

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”

**Ácidos orgânicos e solubilização de metais pesados em solos tratados com lodo
de esgoto**

Letícia Altafin

**Dissertação apresentada para obtenção
do título de Mestre em Agronomia. Área
de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba

2005

Letícia Altafin
Engenheiro Agrônomo

Ácidos orgânicos e solubilização de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto

Orientador:
Prof^a Dr^a Maria Emilia Mattiazzo Prezotto

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de
concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

Piracicaba
2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Altafin, Leticia

Ácidos orgânicos e solubilização de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto / Leticia Altafin. - - Piracicaba, 2005.
58 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Ácido orgânico 2. Lodo de esgoto – Uso agrícola 3. Metal pesado do solo 4. Rizosfera
I. Título

CDD 631.41

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À minha mãe e amiga

Ana

por tudo em minha vida,

DEDICO

A Luiz Vicente de Souza Queiroz

humildemente

Ofereço

Agradecimentos

À Prof^a Maria Emília Mattiazzo, pela orientação e à amiga Mila por ter sido meu norte esses anos;

À amiga Adriana pelo apoio, paciência, amizade e exemplo;

À amiga Paula Packer por tentar me fazer entender como funciona o ICP e pela amizade;

À coordenação do curso pela oportunidade;

A CAPES pela bolsa concedida;

Aos amigos da Chimica Cristiano, Marta, Chiba, Estêvão, Jonas, Virginia, Lúcia, Gláucia, Fabiana, Susian, Camila, Giro, Limão e Cinquenta pela afeição e auxílio;

Aos meus irmãos Rascuño, Primo, Riskdo, Lodo, Nakgima, Gaμ-over e Rabugento por todos os momentos que dividimos;

Às secretárias Angélica e Ana que sempre me atenderam sorrindo faltando quinze minutos para as seis horas da tarde na sexta-feira;

Às amigas Polenguiña, Uau, Okici, Arara, Grazi, Nanda, Maria Fernanda, Ana Paula e Maria Clara pela amizade de hoje e sempre;

Ao Isma pelos vitaminados, sucos de laranja e incentivo;

À minha irmã e amiga Vi por me amar mesmo sem eu ter carteira de trabalho;

À Silvia Zinsly pelas correções bibliográficas;

Em fim, para todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Uso agrícola do lodo de esgoto	11
2.2 Problemática dos metais pesados	12
2.3 Teores solúveis de metais	13
2.4 Ácidos orgânicos e fitodisponibilidade.....	14
2.5 Método de Neubauer	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Solo	18
3.2 Lodo de esgoto	20
3.3 Montagem do experimento de incubação	22
3.4 Soluções extratoras	23
3.5 Extração	23
3.6 Método de Neubauer.....	24
3.7 Análise dos dados.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Teores dos metais pesados extraídos pelos ácidos.....	27
4.1.1 Cádmio	27
4.1.2 Cromo.....	31
4.1.3 Cobre	33
4.1.4 Níquel.....	35
4.1.5 Chumbo	37
4.1.6 Zinco.....	39
4.2 Correlação entre teores de metais pesados extraídos pelos ácidos orgânicos e teores dos metais nas plantas de arroz	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6 CONCLUSÕES.....	44

7 REFERÊNCIAS 45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	13
TABELA 2	19
TABELA 3	19
TABELA 4	21
TABELA 5	23
TABELA 6	28
TABELA 7	29
TABELA 8	31
TABELA 9	32
TABELA 10	33
TABELA 11	34
TABELA 12	35
TABELA 13	36
TABELA 14	37
TABELA 15	38
TABELA 16	39
TABELA 17	40
TABELA 18	41
TABELA 19	42

RESUMO

Ácidos orgânicos e solubilização de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto

Em solos tratados com lodo de esgoto, a concentração de metais pesados em solução é baixa e a cinética de dissolução é lenta. Com isso, as reações de complexação que ocorrem na rizosfera passam a ser importantes para a fitodisponibilidade destes metais. Estudos recentes demonstraram que ácidos orgânicos liberados por raízes, como acético, cítrico, láctico, oxálico e tartárico, são importantes agentes complexantes e, conseqüentemente, fitodisponibilizadores de metais pesados. Soluções de ácidos acético, cítrico, láctico, oxálico e tartárico, nas concentrações: 0,4; 0,6; 0,8 e 1,00 mol L⁻¹ foram utilizadas para extrair Cd, Cu, Cr, Ni, Zn e Pb de amostras de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) e de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) tratados com doses de 0, 40 e 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Nas mesmas amostras foram cultivadas plantas de arroz, pelo método de Neubauer. Os teores de metais pesados nas plantas, colhidas 18 dias após a germinação, foram correlacionados com os teores extraídos pelas diferentes soluções dos ácidos orgânicos. Os resultados mostraram que a fitodisponibilidade de Cu e Zn pode ser estimada por todos os ácidos estudados e em todas as concentrações. Os ácidos láctico e tartárico, em concentrações de 0,4 até 1 mol L⁻¹, apresentaram potencial para estimar a disponibilidade Ni, e o ácido oxálico, em todas as concentrações, para Cr. Com aplicação de doses de lodo de esgoto de até 80 Mg ha⁻¹ (base seca) não é prevista a disponibilidade de Cd e Pb, por isso não foi possível avaliar a eficiência dos ácidos orgânicos na previsão da fitodisponibilidade desses elementos.

Palavras-chave: lodo de esgoto, rizosfera, extratores e fitodisponibilidade

ABSTRACT

Organic acid and heavy metals solubilization in soils treated with sewage sludge

In soils treated with sewage sludge, heavy metals concentration in solution is low and solubilization kinetics is slow. So, soluble complex formation that occurs in the rhizosphere became to be important in plant availability of these metals. Recent studies showed that organic acids released by roots, like acetic, citric, lactic, oxalic and tartaric acids, are important agents of solubilization and consequently can change heavy metals availability. Solution of acetic, citric, lactic, oxalic and tartaric acids in concentrations: 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 mol L⁻¹ were used to extract Cd, Cu, Cr, Ni, Pb and Zn of soil samples treated with sewage sludge, in levels of 0, 40 and 80 Mg ha⁻¹. Soils samples were also used in a Neubauer essay with rice as test plant. Heavy metals concentrations in the plants harvested 18 days after the germination were correlated with metals quantities removed from the different organic acid solutions. The results showed that Cu and Zn plant availability can be evaluated with all tested acids in all tested concentrations. Lactic and tartaric acids, 0.4 to 1.0 mol L⁻¹, can be used to evaluate availability of Ni and oxalic acid, in all concentrations, can be a Cr extractant. . In the treatment receiving 80 Mg ha⁻¹ of sewage sludge the Cd and Pb were not available as a result it was not possible to determine the organic acids efficiency to evaluate the bioavailability of these elements.

Keywords: biosolid, rhizosphere, extractant, phytoavailability

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a Região Metropolitana da cidade de São Paulo estará produzindo cerca de 785 toneladas (base seca) de lodo de esgoto por dia no ano de 2015 (Tsutiya, 2000). Apenas na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Barueri/SP, uma das principais ETEs desta região, estimou-se que a produção de lodo de esgoto para os anos 2005, 2010 e 2015 será respectivamente de 227, 294 e 310 toneladas (base seca) por dia (SANTOS; TSUTIYA, 1997). Uma das alternativas para disposição desse resíduo é o seu uso racional no solo como fonte de nutrientes para plantas. Entretanto, o uso agrícola de lodo de esgoto encontra como principais obstáculos a presença de patógenos humanos e/ou animais, de compostos orgânicos persistentes, de metais pesados e da possibilidade de lixiviação de nitratos devido à falta de sincronia entre a mineralização da fração orgânica do resíduo e a absorção do nitrogênio pelas plantas.

