Mistura PA	29,77	10,06	1,57	0,63	29,54	12,55	1,48	0,71b
Dose 0	23,40	10,02	1,04	0,39	20,21	8,50	1,02	0,34
Dose 5	28,27	11,49	1,53	0,54	23,15	9,79	1,13	0,44
Dose 10	30,14	12,29	1,43	0,57	30,68	11,81	1,70	0,69
Dose 20	30,03	13,39	1,40	0,78	26,14	11,29	1,33	0,57
Dose 40	31,71	10,40	1,62	0,64	27,52	11,64	1,38	0,53
Valores F								
Fonte (F)	0,546^{NS}	2,059^{NS}	1,349^{NS}	0,436^{NS}	2,157^{NS}	1,727^{NS}	0,856^{NS}	4,264*
Doses (D)	3,370*	0,716^{NS}	2,515^{NS}	2,332^{NS}	3,723*	0,663^{NS}	4,188^{NS}	2,072^{NS}
F x D	0,877^{NS}	0,900^{NS}	1,633^{NS}	0,679^{NS}	0,931^{NS}	1,998^{NS}	0,943^{NS}	0,373^{NS}
DMS	5,10	4,59	0,42	0,22	5,83	3,49	0,35	0,23
CV (%)	23,1	37,6	27,8	33,2	21,1	30,63	24,9	39,9
Média	30,04	11,89	1,49	0,63	26,87	11,13	1,38	0,56

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 31 - Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de alface, cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	70,25	0,46	1,20	1,08	0,22b
Fertilizante	80,83	0,49	1,25	0,95	0,30ab
Mistura PA	89,55	0,49	1,36	0,71	0,34a
Dose 0	55,28	0,48	1,47	1,26	0,22
Dose 5	63,58	0,47	1,24	1,15	0,31
Dose 10	71,90	0,47	1,33	1,03	0,30
Dose 20	88,52	0,48	1,16	0,80	0,26
Dose 40	121,78	0,49	1,18	0,34	0,33
Valores de F					
Fontes (F)	0,644^{NS}	2,724^{NS}	1,148^{NS}	0,911^{NS}	3,611*
Doses (D)	3,212*	0,185^{NS}	1,651^{NS}	4,185**	1,172^{NS}
F x D	1,168^{NS}	1,387^{NS}	0,659^{NS}	0,532^{NS}	1,277^{NS}
DMS	42,15	0,04	0,27	0,69	0,11
CV (%)	32,1	9,2	23,3	29,8	42,5
Média	80,21	0,48	1,27	0,92	0,29

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

Os teores de EPT encontrados nas folhas de alface estão abaixo dos limites máximos recomendados por diversas agencias do mundo, conforme já discutido anteriormente. Também podemos observar que a aplicação do Zn não inferiu nos níveis encontrados de Cr e Ni (Tabelas 31 a 32), enquanto os teores de Pb diferiram pelas diferentes fontes de Zn utilizadas, observando-se os maiores teores nas fontes: Fertilizante e Mistura PA, pois os elementos estão mais disponíveis pela acidulação (Fertilizante) e alta reatividade (Mistura).

Nas determinações dos EPT observou-se que as fontes e doses de Zn apresentaram diferenças significativas somente no Latossolo Vermelho-Amarelo, enquanto no Latossolo Vermelho não houve diferenças significativas pelo teste F, os maiores teores de argila no LV podem aumentar a adsorção dos EPT, reduzindo a disponibilidade desses para as plantas, assim não diferindo esses elementos nem mesmo nas maiores doses.

Tabela 32 - Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de alface, cultivada em um Latossolo Vermelho

	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	62,28	0,46	0,91	0,30	0,19
Fertilizante	72,02	0,48	0,90	0,24	0,20
Mistura PA	50,39	0,47	0,91	0,28	0,22
Dose 0	63,65	0,44	0,96	0,37	0,24
Dose 5	61,11	0,47	0,92	0,23	0,18
Dose 10	48,96	0,47	0,88	0,29	0,20
Dose 20	51,39	0,49	0,86	0,25	0,20
Dose 40	82,71	0,48	0,90	0,23	0,20
Valores de F					
Fontes (F)	$1,598^{NS}$	$1,135^{NS}$	$0,028^{NS}$	$0,375^{NS}$	$0,624^{NS}$
Doses (D)	$1,459^{NS}$	$1,665^{NS}$	$0,341^{NS}$	$0,666^{NS}$	$0,944^{NS}$
F x D	$0,771^{NS}$	$1,965^{NS}$	$1,493^{NS}$	$1,019^{NS}$	$0,875^{NS}$
DMS	29,99	0,04	0,18	0,18	0,06
CV (%)	33,9	9,4	22,2	35,9	32,9
Média	61,56	0,47	0,91	0,27	0,21

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%

Cultivo de Rabanete

A avaliação dos teores de Cd, apenas na parte aérea poderia apresentar correlações positivas, conforme comumente tem sido reportado em trabalhos realizados no Brasil (GONÇALVES JUNIOR; PESSOA, 2002; ARMELIN et al.,

2008). Entretanto, avaliando-se a parte comestível, neste caso raízes, e comparando com as legislações sobre teores máximos permissíveis de contaminantes em alimentos é que se pode diagnosticar o potencial da entrada de EPT na cadeia alimentar. Rodella (2005) relata que nos EUA a avaliação de risco tem sido utilizada como ferramenta para quantificação do potencial de impacto da adição de contaminantes via fertilizantes.Há que se considerar também, que as plantas apresentam mecanismos para evitar a translocação de EPT (KUBOTA; WELCH; CAMPEN, 1992). Na determinação do Pb, observou-se o inverso do Cd, onde as maiores concentrações desse elemento foram encontradas nas raízes do rabanete.

O cultivo residual do rabanete não apresentou resposta, ao uso de diferentes fontes e doses de Zn,na produção de matéria fresca e seca de raiz, em ambos os solos estudados, porém na parte aérea observou-se diferenças significativas quanto a produção de matéria seca (Tabela 33) entre as fontes utilizadas.

Tabela 33 -Valores de F e produção (g vaso^{-1}) de matéria fresca e seca de rabanete, cultivado em dois tipos de solo, em função dos tratamentos

Tratamentos	Latossolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho		
	M. Fresca	Matéria Seca		M. Fresca	Matéria Seca	
	Raiz	Raiz	Folha	Raiz	Raiz	Folha
Subproduto	24,6	1,01	2,13b	27,6	1,15	3,07a
Fertilizante	28,5	1,15	2,87a	25,7	1,05	3,00ab
Mistura PA	29,0	1,19	2,53ab	22,7	0,91	2,67b
Dose 0	26,3	1,08	2,00	29,8	1,22	3,00
Dose 5	27,5	1,13	2,78	27,9	1,16	3,33
Dose 10	25,6	1,06	2,78	23,2	0,94	2,78
Dose 20	26,5	1,06	2,55	20,4	0,85	2,56
Dose 40	30,9	1,26	2,44	25,3	1,02	2,89
Valores F						
Fonte (F)	0,922 ^{NS}	0,908 ^{NS}	4,239*	1,037 ^{NS}	1,314 ^{NS}	3,647*
Doses (D)	0,420 ^{NS}	0,446 ^{NS}	3,301 ^{NS}	1,424 ^{NS}	1,359 ^{NS}	3,941 ^{NS}
F x D	0,358 ^{NS}	0,391 ^{NS}	3,063 ^{NS}	0,454 ^{NS}	0,477 ^{NS}	1,294 ^{NS}
DMS	8,72	0,34	0,48	8,5	0,35	0,39
CV (%)	35,3	34,0	21,05	36,9	37,2	14,9
Média	27,6	1,12	2,51	25,3	1,04	2,91

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Na avaliação dos teores de Zn nas raízes de rabanete (Tabela 34 e 35), pode-se observar que o aumento das doses de Zn utilizadas,elevaram os teores desse elemento, em ambos os solos estudados($Y_{ZnRaíz\ LVA} = 0,0428x^2 - 0,9029x + 51,154$; $r^2 =$

0,941*, $Y_{ZnRaiz\ LV} = -0,0259x^2 + 1,817x + 24,2$; $r^2 = 0,908$*), enquanto que na folhas (Tabela 36 e 37), esse efeito foi observado somente quanto o rabanete foi cultivado no LV ($Y_{ZnFoliar\ LV} = -0,0299x^2 + 2,1092x + 20,659$; $r^2 = 0,943$**).