A problemática da adição de metais pesados ao solo via lodo de esgoto tem sido bastante discutida, e estudos tem demonstrado que a fitodisponibilidade dessas espécies em solos tratados com lodo de esgoto normalmente é igual ou menor que 1 % do total adicionado (PETRUZZELLI et al., 1989; CHANG et al., 1997). Com isso, as atenções têm sido voltadas para problemas que poderão surgir em longo prazo. Alguns autores, entre eles Chaney e Ryan (1993) acreditam que a fitodisponibilidade dos metais pesados não se alterará com o tempo. Outra hipótese é a da chamada “bomba relógio”, que se baseia na possibilidade de disponibilização dos metais pesados a partir da degradação da carga orgânica do lodo de esgoto (McBRIDE, 1995).

Estudos recentes citam a importância dos ácidos orgânicos produzidos pelas raízes na disponibilização dos metais pesados (MENCH; MARTIN, 1991; KRISHNAMURTI et al., 1997; JONES, 1998; RENELLA et al., 2004). Acredita-se que os metais vão sendo solubilizados na rizosfera pela ação de ácidos como cítrico, málico, oxálico e acético (MERCCKX et al., 1986; JONES, 1998), sendo absorvidos pelas plantas. Dentre os principais ácidos orgânicos liberados pelas raízes, não se sabe ainda qual (is) têm maior potencial de solubilização de metais originários do lodo de esgoto em diferentes solos.

Pires (2003) estudou o potencial de uma mistura de ácidos orgânicos na avaliação da fitodisponibilidade de metais pesados. Fazendo parte dessa mistura estavam os ácidos acético, cítrico, láctico e oxálico. A autora concluiu que os ácidos orgânicos apresentam potencial de uso

para previsão de fitodisponibilidade de metais pesados originários do lodo, entretanto salienta que há necessidade de mais estudos visando validar o método.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de solubilização de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn por soluções de concentrações variáveis de ácidos orgânicos em dois solos tratados com lodo de esgoto e correlacionar as quantidades removidas pelos diferentes ácidos com as presentes em plantas de arroz em um ensaio tipo Neubauer. Dessa forma se poderá avaliar qual das soluções testadas é mais eficiente na previsão dos teores fitodisponíveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso agrícola do lodo de esgoto

Durante o tratamento de águas residuárias de origem doméstica é gerado o lodo de esgoto, que é um resíduo predominantemente orgânico e rico em nutrientes de plantas particularmente nitrogênio e fósforo. A presença de metais pesados nesse material é atribuída, principalmente, ao descarte de resíduos industriais junto com o esgoto doméstico.

Os benefícios, assim como os efeitos adversos provocados pelo uso agrícola de lodo de esgoto, têm sido bastante discutidos pela literatura, sendo que as principais limitações estão relacionadas à presença de organismos patogênicos, compostos orgânicos persistentes, sais solúveis e metais pesados (MELO et al., 1994; MCBRIDE et al., 2004). No Estado de São Paulo, o uso de lodo de esgoto em área agrícola deve seguir os procedimentos estabelecidos pela norma P4.230 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1999). Na norma P4.230 são definidas, entre outras exigências, as concentrações máximas de metais pesados presentes no lodo, a concentração máxima de metais a ser adicionada por meio de uma única aplicação de lodo e as quantidades cumulativas permissíveis. Além disso, é exigido o monitoramento das áreas em que esta prática é adotada.

2.2 Problemática dos metais pesados

Quando adicionados ao solo, os metais podem seguir caminhos indesejáveis, como serem lixiviados, atingindo o lençol freático e, conseqüentemente, as coleções hídricas, e/ou serem absorvidos pelas plantas. Uma população que utilize esta água ou se alimente dessas plantas correrá risco de contaminação. É interessante ressaltar que estes elementos são bioacumulados, ou seja, vão se acumulando nos organismos vivos podendo atingir níveis tóxicos lentamente. Portanto, a adição de resíduos que apresentem metais pesados em sua composição deve ser feita com muita cautela.

A solubilidade dos metais no solo oriundos do lodo e os efeitos a ela associados e o potencial de lixiviação são influenciados pelo tipo de processo empregado na estabilização do lodo antes da aplicação no solo, bem como pelas características do solo (textura, matéria orgânica, mineralogia) (MCBRIDE, 1995; RICHARD et al., 1997, 2000).

Os teores de metais pesados presentes no lodo de esgoto são bastante variáveis, como mostra a Tabela 1, que reúne os dados obtidos no laboratório de Química Ambiental da ESALQ/USP para vários lodos de esgoto amostrados em diferentes épocas e em várias ETEs do Estado de São Paulo. Esta variação é função de vários fatores como o local de origem do esgoto, se exclusivamente doméstica ou doméstica e industrial, a época de coleta, o tipo de tratamento adotado na estação, entre outros. Devido à amplitude de variação dos teores apresentados na Tabela 1, pode-se extrapolá-los para os lodos de esgoto obtidos no Estado de São Paulo, haja vista os teores encontrados por Berton et al. (1989), Oliveira (1995), Bertoncini (1997) e Pires (2003).

Tabela 1 - Teores máximos e mínimos de metais pesados presentes em amostras de lodos de esgoto (base seca) coletados no Estado de São Paulo*

Elemento	Mínimo	Máximo
	-----mg kg ⁻¹ -----	
Cd	16	1500
Cu	20	8000
Cr	40	8800
Fe	38000	84000
Mn	223	479
Mo	2	30
Ni	20	5300
Pb	120	3000
Zn	700	4900

* Dados obtidos para amostras de diferentes lodos de esgoto provenientes de diferentes ETEs e coletados em diferentes épocas. Análises realizadas no laboratório de Química Ambiental da ESALQ/USP.

Muitos estudos sobre metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto já foram desenvolvidos no País, entretanto poucos contemplam o comportamento e a disponibilização destes em longo prazo.

2.3 Teores solúveis de metais

A norma P4.230 (CETESB, 1999) define os teores totais máximos de metais pesados que podem estar presentes em lodos de esgoto destinados ao uso agrícola. Entretanto, são os teores solúveis que indicam a fitodisponibilidade destes. Portanto, uma metodologia que estime a fitodisponibilidade dos metais é fundamental para a avaliação do risco do uso agrícola deste resíduo.

Sabe-se que os metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto geralmente não estão em formas prontamente disponíveis para as plantas (CHANEY; RYAN, 1993). Alguns autores acreditam que a capacidade de retenção dos metais pelo lodo de esgoto é um dos principais processos reguladores da atividade dos metais pesados em solução (ALLOWAY,

1995; BECKETT, 1989). Candelária (1995) observou que metais pesados presentes em lodos de esgoto estão adsorvidos especificamente em minerais e matéria orgânica originários do próprio resíduo. Existem autores que acreditam que a capacidade de adsorção específica do solo aumenta com a adição dos sítios de adsorção dos lodos de esgoto, entretanto com a mineralização do resíduo a capacidade retornará aos níveis originários, disponibilizando os metais pesados. Esta teoria é conhecida como Teoria da Bomba Relógio (McBRIDE, 1995). O que se pode verificar nos trabalhos existentes na literatura é que, de uma forma geral, existe concordância no comportamento dos metais em curto prazo, entretanto há controvérsias no que se refere ao comportamento em longo prazo.