Tabela 34 -Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das raízes de rabanete, cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	50,38	0,22	0,64	0,25a	1,33a
Fertilizante	65,12	0,14	0,57	0,07b	0,80b
Mistura PA	54,44	0,10	0,37	0,06b	1,59a
Dose 0	48,36	0,16	0,45	0,17	0,45
Dose 5	49,06	0,17	0,46	0,10	1,38
Dose 10	51,49	0,13	0,82	0,10	0,89
Dose 20	45,80	0,23	0,40	0,25	1,10
Dose 40	84,24	0,10	0,44	0,06	0,60
Valores de F					
Fontes (F)	2,664 ^{NS}	0,898 ^{NS}	1,397 ^{NS}	3,493*	3,150*
Doses (D)	3,662*	0,226 ^{NS}	0,642 ^{NS}	2,788 ^{NS}	1,970 ^{NS}
F x D	2,074 ^{NS}	1,901 ^{NS}	0,640 ^{NS}	2,891 ^{NS}	0,978 ^{NS}
DMS	12,94	0,13	0,36	0,14	0,31
CV (%)	28,2	12,9	15,3	13,2	15,7
Média	56,93	0,16	0,52	0,13	0,92

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 35 - Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das raízes de rabanete, cultivada em um Latossolo Vermelho

	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	38,33b	0,09b	0,33	0,04	0,42b
Fertilizante	44,05ab	0,26a	0,42	0,03	0,88a
Mistura PA	49,46a	0,12b	0,33	0,04	0,50b
Dose 0	26,56	0,22	0,55	0,07	0,51
Dose 5	32,56	0,20	0,43	0,04	1,01
Dose 10	33,63	0,15	0,39	0,04	0,30
Dose 20	54,85	0,20	0,35	0,03	0,76
Dose 40	54,74	0,07	0,27	0,02	0,34
Valores de F					
Fontes (F)	3,581*	6,754**	4,103 ^{NS}	1,559 ^{NS}	4,437*
Doses (D)	4,226*	1,740 ^{NS}	1,908 ^{NS}	2,275 ^{NS}	1,409 ^{NS}
F x D	0,960 ^{NS}	2,358 ^{NS}	0,419 ^{NS}	0,649 ^{NS}	0,871 ^{NS}
DMS	8,51	0,09	0,26	0,02	0,11
CV (%)	17,2	19,1	21,6	25,4	18,2
Média	42,61	0,17	0,37	0,04	0,59

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

Tabela 36 -Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de rabanete, cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Tratamentos	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	49,17b	0,19	0,40	0,44a	0,77
Fertilizante	82,00a	0,13	0,46	0,19b	0,50
Mistura PA	41,77b	0,17	0,32	0,18b	0,72
Dose 0	45,21	0,13	0,40	0,19	0,30
Dose 5	61,61	0,15	0,40	0,16	1,04
Dose 10	58,51	0,16	0,40	0,26	0,51
Dose 20	57,79	0,21	0,40	0,36	0,58
Dose 40	52,66	0,15	0,38	0,28	0,46
Valores de F					
Fontes (F)	4,664*	0,978 ^{NS}	1,327 ^{NS}	3,493*	0,150 ^{NS}
Doses (D)	1,672 ^{NS}	0,656 ^{NS}	0,352 ^{NS}	2,721 ^{NS}	1,570 ^{NS}
F x D	2,964 ^{NS}	1,551 ^{NS}	0,670 ^{NS}	2,211 ^{NS}	0,658 ^{NS}
DMS	10,94	0,11	0,16	0,14	0,29
CV (%)	9,54	12,46	25,32	14,53	17,21
Média	56,69	0,16	0,39	0,26	0,63

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * - valores significativos pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 37 - Valores de F e teores de Zinco e de EPT (mg kg^{-1}) na matéria seca das folhas de rabanete, cultivadaem um Latossolo Vermelho

	Zinco	Crômio	Níquel	Cádmio	Chumbo
Subproduto	37,97b	0,12	0,27	0,15	0,28b
Fertilizante	44,97ab	0,24	0,38	0,08	0,49a
Mistura PA	49,66a	0,16	0,41	0,10	0,48a
Dose 0	21,21	0,12	0,40	0,10	0,40
Dose 5	32,98	0,15	0,33	0,09	0,58
Dose 10	32,88	0,18	0,31	0,12	0,23
Dose 20	54,20	0,17	0,39	0,11	0,45
Dose 40	56,72	0,19	0,38	0,11	0,33
Valores de F					
Fontes (F)	3,581*	2,754 ^{NS}	3,103 ^{NS}	1,249 ^{NS}	3,437*
Doses (D)	4,126*	2,740 ^{NS}	1,721 ^{NS}	2,455 ^{NS}	1,452 ^{NS}
F x D	2,960 ^{NS}	2,358 ^{NS}	0,314 ^{NS}	1,649 ^{NS}	1,871 ^{NS}
DMS	10,51	0,12	0,16	0,07	0,17
CV (%)	15,2	27,8	23,1	18,7	9,6
Média	42,43	0,17	0,36	0,11	0,40

^{NS} – diferenças não significativas observadas pelo teste de Tukey a 5%; * e ** - valores significativos pelo teste de Tukey a 5% e 1%, respectivamente

7. CONCLUSÕES

- os teores no solo de fósforo e zinco aumentaram com o uso de doses crescente desses elementos no LVA e LV;
- os extratores solução de ácidos orgânicos, mehlich-1 e DTPA, determinaram uma maior disponibilidade dos metais no solo;
- as doses de fósforo elevaram os teores de cádmio disponível no solo, porém esse aumento não apresentou diferenças significativasnas partes comestíveis;
- o uso de diferentes fontes e doses de fósforo e zinco não inferiram na produção de material vegetal das culturas;
- as doses de zinco elevaram os teores de chumbo disponível no solo, porém esse aumento não foi observado nas partes comestíveis das culturas;
- o crômio não foi alterado com as diferentes doses dos fertilizantes;

REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. cap.16, p.240-250.

ABREU, C.A.; RAIJ, B. van.; ABREU, M.F.; GONZÁLEZ, A.P. Routine soil testing monitor heavy metals and boron. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.6, p.564-571, 2005.

ABREU JUNIOR, C.H.; MARTIN NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES, M.L.; SILVA, W.T.L. Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: ALLEONI, L.R.F.; MELO, V.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2, p.529–685.

ADRIANO, D.C. **Trace elements in terrestrial environments**: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. 2.ed. Springer: New York, 2001. 866p.

ALLEN, L.; BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. **Guidelines on food fortification with micronutrients**. Geneva: WHO/FAO, 2006. 341p.

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

Al-SALEH, I.; SHINWARI, N. Report on the levels of cadmium, lead, and mercury in imported rice grain samples. **Biological Trace Element Research**, Totowa, v.83, n.1, p.91-96, 2001.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto Nº 55871, de 26 de março de 1965. Referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos e determina limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos que podem ser encontrados nos alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 abr. 1965. Seção 1, p.3612-3222.

ARAO, T.; AE, N. Genotypic variations in cadmium levels of rice grain. **Soil Science and Plant Nutrition,** Tokyo, v.49, n.4, p.473-479, 2003.

ARMELIN, M.J.A.; TREVIZAM, A.R.; ABREU JUNIOR, C.H.; SAIKI, M. Characterization and phytoavailability evaluation of micronutrients and contaminants in some Brazilian phosphate fertilizers. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Dordrecht, v.278, n.2, p.513-516, 2008.

AYOUB, A.T. Fertilizers and the environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.55, n.2, p.117-121, 1999.

BOAVENTURA, G.T.; COZZOLINO, S.M.F. Selenium bioavailability in the regional urban diet of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Oxon, v.43, n.4, p.223-229, 1993.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA Nº 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 jun. 2006. Seção 1, p.15-16.

BRESSANI, R. Micronutrient policies for agriculture in Latin America. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v.21, n.4, p.538-541, 2000.

BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Dordrecht, v.302, n.1-2, p.1-17, 2008.

CAMARGO, M.S.; ANJOS, A.R.M.; ROSSI, C.; MALAVOLTA, E. Adubação fosfatada e metais pesados em latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.513-518, 2000.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; BERTON, R.S. O solo e a qualidade do ambiente. In: ANDRADE, J.C.; ABREU, M.F. (Ed.). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2006. p.11–32.

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

CAMPOS, V. Trace elements in pesticides. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.9-10, p.1261-1268, 2003.