2.4 Ácidos orgânicos e fitodisponibilidade

A rizosfera, região do solo sob influência direta da presença das raízes, possui características distintas das do solo, sendo a região onde ocorre a maior parte das interações entre microrganismos e plantas (LYNCH, 1990; FOSTER, 1986). A rizosfera é um habitat mutável, sendo que a sua composição e a sua estrutura são influenciadas durante o ciclo vegetativo. Suas dimensões também são determinadas pelo tipo, composição e umidade do solo. A planta também pode modificar as características químicas do solo nas proximidades de suas raízes por meio (i) dos fragmentos descascados da superfície das raízes e dos exsudatos radiculares solúveis, enriquecendo o solo com uma variedade de compostos orgânicos; (ii) do consumo de O_2 e liberação de CO_2 , modificando a atmosfera radicular; e dessa forma modificar a absorção seletiva de íons nutritivos, diminuindo a concentração de sais; e (iii) do consumo de H_2O , reduzindo a umidade (MOREIRA, 2002).

Os exsudatos radiculares contêm uma miscelânea de compostos como açúcares, aminoácidos, peptídeos, nucleotídeos, vitaminas, ácidos orgânicos e outros compostos biologicamente ativos. A composição dos exsudatos de raízes é altamente variável e depende da espécie, idade, estado nutricional da planta, entre outros fatores (CURL; TRUELOVE, 1986).

Nesse trabalho, os exsudatos de interesse são os ácidos orgânicos: hidrocarbonetos de baixo peso molecular encontrados em todos os organismos vivos e que possuem um ou mais grupos carboxílicos. Dependendo da constante de ionização e do número de grupos carboxílicos os ácidos orgânicos podem apresentar número variável de cargas negativas que permitem a

complexação de cátions metálicos em solução e o deslocamento de ânions da matriz do solo. Por essa razão, eles estão presentes em muitos processos biológicos como: mobilização e absorção de nutrientes por plantas e microrganismos, tolerância de algumas plantas a metais, proliferação de microrganismos na rizosfera além de participarem da intemperização dos minerais do solo (MARSCHNER, 1995).

Os ácidos orgânicos podem potencializar mudanças na concentração de micronutrientes (Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , e Zn^{2+}) na solução do solo e possibilitar um aumento da sua fitodisponibilidade (DINKELAKER, 1989; DINKELAKER, 1995; JONES; 1995).

Existem duas principais rotas de liberação de ácidos orgânicos do citoplasma da célula da raiz para solução do solo (Figura 1). A primeira (1) representa a passagem mais lenta por difusão através da dupla camada lipídica e na segunda (2) a passagem é feita através de um canal protéico na membrana plasmática. A direção do transporte pelos dois mecanismos é controlada por um gradiente eletroquímico (carga e concentração - célula/solo) que é parcialmente gerado pelos prótons (H^+) liberados pela ação da enzima ATPase (3) (JONES, 1998).

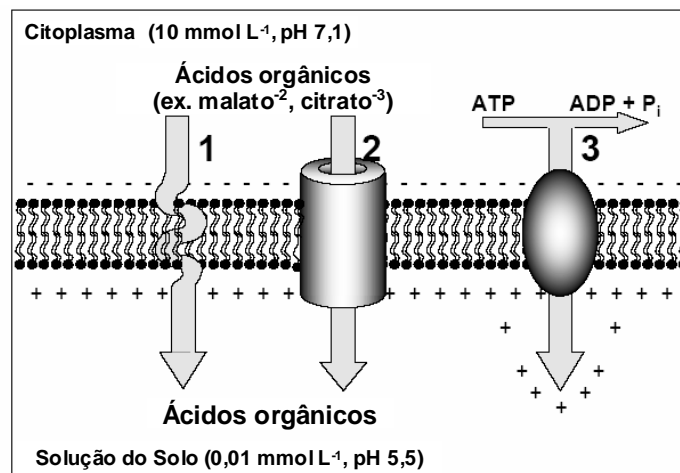


Figura 1 - Esquema representativo das duas principais rotas de excreção de ácidos orgânicos pelas células da raiz. Fonte: Jones, 1998

Após a liberação no solo, o ácido orgânico pode seguir várias vias, descritas na Figura 2.

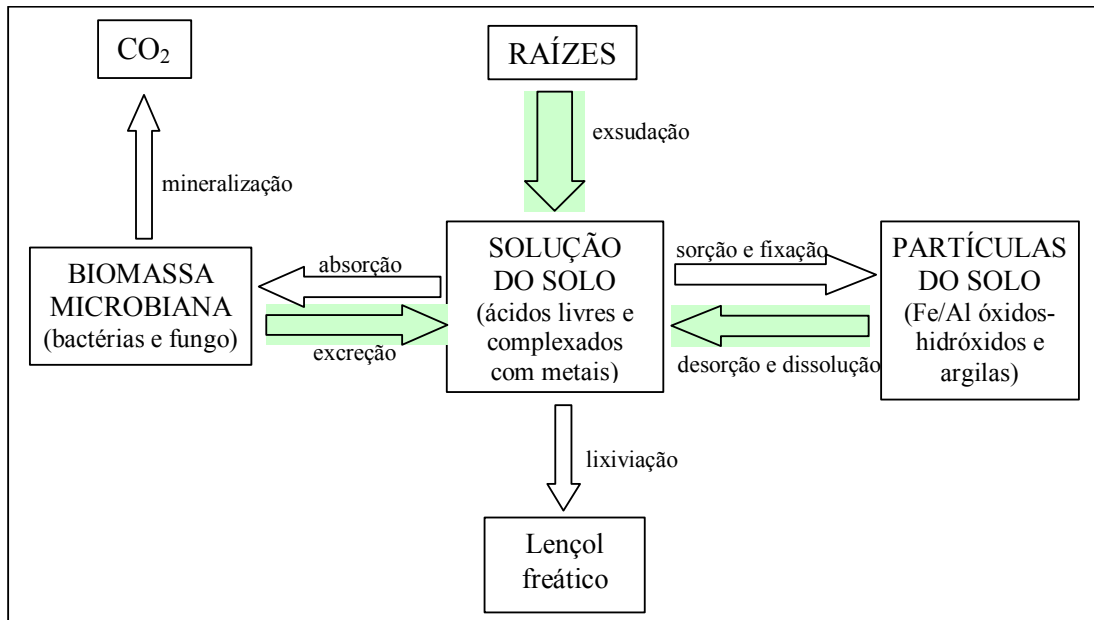


Figura 2 - Esquema demonstrativo do fluxo dos ácidos orgânicos no solo. Fonte: Jones, 1998

Alguns autores consideram que os ácidos orgânicos têm um importante papel na solubilização dos metais pesados (CATALDO et al., 1988; JONES; DARRAH, 1994; JONES, 1998; SHAN et al., 2003). Sabe-se que apenas os metais pesados em solução são absorvidos pelas plantas (TAIZ; ZEIGER, 1998), portanto mecanismos de solubilização de metais adsorvidos na fase sólida do solo tratado com lodos de esgoto devem ser considerados no estudo do potencial de contaminação. Jenny e Overstreet (1938) consideram que as reações na região da rizosfera, que ocorrem entre as raízes e a fase sólida facilitam a absorção de nutrientes pelas plantas. Dessa forma existe uma maior disponibilização de nutrientes na interface solo/raiz. Esse mesmo raciocínio pode ser aplicado para os metais pesados presentes na rizosfera.

Estudos demonstraram que exsudatos de raiz têm importante papel na solubilização de metais pesados no solo (MENCH; MARTIN, 1991; KRISHNAMURTI et al., 1997). Os ácidos orgânicos têm se destacado como fitodisponibilizadores de nutrientes, como fósforo (HOFFLAND, 1992), e micronutrientes, como ferro, zinco e cobre (TAKAGI et al., 1988).

A disponibilidade dos metais em longo prazo pode ser definida como a quantidade total de metal passível de ser absorvida pelas plantas. Quando as condições de crescimento são as

mesmas, a taxa de solubilização do metal pesado em cada caso é diretamente proporcional à absorção destes pelas plantas e, conseqüentemente, ao teor dos metais no tecido vegetal. O conceito convencional de fitodisponibilidade está baseado na absorção pela planta dos nutrientes que estão prontamente solúveis na solução do solo. Por causa da baixa solubilidade dos metais em água e por que os reagentes químicos comumente utilizados como extratores de metais do solo não simulam as reações que ocorrem próximas às raízes, a fitodisponibilidade dos metais em solos tratados com lodos de esgoto ainda é difícil de ser avaliada (MATTIAZZO; ANDRADE, 2000; ANJOS; MATTIAZZO, 2001; BERTON, 2000; MATTIAZZO et al., 2001).

Portanto, estudos sobre a possibilidade da utilização de ácidos orgânicos para a avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto, são uma importante ferramenta na avaliação do risco da adição deste resíduo aos solos agrícolas.

2.5 Método de Neubauer

A avaliação da disponibilidade de nutrientes adicionados a solos utilizando plantas em ensaios em curto prazo e sem grandes volumes de solo é o objetivo do teste proposto por Neubauer e Schneider (1923). Por esse método são detectadas mudanças nas concentrações dos elementos em função de ser usada uma alta relação semente/solo o que proporciona uma rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção dos nutrientes disponíveis durante um curto período de crescimento (STANFORD; DEMENT 1957; DEMENT et al. 1959a; DEMENT et al. 1959b). Uma versão alternativa do teste de Neubauer é cultivar as plantas em areia sem os nutrientes a serem testados por volta de 15 dias e então transferi-las para o solo teste por 3 dias. O desenvolvimento das raízes é rápido e a ocupação do solo ocorre em 24 horas após o contato. O rápido crescimento das plantas na pré-transferência, o curto período de exposição e a quantidade de matéria seca produzida não afetam a avaliação da disponibilidade dos nutrientes (STANFORD; DEMENT 1957; DEMENT et al. 1959a; DEMENT et al. 1959b).

A maioria dos autores adota o método de Neubauer tradicional que utiliza 100 g do solo a ser avaliado por um período de 7 a 25 dias (DEB, 1969; NAIR; COTTENIE, 1969; NISHITA et al., 1973; MELLO, 1987; GRZEBISZ; OERTLI, 1992; SATTELL; MORRIS, 1992; MATERECHERA, 1999). O método de Neubauer, modificado por Catani e Bergamin (1961), tem sido utilizado por outros autores para avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados

adicionados a solos (MATTIAZZO, 1994; ROCHA, 2000; FELIX, 2005). Nessa modificação a principal mudança é a quantidade de solo utilizado: 20g.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solo

As amostras utilizadas foram coletadas, da camada de 0-20 cm de profundidade, de solos classificados como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) e LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef). A amostra do LVAd foi coletada de área cultivada com eucalipto na Estação Experimental de Itatinga da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” enquanto que a amostra de LVef foi coletada em área cultivada com cana-de-açúcar.

As amostras foram secas ao ar e peneiradas (abertura de malha de 2 mm). As caracterizações química e granulométrica dos solos utilizados foram realizadas segundo Raij et al. (1987) e Camargo et al. (1986), respectivamente, e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Algumas características químicas ¹ e granulométricas ² das amostras de solos

Características Químicas												
Solos	pH	C _{org}	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	V	m%
	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	----- mmol _c dm ⁻³ -----								(%)
LVAd	3,7	27	1	0,3	3	1	65	15	4	69	6	79
LVEf	4,1	29	19	4,2	21	5	64	8	30	96	31	21

Características granulométricas					
Solos	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
	<0,002mm	0,053-0,002mm	----- g kg ⁻¹ -----		
LVAd	142	9	849	572	277
LVEf	545	193	262	105	157

⁽¹⁾ Análises realizadas segundo Raij et al. (1987)

⁽²⁾ Análises realizadas segundo Camargo et al. (1986)

O teor total dos metais presentes nas amostras de terra foi obtido seguindo o procedimento oficial adotado pela Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos da América (USEPA – “United States Environmental Protection Agency”) descrita por Abreu et al., 2001.

A quantificação dos metais no extrato foi realizada em espectrofotômetro de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS) Elan 9000. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Teores totais dos elementos presentes nas amostras dos solos utilizados no estudo. Resultados médios de 3 repetições

Solos	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----					
LVAd	0,00	12	13	3	0,11	10
LVEf	0,60	28	49	8	0,31	143

3.2 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto usado no estudo foi coletado na ETE - Jundiaí, operada pela Companhia Saneamento de Jundiaí. Esse resíduo foi obtido pelo tratamento biológico de esgoto sanitário em sistema de lagoas de aeração de mistura completa seguidas de lagoas de decantação. O lodo de esgoto, previamente condicionado com polímeros, foi desaguado em decanters centrífugas atingindo 20% de sólidos. Na seqüência o lodo de esgoto desaguado passou por um processo de condicionamento físico e sanitário, com revolvimento mecânico e exposição ao solo até atingir 42% de teor de sólidos de forma a facilitar as etapas de transporte e aplicação no campo. A amostra de lodo, antes de ser utilizada no experimento, foi seca ao ar e peneirada em peneira com abertura de malha de 2 mm.

A caracterização química do resíduo foi realizada segundo a metodologia estabelecida na EPA - 3051 (Environmental Protection Agency), indicada pela USEPA (1993) e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento. Resultados médios de 3 repetições expressos no material seco

Característica	Valor
Umidade (%)	58,33
pH _{H2O} (1:5)	4,8
M.O. ⁽¹⁾ (g.kg ⁻¹)	504,04
C-orgânico (g kg ⁻¹)	289,10
N total (g kg ⁻¹)	22,88
Relação C/N	12,7
P (g kg ⁻¹)	9,20
K (g kg ⁻¹)	2,74
Ca (g kg ⁻¹)	24,66
Mg (g kg ⁻¹)	2,5
S (g kg ⁻¹)	7,04
Fe (g kg ⁻¹)	27,16
Cd (mg kg ⁻¹)	8,25
Cu (mg kg ⁻¹)	1020,43
Cr (mg kg ⁻¹)	222,36
Ni (mg kg ⁻¹)	55,66
Pb (mg kg ⁻¹)	55,01
Zn (mg kg ⁻¹)	1892,26
Mn (mg kg ⁻¹)	830,07

(1) Determinado por incineração a 550°C conforme recomenda a Portaria nº 1 de 04 de março de 1983, regulamentando a Lei nº 6934 de 13/07/1981

3.3 Montagem do experimento de incubação

Em vasos plásticos com capacidade para 500 mL foram colocados 300 g de solo e o lodo de esgoto conforme os tratamentos, a saber: 0, 40 e 80 Mg ha⁻¹. Para o cálculo da quantidade de lodo de esgoto a ser adicionada aos vasos, considerou-se um valor de densidade do solo de 1,2 g cm⁻³ e supondo-se uma profundidade de incorporação do lodo de 0,2 m. Dessa forma fez-se a conversão de volume de solo para peso de terra. As quantidades de lodo efetivamente adicionadas aos vasos foram: 0, 5 g (tratamento dose 40 t ha⁻¹) e 10 g (tratamento dose 80 t ha⁻¹). Após a incorporação do lodo ao solo foi feita a adição de água deionizada em quantidade correspondente a 70% da capacidade de retenção dos solos que foi determinada conforme Camargo et al. (1986). Procedeu-se um período de incubação de 30 dias. Durante este período a umidade do solo foi mantida constante, sendo que para isso os vasos eram pesados diariamente, em balança de precisão. A variação do peso era corrigida com adição de água deionizada.