CANADA. Agriculture and Agri-Food Canada. **Guidelines to the fertilizers act and regulations**. 2.ed. Ottawa: Plant Health and Production Division, 1996. 98p.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P.R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/FUNDAG, 1997. cap.13, p.48-49. (Boletim Técnico, 100).

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/FUNDAG, 1997. cap.13, p.45-47. (Boletim Técnico, 100).

CAPDEVILA, F.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J.L. Intake of lead and cadmium from edible vegetables cultivated in Tarragona Province, Spain. **Trace Elements and Electrolytes**, Oberhaching, v.20, n.4, p.256-261, 2003.

CEC. Commission of the European Communities. Commission Regulation Nº 466/2001:Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. **Official Journal European Communities**, Aberdeen, L77, p.1-13, 2001.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Decisão de Diretoria Nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, 01 dez. 2005. Poder Executivo - Seção I, p.48.

CHEN, F.; DONG, J.; WANG, F.; WU, F.B.; ZHANG, G.P.; LI, G.M.; CHEN, Z.F.; CHEN, J.X.; WEI, K. Identification of barley genotypes with low grain Cd accumulation and its interaction with four microelements. **Chemosphere**, Oxford, v.67, n.10, p.2082-2088, 2007.

CLARKE, J.M.; McCAIG, T.N.; DePAUW, R.M.; KNOX, R.E.; CLARKE, F.R.; FERNANDEZ, M.R.; AMES, N.P. Strongfield durum wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.85, n.3, p.651-654, 2005.

CLARKE, J.M.; NORVELL, W.A.; CLARKE, F.R.; BUCKLEY, W.T. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.82, n.1, p.27-33, 2002.

CODEX. Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 33., 2001, The Hague. **Report...** Rome: Codex Alimentarius Commission/FAO/WHO, 2001. 289p.

CODEX. Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 36., 2004, Rotterdam. **Report...** Rome: Codex Alimentarius Commission/FAO/WHO, 2004. 210p.

COMBS JUNIOR, G.F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, Oxon, v.85, n.5, p.517-547, 2001.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p.

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

DAILY, G.; DASGUPTA, P.; BOLIN, B.; CROSS, P.; GUERNY, J.; EHRLICH, P.; FOLKE, C.; JANSSON, A.M.; JANSSON, B.; KAUTSKY, N.; KINZING, A.; LEVIN, S.; MALER, K.; PINSTRUP-ANDERSEN, P.; SINISCALCO, D.; WALKER, B. Policy forum: Global food supply - Food production, population growth, and the environment. **Science**, Washington, DC, v.281, n.5381, p.1291-1292, 1998.

DePIERI, L.A.; BUCKLEY, W.T.; KOWALENKO, C.G. Cadmium and lead concentrations of commercially grown vegetables and of soils in the Lower Fraser Valley of British Columbia. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.77, n.1, p.51-57, 1997.

DIBB, D.W.; ROBERTS, T.L.; WELCH, R.M. Da quantidade para a qualidade - a importância dos fertilizantes na nutrição humana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.111, p.1-6, 2005.

DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R.L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). a metalloenzyme. simple biological role for nickel?. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, DC, v.97, n.14, p.4131-4133, 1975.

DYNIA, J.F.; BOEIRA, R.C.; SOUZA, M.D.; SILVA, A.S.; RAIJ, B. van. **Relação entre fósforo disponível e cádmio extraível em amostras de solos cultivados com frutíferas no nordeste**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 2p. (Pesquisa em Andamento, 11).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de analises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants**: principles and perspectives. 2. ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 400p.

FAGERIA, N.K. Avaliação do estado nutricional do arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L.F. (Ed.). **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. cap.9, p.59-66.

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

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Fertilizer and plant nutrition guide**. Rome, 1984. 176p. (Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 9).

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **The state of food insecurity in the world 2008**: high food prices and food security - threats and opportunities. Rome, 2008. 56p.

FERREIRA, K.S.; GOMES, J.C.; BELLATO, C.R.; JORDÃO, C.P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Washington, DC, v.11, n.3, p.172-177, 2002a.

FERREIRA, K.S.; GOMES, J.C.; REIS, C.; BELLATO, C.R. Concentrações de zinco em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v.49, n.283, p.309-319, 2002b.

FSANZ. Food Standards Australia New Zealand. **Australian and New Zealand Food Standards Code**. Part 1.4 Contaminants and Residues, Standard 1.4.1 Contaminants and Natural Toxicants. Canberra: ANSTAT/FSANZ, 2009. 10p.