Os tratamentos adotados, com 3 repetições cada, são descritos a seguir.

1. LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) (controle);
2. LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) (controle);
3. LVAd tratado com 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto;
4. LVef tratado com 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto;
5. LVAd tratado com 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto;
6. LVef tratado com 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto.

As quantidades totais dos metais, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn adicionadas via lodo de esgoto aos vasos dos tratamentos, já convertidas para mg kg⁻¹ de terra aparecem na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidades dos metais adicionados aos vasos dos tratamentos via lodo de esgoto

Dose de lodo (Mg ha ⁻¹)	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----					
40	0,14	3,71	17,00	0,93	0,92	31,54
80	0,27	7,41	34,01	1,85	1,83	63,07

Após trinta dias de incubação, o solo dos vasos foi seco em estufa na temperatura de 60°C até peso constante.

3.4 Soluções extratoras

Foram utilizadas soluções dos ácidos acético, cítrico, láctico, oxálico e tartárico nas concentrações de 1,0; 0,8; 0,6 e 0,4 mol L⁻¹, estimadas com base em resultados obtidos por Pires (2003). As soluções foram preparadas com água deionizada e continham 0,4 % de clorofórmio para inibir a atividade microbiana.

3.5 Extração

À 10 g da amostra de terra proveniente dos tratamentos, descritos no item 4.3, foram adicionados 30 ml da solução extratora. A suspensão foi agitada por seis horas em agitador horizontal (Innova 2100, a 260 rpm). Em intervalos de duas horas o pH foi ajustado para 4,5 com solução de ácido clorídrico 50%. Observou-se que, na segunda correção, o pH da mistura solo-solução manteve-se inalterado, em 4,5, não necessitando de novas correções.

O extrato foi filtrado usando papel de filtro Whatmann nº 42.

A quantificação dos metais no extrato foi realizada em espectrofotômetro de massa com fonte de plasma induzido (ICP-MS) Elan 9000.

3.6 Método de Neubauer

Para avaliar a eficiência das soluções de ácidos orgânicos testadas na previsão dos teores fitodisponíveis de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn, montou-se um ensaio tipo Neubauer, com as modificações propostas por Catani e Bergamin (1961). A montagem do ensaio é descrita a seguir.

Do solo proveniente dos tratamentos descritos no item 4.3 acima, foram retirados 20 g que foram misturados com 40 g de areia lavada e calcinada, em placas de Petri de 100 mm de diâmetro por 15 mm de altura. Sobre a mistura foram espalhadas mais 20 g da areia e plantadas 25 sementes de arroz da variedade SCS 112, que em seguida foram cobertas com 10 g areia. Cada placa recebeu 16 g de água. O ensaio em branco foi preparado plantando-se 25 sementes em 60 g de areia, cobrindo-se as sementes com mais 10 de areia, e molhando com 12 g de água. As plantas (parte aérea mais raízes) foram colhidas 18 dias após a germinação, lavadas e secas em estufa a 40 °C até peso constante. O material vegetal produzido pelos tratamentos foi transferido para frascos de teflon PFA de forno microondas. A cada frasco foram adicionados 1 mL de ácido nítrico e 2 mL de peróxido de hidrogênio, permanecendo aberto por 30 minutos para pré-digestão. Após esse período os frascos fechados foram levados ao forno de microondas, onde foi concluída a digestão. O extrato foi transferido para tubos de 10 mL e a determinação dos metais foi feita por espectrofotômetro de emissão atômica por indução de plasma (ICP-AES). Aspecto do ensaio pode ser observado nas Figuras 3 a 5.

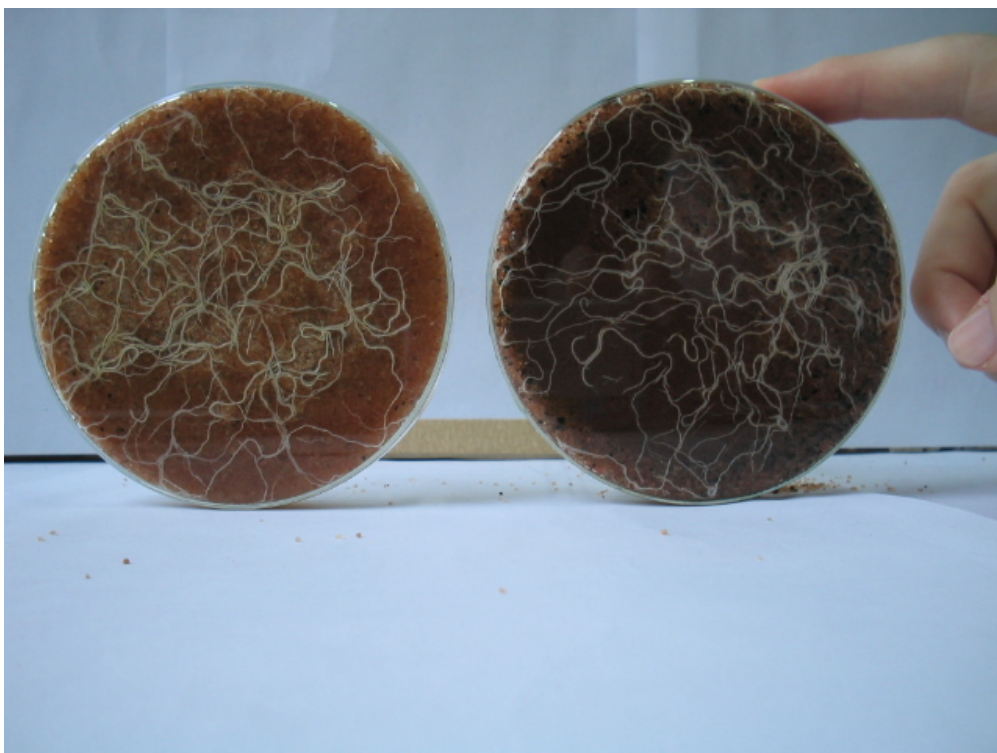


Fig. 3. Sistema radicular dos tratamentos 3 e 4 (solo arenoso e argiloso com 40 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto)



Fig. 4. Fotos dos tratamentos 1, 3 e 5 (solo arenoso com 0, 40 e 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto)



Fig. 5. Fotos dos tratamentos 2, 4 e 6 (solo argiloso com 0, 40 e 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto)

3.7 Análise dos dados

Os valores obtidos nas extrações pelos ácidos orgânicos foram submetidos a análise de variância pelo teste F (Anexos A a F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) separadamente para cada metal. Foram considerados como fatores de variação: solo, dose de lodo de esgoto, ácido orgânico e concentração do ácido, além da interação entre eles.

Foram também realizadas análises de correlação simples entre os teores de metais pesados nas plantas e os teores de metais pesados extraídos pelos ácidos orgânicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores dos metais pesados extraídos pelos ácidos

Os teores de metais removidos pelos diferentes ácidos orgânicos são apresentados nas Tabelas 6 a 17.