GARRETT, R.G. The distribution of cadmium in A horizon soils in the prairies of Canada and adjoining United States. In: **Current Research 1994-B**. Ottawa: Geological Survey of Canada, 1994. p.73-82.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M.; FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.86, n.13, p.2213-2220, 2006.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia:** processos ecológicos em agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2005. 653 p.

GONÇALVES JUNIOR, A.C.; PESSOA, A.C.S. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em Argissolo Vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.3, n.1-2, p.19-23, 2002.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M. **Breeding for staple food crops with high micronutrient density**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 1996. 79p. (Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, 3).

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H.E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S.E.; POTTS, M.J.; KADIAN, M.; HOBBS, P.R.; GUPTA, R.K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.92, p.1-74, 2007.

GRANT, C.A.; BAILEY, L.D.; McLAUGHLIN, M.J.; SINGH, B.R. Management factors which influence cadmium concentration in crops. In: McLAUGHLIN, M.J.; SINGH, B.R. (Ed.). **Cadmium in soils and crops**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. cap.7, p.151-198.

GRANT, C.A.; CLARKE, J.M.; DUGUID, S.; CHANEY, R.L. Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.390, n.2-3, p.301-310, 2008.

GRANT, C.A.; SHEPPARD, S.C. Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. **Human and Ecological Risk Assessment**, Philadelphia, v.14, n.2, p.210-228, 2008.

HOTZ, C.; BROWN, K.H. (Ed.). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v.25, n.1, p.S130-S162, 2004. (Supplement, 2).

HUANG, B.; KUO, S; BEMBENEK, R. Availability of cadmium in some phosphorus fertilizers to field-grown lettuce. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v.158, n.1-4, p.37-51, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população brasileira**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em: 01 jun. 2008.

IRETSKAYA, S.N.; CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Effect of acidulation of high cadmium containing phosphate rocks on cadmium uptake by upland rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.201, n.2, p.183-188, 1998.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A.B. **Trace elements from soil to human**. Berlin: Springer, 2007. 576p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 413p.

KRUG, F.J.; SANTOS JUNIOR, D. Erros sistemáticos no preparo de amostras. In: KRUG, F.J. (Ed.). **Métodos de preparo de amostras**: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar. Piracicaba: CENA/USP, 2006. cap.2, p.5-49.

KUBOTA, J.; WELCH, R.M.; CAMPEN, D.R. Partitioning of cadmium, copper, lead and zinc amongst above-ground parts of seed and grain crops grown in selected locations in the USA. **Environmental Geochemistry and Health**, Dordrecht, v.14, n.3, p.91-100, 1992.

KURZ, H.; SCHULZ, R.; ROMHELD, V. Selection of cultivars to reduce the concentration of cadmium and thallium in food and fodder plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Berlin, v.162, n.3, p.323-328, 1999.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, Philadelphia, v.165, n.1, p.57–72, 2000.

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**: métodos oficiais. Brasília: Ministério da Agricultura/Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1988. 104p.

LENZI, E.; RAUBER, T.; LUCHESE, E.B.; GALLI, D.; TOLEDO, E.A. Determinação de cádmio em materiais consumidos pelo ser humano. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.33, n.1, 179-194, 1990.

LI, Y.M.; CHANEY, R.L.; SCHNEITER, A.A.; MILLER, J.F.; ELIAS, E.M.; HAMMOND, J.J. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. **Euphytica**, Dordrecht, v.94, n.1, p.23-30, 1997.

LIU, J.; LI, K.Q.; XU, J.K.; LIANG, J.S.; LU, X.L.; YANG, J.C.; ZHU, Q.S. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.83, n.3, p.271-281, 2003.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap.1, p.1-64.

LOPES, A.S. **Valorização da agricultura:** solução definitiva e questão de segurança nacional. São Paulo: Mosaic, 2011. 13 p.

LOPES, A.S.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R.; GUILHERME, L.R.G. Suprimento e extensão das reservas de nutrientes no Brasil. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes:** nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 279–308.

LOPES, C.M. **Adsorção individual e competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos em função da variação de pH**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LUND, L.J.; BETTY, E.E.; PAGE, A.L.; ELLIOTT, R.A. Occurrence of naturally high cadmium levels in soils and its accumulation by vegetation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.10, n.4, p.551-556, 1981.

MAIHARA, V.A.; GONZAGA, I.B.; SILVA, V.L.; FAVARO, D.I.T.; VASCONCELLOS, M.B.A.; COZZOLINO, S.M.F. Dairy dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Dordrecht, v.259, n.3, p.465-468, 2004.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Nickel - from toxic to essential nutrient. **Better Crops**, Norcross, v.91, n.3, p.26-27, 2007.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira. In: LAPIDO, F.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes e sustentabilidade na agricultura**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. p.1-26. No prelo.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Sobre a sugestão dos metais pesados tóxicos em fertilizantes e sobre a Portaria 49 de 25/04/2005 da Secretaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.114, p.10-14, 2006.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F.; LAVRES JÚNIOR, J.; MALAVOLTA, M. Micronutrientes e metais pesados - essencialidade e toxidez. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Ciência, agricultura e sociedade**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. cap.4, p.117-154.

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

MASIRONI, R.; KOIRTYOHANN, S.R.; PIERCE, J.O. Zinc, copper, cadmium and chromium in polished and unpolished rice. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.7, n.1, p.27-43, 1977.

McLAUGHLIN, M.J.; PARKER, D.R.; CLARKE, J.M. Metals and micronutrients - food safety issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, n.1-2, p.143-163, 1999.

MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; NASCIMENTO, C.W.A.; SILVA, M.O. Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.328-332, 2006.

MONTAGNON, F.; BECQUER, T.; MARTINS, E.S.; REATTO, A.; FUKS, S.D. Distribuição dos teores de metais pesados em solos da região de Paracatu-Vazante, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2003. 4p. 1 CD-ROM.

MORAES, M.F. **Micronutrientes e metais pesados tóxicos:** do fertilizante ao produto agrícola. 2009. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MORTVEDT, J.J. Cadmium levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in the United States of America. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.16, n.2, p.137-142, 1987.

MORTVEDT, J.J. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.14, n.3. p.424-427, 1985.

MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/ POTAFOS, 2001. cap.10, p.237-254.

MULLA, D.J.; PAGE, A.L.; GANJE, T.J. Cadmium accumulations and biovarlability in soils from long-term phosphorus fertilization. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.9, n.3, p.408-412, 1980.

MURPHY, K.M.; REEVES, P.G.; JONES, S.S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. **Euphytica**, Dordrecht, v.163, n.3, p.381-390, 2008.

NUTTI, M.; CARVALHO, J.L.V.; WATANABE, E. A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M.; CUNHA, F.G. (Ed.). **Geologia médica no Brasil**: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. cap.7, p.43-47.

OMS. Organização Mundial de Saúde. **Elementos traço na nutrição e saúde humanas**. São Paulo: Roca, 1998. 297p.

ONU. Organização das Nações Unidas. **World population prospects**: the 2006 revision. New York: United Nations, 2007. 96p.

PAN, W.L.; STEVENS, R.G.; LABNO, K.A. Cadmium accumulation in wheat and potato from phosphate and waste-derived zinc fertilizers. In: HALL JÚNIOR, W.L.; ROBARGE, W.P. (Ed.). **Environmental impact of fertilizers on soil and water**. Washington, DC: ACS, 2004. cap.9, p.112-123.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S. Ácidos orgânicos como extratores de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.671-676, 2004.

PROCHNOW, L.I.; PLESE, L.P.M.; ABREU, M.F. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brasilian raw materials. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.32, n.1-2, p.283-294, 2001.

RAGHUNATH, R.; TRIPATHI, R.M.; SUSEELA, B.; BHALKE, S.; SHUKLA, V.K.; PURANIK, V.D. Dietary intake of metals by Mumbai adult population. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.356, n.1-3, p.62-68, 2006.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/FUNDAG, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.971-979, 1999.

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

RUTER, J.M. Effect of nickel applications for the control of mouse ear disorder on River Birch. **Journal of Environmental Horticulture**, Washington, DC, v.23, n.1, p.17-20, 2005.

SANTOS, E.E.; LAURIA, D.C.; SILVEIRA, C.L.P. Assessment of daily of trace elements due to consumption of foodstuffs by adult Inhabitants of Rio de Janeiro city. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.327, n.1-3, p.69-79, 2004.