A seguir são feitas considerações para cada metal isoladamente.

4.1.1 Cádmio

As quantidades removidas de Cd pelos diferentes ácidos nas 4 (quatro) concentrações testadas nos dois solos utilizados, LVAd e LVef, são apresentadas respectivamente nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Teores (mg kg^{-1}) de Cd extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0000 aA	0,0002 aA	0,0002 aA	0,0007 aA	0,0005 aA
	0,6	0,0000 aA	0,0001 aA	0,0064 aA	0,0006 aA	0,0006 aA
	0,8	0,0000 aA	0,0001 aA	0,0000 aA	0,0005 aA	0,0002 aA
	1,0	0,0011 aA	0,0001 aA	0,0009 aA	0,0003 aA	0,0010 aA
40	0,4	0,0037 bA	0,0035 aA	0,0020 bA	0,0033 aA	0,0092 aA
	0,6	0,0397 aA	0,0020 aB	0,0131 aB	0,0030 aB	0,0024 aB
	0,8	0,0068 bA	0,0029 aA	0,0080 abA	0,0022 aA	0,0041 aA
	1,0	0,0100 bA	0,0013 aA	0,0069 abA	0,0045 aA	0,0058 aA
80	0,4	0,0255 bA	0,0066 aB	0,0046 bB	0,0052 aB	0,0131 bB
	0,6	0,0398 aA	0,0035 aC	0,0224 aB	0,0059 aC	0,0069 bC
	0,8	0,0271 bA	0,0038 aB	0,0035 bB	0,0058 aB	0,0055 bB
	1,0	0,0281 bA	0,0024 aB	0,0047 bB	0,0057 aB	0,0243 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 7 - Teores (mg kg^{-1}) de Cd extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0105 aA	0,0009 aA	0,0000 aA	0,0005 aA	0,0016 aA
	0,6	0,0000 aA	0,0009 aA	0,0095 aA	0,0002 aA	0,0015 aA
	0,8	0,0031 aA	0,0007 aA	0,0017 aA	0,0002 aA	0,0009 aA
	1,0	0,0037 aA	0,0006 aA	0,0020 aA	0,0006 aA	0,0095 aA
40	0,4	0,0000 cA	0,0035 aA	0,0018 aA	0,0011 aA	0,0051 aA
	0,6	0,0265 aA	0,0024 aB	0,0036 aB	0,0046 aB	0,0039 aB
	0,8	0,0090 bcA	0,0027 aA	0,0070 aA	0,0044 aA	0,0041 aA
	1,0	0,0133 bA	0,0020 abAB	0,0089 aAB	0,0012 aB	0,0057 aAB
80	0,4	0,0302 aA	0,0068 aB	0,0004 aB	0,0017 aB	0,0077 bB
	0,6	0,0236 aA	0,0039 aB	0,0027 aB	0,0018 aB	0,0096 bB
	0,8	0,0213 aA	0,0040 aB	0,0054 aB	0,0007 aB	0,0054 bB
	1,0	0,0276 aB	0,0026 aC	0,0064 aC	0,0021 aC	0,0432 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Não foram observadas diferenças no teor de Cd que possam ser atribuídas aos solos utilizados no ensaio. Nos tratamentos controle as quantidades de Cd removidas pelos diferentes ácidos não apresentaram diferenças nos dois solos estudados. Considerando que no solo arenoso o teor total de Cd foi de $1,33 \text{ mg kg}^{-1}$ pode-se considerar que a remoção do Cd original do solo pelos diferentes ácidos tendeu a zero. As mesmas considerações podem ser feitas para o solo argiloso. A não remoção de Cd, em solos sem aplicação de lodo, utilizando DTPA pH 7,3; HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e Mehlich 3 como extratores, também foi constatada por Anjos (2001).

As baixas quantidades de Cd extraídas, por todos os ácidos, nos tratamentos com lodo podem ser atribuídas as baixas quantidades adicionadas ao solo via lodo ($0,14$ e $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente para as doses 40 e 80 Mg ha^{-1}) em função da dose aplicada e da concentração do metal presente no resíduo, inferior a 8 mg kg^{-1} . As mesmas observações acerca das baixas quantidades de Cd adicionadas a solos via lodos foram feitas por Velasco (2004) e Andrade e Mattiazzo (2000) em experimentos com aplicação de 80 Mg ha^{-1} lodo. Nesses experimentos os

autores utilizaram Mehlich 3 e DTPA como extratores. Oliveira e Mattiazzo (2001) também não conseguiram remover o Cd adicionado a um solo que recebeu 200 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca, contendo em média 22 mg kg⁻¹ de Cd, utilizando como extratores HCl 0,1 mol L⁻¹ e DTPA pH 7,3. Convém salientar que apesar do acréscimo de Cd feito ao solo por Oliveira e Mattiazzo (2001) os teores de Cd estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado.

Mattiazzo (1994), em estudo de comportamento de metais pesados em solos com diferentes pH, também não detectou a presença de Cd nos tratamentos testemunhas. McBride et al. (2004) avaliando a fitodisponibilidade de metais pesados em solos, simulando um período de aplicação de lodo de esgoto de 25 anos, não obteve resultados significativos para extração de Cd, usando CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ a 90°C.

Dentre os ácidos utilizados o ácido acético foi o único que apresentou potencial de remoção de Cd, sendo que as concentrações utilizadas, de 0,4 a 1,0 mol L⁻¹, demonstraram eficiência semelhante. O potencial do uso do ácido acético como extrator para Cd foi sugerido por Pires (2003) que observou que 43% dos exsudatos radiculares são constituídos por esse ácido.

4.1.2 Cromo

Os teores de Cr removidos pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados nas Tabelas 8 e 9 respectivamente para o LVAd e LVef.

Tabela 8 - Teores (mg kg^{-1}) de Cr extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0082 aA	0,5482 aA	0,5549 aA	0,0543 aA	0,0000 aA
	0,6	0,0295 aA	0,5000 aA	0,0904 aA	0,0751 aA	0,0000 aA
	0,8	0,0000 aA	0,7269 aA	0,0627 aA	0,1482 aA	0,0000 aA
	1,0	0,1083 aA	0,3862 aA	0,0736 aA	0,4455 aA	0,0000 aA
40	0,4	0,0000 aA	1,0622 aA	0,5682 aA	0,2190 aA	0,3540 aA
	0,6	0,0511 aA	1,3000 aA	0,3320 aA	0,4309 aA	0,0000 aA
	0,8	0,0082 aA	1,0811 aA	0,3864 aA	0,5523 aA	0,1347 aA
	1,0	0,0928 aA	0,5875 aA	0,3979 aA	1,1775 aA	0,2610 aA
80	0,4	0,0000 aB	1,3500 aA	1,2805 aAB	0,4590 bAB	0,5400 aAB
	0,6	0,0630 aA	0,0020 bA	0,4899 aA	0,9840 bA	0,2505 aA
	0,8	0,0858 aB	1,3247 aB	0,6294 aB	3,8193 aA	0,2418 aB
	1,0	0,1788 aB	1,1025 abB	0,7589 aB	4,0065 aA	0,3061 aB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 9 - Teores (mg kg^{-1}) de Cr extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de 3 repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0000 aA	0,2316 aA	0,1867 aA	0,0000 aA	0,0000 aA
	0,6	0,0193 aA	0,3000 aA	0,0509 aA	0,0846 aA	0,0000 aA
	0,8	0,0000 aA	0,4243 aA	0,0000 aA	0,1974 aA	0,0000 aA
	1,0	0,0010 aA	0,2301 aA	0,0895 aA	0,4455 aA	0,0000 aA
40	0,4	0,0000 aA	0,7504 aA	0,5122 aA	0,1704 aA	0,0309 aA
	0,6	0,0433 aB	1,5000 aA	0,3287 aAB	0,4684 aAB	0,0000 aB
	0,8	0,0000 aA	0,9151 aA	0,3474 aA	0,7023 aA	0,0402 aA
	1,0	0,0800 aA	0,6701 aA	0,4369 aA	0,6195 aA	0,3352 aA
80	0,4	0,0000 aA	1,2506 aA	0,9843 aA	0,5550 aA	0,2640 aA
	0,6	0,0522 aA	1,0000 aA	0,4988 aA	0,6894 aA	0,2913 aA
	0,8	0,0905 aA	1,2356 aA	0,6054 aA	0,6843 aA	0,0103 aA
	1,0	0,0153 aA	1,0134 aA	0,7635 aA	0,8385 aA	0,2564 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Os teores de Cr removidos foram afetados pelo tipo de solo utilizado, porém para os tratamentos controle não houve diferença nas quantidades de Cr removidas pelos ácidos. Nos tratamentos com adição de lodo de esgoto, as maiores quantidades extraídas foram no solo arenoso.