SANTOS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Conseqüências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agrossistema com feijão-de-vagem (*Phaseolusvulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.191-198, 2003.

SANTOS, G.C.G.; ABREU, C.A.; CAMARGO, O.A.; ABREU, M.F. Pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, p.257-266, 2002.

SHI, J.; LI, L.Q.; PAN, G.X. Variation of grain Cd and Zn concentrations of 110 hybrid rice cultivars grown in a low-Cd paddy soil. **Journal of Environmental Sciences-China**, Nanjing, v.21, n.2, p.168-172, 2009.

SILVA, D.G.; FRANCESCHINI, S.C.C.; PRIORE, S.E.; RIBEIRO, S.M.R.; SZARFARC, S.C.; SOUZA, S.B.; ALMEIDA, L.P.; LIMA, N.M.M.; MAFFIA, U.C.C. Anemia ferropriva em crianças de 6 a 12 meses atendidas na rede pública de saúde do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.15, n.3, p.301-308, 2002.

SILVA, F.N.; FURTINI NETO, A.E.; CHANG, A.C. Uptake of trace elements by soybean in Typic Quartzipsamment soil treated with different phosphorus fertilizers in Brazil. In: BAÑUELOS, G.S.; LIN, Z.Q. (Eds.) **Development and uses of biofortified agricultural products**. Boca Raton: CRC Press, 2009. cap.15, p.253-277.

SOARES, M.R. **Coeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo.** Piracicaba, 2004. 202 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

STEWART, W.M.; DIBB, D.W.; JOHNSTON, A.E.; SMYTH, T.J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.1, p.1-6, 2005.

TRANI, P.E.; PASSOS, F.A.; AZEVEDO FILHO, J.A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula, e agrião d'água. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/FUNDAG, 1997. cap.18, p.168-169. (Boletim Técnico, 100).

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/FUNDAG, 1997. cap.18, p.157-164. (Boletim Técnico, 100).

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Method 3050B**. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Revision 2. 1996a. 12p. Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm> Acesso em: 10 mar. 2009.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Method 3051A**. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Revision 1. 2007a. 30p. Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm> Acesso em: 10 mar. 2009.

WELCH, R.M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. cap.12, p.287-309.

WELCH, R.M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R.M. (Ed.). **Perspectives on the micronutrient nutrition of crops**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. cap.11, p.247-289.

WELCH, R.M.; COMBS, G.F.; DUXBURY, J.M. Toward a "greener" revolution. **Issues in Science and Technology**, Washington, DC, v.14, n.1, p.50-58, 1997.

WELCH, R.M.; GRAHAM, R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, n.396, p.353-364, 2004.

WELCH, R.M.; HOUSE, W.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; CHENG, Z. Potential for improving bioavailable Zinc in wheat grain (*Triticum Species*) through plant breeding. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v.53, n.6, p.2176-2180, 2005.

WELCH, R.M.; NORVELL, W.A. Mechanisms of cadmium uptake, translocation and deposition in plants. In: McLAUGHLIN, M.J.; SINGH, B.R. (Ed.). **Cadmium in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. cap.6, p.125-150.

WEN, T.N.; LI, C.; CHEN, C.S. Ubiquity of selenium-containing tRNA in plants. **Plant Science**, Clare, v.57, n.3, p.185-193, 1988.

WITTE, C.P.; TILLER, S.A.; TAYLOR, M.A.; DAVIES, H.V. Addition of nickel to Murashige and Skoog medium in plant tissue culture activates urease and may reduce metabolic stress. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v.68, n.1, p.103–104, 2002.

WOOD, B.W.; REILLY, C.C.; NYCZEPIR, A.P. Mouse-ear of pecan: a nickel deficiency. **HortScience**, Alexandria, v.39, n.6, p.1238-1242, 2004.

WSDA. Washington State Department of Agriculture. **Rules relating to fertilizer, minerals and limes effective**. Olympia: WSDA/Pesticide Management Division, 1999. 10p.

YAMADA, T. Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.105, p.1-12, 2004. (Encarte Técnico).

ZHANG, W. A forecast analysis on world population and urbanization process. **Environment, Development and Sustainability**. Dordrecht, v.10, n.6, p.717–730, 2008.

ZHANG, W.J.; ZHANG, X.Y. A forecast analysis on fertilizers consumption worldwide. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.133, n.1-3, p.427-434, 2007.