Comparando as quantidades médias extraídas de Cr, dentre doses de lodo, verifica-se que os ácidos cítrico, lático e oxálico foram eficientes em sinalizar o aumento de Cr enquanto que os ácidos acético e tartárico não evidenciaram diferenças nas quantidades extraídas com aumento da dose de lodo.

Nos tratamentos com lodo, os ácidos foram diferentes quanto à eficiência de extração. Os ácidos cítrico e oxálico removeram as maiores quantidades de Cr.

Não foi observado aumento nas quantidades removidas de Cr, dentro de cada ácido e para cada dose, com o aumento na concentração da solução do ácido.

É interessante observar a quantidade de Cr removida do solo arenoso pelo ácido oxálico, nas concentrações 0,8 e 1 mol L⁻¹, que atingiu valores de até 51% e 54%, respectivamente dos totais adicionados via lodo de esgoto. No solo argiloso esse efeito não é observado.

4.1.3 Cobre

Os teores de Cu removidos pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados nas Tabelas 10 e 11 respectivamente pra o LVAd e LVef.

Tabela 10 - Teores (mg kg⁻¹) de Cu extraído por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha ⁻¹)	Concentração (mol L ⁻¹)	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0375 aA	0,0402 aA	0,0225 aA	0,2284 aA	0,0555 aA
	0,6	0,2820 aA	0,2708 aA	0,0347 aA	0,2456 aA	0,0360 aA
	0,8	0,0073 aA	0,0786 aA	0,0324 aA	0,2832 aA	0,0759 aA
	1,0	0,0667 aA	0,0361 aA	0,0365 aA	0,3624 aA	0,0855 aA
40	0,4	0,0279 aA	1,1584 aA	0,3981 aA	2,1766 aA	1,5897 aA
	0,6	0,1144 aA	1,6518 aA	0,8315 aA	2,8697 aA	0,2379 aA
	0,8	0,0940 aA	0,6666 aA	0,7119 aA	2,9550 aA	0,5421 aA
	1,0	0,1509 aB	0,4460 aB	0,6125 aB	4,8024 aA	1,1377 aB
80	0,4	0,0423 aB	1,9406 aAB	1,5449 aAB	4,0096 bA	2,8647 aAB
	0,6	0,2296 aB	3,8678 aA	1,4384 aAB	3,1865 bAB	0,8490 aAB
	0,8	0,3528 aB	1,7182 aB	1,4079 aB	10,3200 aA	0,4941 aB
	1,0	0,4008 aB	1,3173 aB	1,5416 aB	10,4724 aA	1,0671 aB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha dentro da mesma dose não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 11 - Teores (mg kg^{-1}) de Cu extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0431 aA	0,3322 aA	0,0897 aA	0,6406 aA	0,3147 aA
	0,6	0,0269 aA	1,6621 aA	0,1647 aA	1,0346 aA	0,3120 aA
	0,8	0,0176 aA	0,3849 aA	0,1956 aA	2,3130 aA	0,1509 aA
	1,0	0,0528 aA	0,2903 aA	0,1843 aA	2,9724 aA	0,0987 aA
40	0,4	0,0351 aA	1,1844 aA	0,2888 aA	2,2516 aA	0,5877 aA
	0,6	0,0986 aA	2,3866 aA	0,5672 aA	2,9576 aA	0,4200 aA
	0,8	0,0605 aB	1,3690 aAB	0,5889 aAB	3,6600 aA	0,5031 aAB
	1,0	0,1161 aB	0,9498 aB	0,6254 aB	4,3524 aA	1,1877 aAB
80	0,4	0,0596 aB	2,2125 aAB	0,4328 aB	3,7996 aA	1,0017 aAB
	0,6	0,1350 aB	1,0888 aAB	2,4005 aAB	3,8780 aA	1,1160 aAB
	0,8	0,1714 aB	1,8436 aB	1,1919 aB	5,5500 aA	0,4461 aB
	1,0	0,2116 aB	1,9697 aB	1,3816 aB	6,0324 aA	1,0001 aB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna e letras maiúsculas iguais na mesma linha dentro da mesma dose não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Os solos utilizados não foram um fator de variação na quantidade de Cu removida pelos extratores utilizados.

Comparando os teores médios de cobre extraídos em relação à dose de lodo aplicada, Tabelas 10 e 11, verifica-se que com o aumento da dose de lodo houve aumento na quantidade de Cu extraída para todos os ácidos usados, com exceção do ácido acético. A quantidade média geral (solos, ácidos e concentrações) de Cu extraída, dos tratamentos com adição de 80 Mg ha^{-1} de lodo, é 6,25 vezes maior que a quantidade extraída do solo controle.

Não foi verificado efeito da concentração dos ácidos orgânicos sobre as quantidades de Cu removidas.

Os maiores teores de Cu nos solos tratados com lodo foram removidos pelo ácido oxálico, sendo a ordem de remoção: oxálico > cítrico > tartárico > lático > acético. Wasay et al.

(2001) também observaram a eficiência do ácido oxálico associado ao ácido cítrico, quando comparado ao EDTA, DTPA, ácido cítrico e tartárico, na remoção de quantidades de Cu fitodisponíveis.

4.1.4 Níquel

Os teores de Ni removidos pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados nas Tabelas 12 e 13 respectivamente para o LVAd e LVef.

Tabela 12 - Teores de Ni (mg kg^{-1}) extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0000 bA	0,0000 aA	0,0008 aA	0,0000 aA	0,0150 aA
	0,6	0,1760 aA	0,0000 aB	0,0000 aB	0,0000 aB	0,0105 aB
	0,8	0,0000 bA	0,0000 aA	0,0012 aA	0,0000 aA	0,0000 aA
	1,0	0,0047 bA	0,0074 aA	0,0020 aA	0,0657 aA	0,0105 aA
40	0,4	0,0049 aA	0,0049 aA	0,0339 bcA	0,0000 bA	0,0705 abA
	0,6	0,0449 aA	0,0000 aA	0,0225 cA	0,0000 bA	0,0060 bA
	0,8	0,0044 aB	0,0000 B	0,1572 aA	0,0000 bB	0,0138 bB
	1,0	0,0093 aC	0,0239 aBC	0,0984 abA	0,0885 aAB	0,0899 aAB
80	0,4	0,0096 aBC	0,0335 aBC	0,0763 aAB	0,0000 bC	0,1029 aA
	0,6	0,0397 aA	0,0000 aA	0,0501 aA	0,0000 bA	0,0351 abA
	0,8	0,0147 aA	0,0000 aA	0,0639 aA	0,0000 bA	0,0222 bA
	1,0	0,0191 aB	0,0452 aAB	0,0716 aAB	0,0879 aAB	0,0989 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 13 - Teores (mg kg^{-1}) de Ni extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de três repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0134 aA	0,0000 aA	0,0079 aA	0,0000 bA	0,0348 aA
	0,6	0,0432 aA	0,0000 aA	0,0000 aA	0,0000 bA	0,0256 aA
	0,8	0,0029 aA	0,0000 aA	0,0147 aA	0,0000 bA	0,0039 aA
	1,0	0,0081 aB	0,0211 aB	0,0345 aB	0,1137 aA	0,0350 aB
40	0,4	0,0021 aA	0,0242 aA	0,0363 aA	0,0000 bA	0,0561 aA
	0,6	0,0430 aA	0,0000 aA	0,0031 aA	0,0000 bA	0,0306 aA
	0,8	0,0040 aA	0,0000 aA	0,0477 aA	0,0000 bA	0,0237 aA
	1,0	0,0094 aB	0,0462 aAB	0,0584 aAB	0,1005 aA	0,0661 aAB
80	0,4	0,0260 aAB	0,0572 abAB	0,0497 aAB	0,0000 bB	0,0780 aA
	0,6	0,0377 aAB	0,0000 bB	0,0175 aAB	0,0000 bB	0,0756 aA
	0,8	0,0140 aA	0,0000 bA	0,0711 aA	0,0000 bA	0,0279 aA
	1,0	0,0165 aB	0,0819 aAB	0,0851 aAB	0,1392 aA	0,0867 aAB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tendo em vista os baixos teores de Ni originais dos solos, 3 mg kg^{-1} (LVAd) e 8 mg kg^{-1} (LVef), as quantidades do metal extraídas dos tratamentos controle não foram significativas.

Devido às baixas quantidades de Ni adicionadas via lodo aos tratamentos, respectivamente $0,93$ e $1,85 \text{ mg kg}^{-1}$, os ácidos orgânicos não evidenciaram diferenças nas quantidades de níquel removidas dos solos em função da dose de lodo aplicada.

Foi verificada a tendência à remoção de maiores quantidades de Ni com o aumento da concentração da solução dos ácidos lático e tartárico. As quantidades extraídas pelos ácidos cítrico e oxálico foram, estiveram em sua maioria, abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado.

McBride et al. (2004) estudando a biodisponibilidade e transporte de metais pesados para as culturas em solos tratados com lodo de esgoto em experimento em longo prazo, também não encontraram quantidades extraíveis significativas de Ni, usando como extrator o CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ a 90°C . Convém salientar que nesse trabalho a quantidade adicionada de Ni foi de 10 kg ha^{-1} .

4.1.5 Chumbo

Os teores de Pb removidos pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados nas Tabelas 14 e 15 respectivamente pra o LVAd e LVef.

Tabela 14 - Teores (mg kg^{-1}) de Pb extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de 3 repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0000 aA	0,0373 aA	0,0016 aA	0,0000 bA	0,0585 aA
	0,6	0,0000 aA	0,0159 aA	0,0000 aA	0,0000 bA	0,1573 aA
	0,8	0,0000 aA	0,0242 aA	0,0000 aA	0,0000 bA	0,0369 aA
	1,0	0,0335 aB	0,0072 aB	0,0000 aB	0,5872 aA	0,0685 aB
40	0,4	0,0040 aC	0,3970 aB	0,0227 aC	0,0000 bC	1,0080 aA
	0,6	0,0000 aB	0,4857 aA	0,0000 aA	0,0000 bB	0,1978 aAB
	0,8	0,0000 aC	0,3844 aAB	0,1423 aAB	0,0000 bC	0,5100 bA
	1,0	0,1292 aB	0,2790 aB	0,0000 aB	0,8482 aA	0,9640 cA
80	0,4	0,0090 bC	0,6469 aB	0,1829 aC	0,0000 bC	1,0680 aA
	0,6	0,0000 bB	0,5169 aA	0,0000 aB	0,0000 bB	0,5980 bA
	0,8	0,2257 abB	0,6267 aA	0,1480 aB	0,0000 bB	0,6180 bA
	1,0	0,3243 aB	0,4421 aB	0,0000 aC	0,4552 aB	1,0340 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 15 - Teores (mg kg^{-1}) de Pb extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto. Resultados médios de 3 repetições

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0034 aA	0,0604 aA	0,0015 aA	0,0000 aA	0,0954 aA
	0,6	0,0000 aA	0,0783 aA	0,0000 aA	0,0000 aA	0,1996 aA
	0,8	0,0000 aA	0,0793 aA	0,0000 aA	0,0000 aA	0,0912 aA
	1,0	0,0000 aA	0,1397 aA	0,0000 aA	0,0277 aA	0,0997 aA
40	0,4	0,0000 aB	0,1380 aAB	0,0045 aB	0,0000 aB	0,3540 aB
	0,6	0,0000 aA	0,3076 aA	0,0000 aA	0,0000 aA	0,1858 aB
	0,8	0,0000 aB	0,3076 aAB	0,0000 aB	0,0000 aB	0,3720 aB
	1,0	0,0021 aC	0,3401 aB	0,0000 aC	0,0400 aBC	0,9732 aA
80	0,4	0,0099 aB	0,3647 aA	0,0137 aB	0,0000 aB	0,5190 aB
	0,6	0,0000 aB	0,5263 aA	0,0000 aB	0,0000 aB	0,3400 aB
	0,8	0,0000 aB	0,5264 aA	0,0000 aB	0,0000 aB	0,3780 aB
	1,0	0,0292 aC	0,4511 aB	0,0000 aC	0,0868 aC	1,0146 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

A quantidade de Pb removida foi diferente em função do solo utilizado, no solo arenoso as quantidades de chumbo removidas foram maiores que no solo argiloso o que indica o poder de retenção desse metal nesse solo.

Os ácidos cítrico e tartárico, em todas as concentrações testadas e em ambos solos, extraíram mais chumbo que os demais extratores enquanto que os ácidos acético, lático e oxálico na maioria das concentrações testadas extraíram quantidades de Pb abaixo do limite de detecção do equipamento.

Yang et al. (2000) verificaram que raízes de variedades de arroz tolerantes a Pb exsudaram ácido oxálico, o qual formou um precipitado rico em Pb ($K_{\text{S}_{\text{oxalato de chumbo}}} = 4,8 \cdot 10^{-10}$), demonstrando o papel deste ácido orgânico para a tolerância a Pb, uma vez que o metal foi absorvido em menor quantidade.

A formação do precipitado de Pb com o oxalato explica a baixa quantificação do elemento pelo extrator ácido oxálico.

4.1.6 Zinco

Os teores de Zn removidos pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados nas Tabelas 16 e 17 respectivamente pra o LVAd e LVef.

Tabela 16 - Teores (mg kg^{-1}) de Zn extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0000 aA	0,0413 aA	0,0000 aA	0,0534 aA	0,0000 aA
	0,6	0,0616 aA	0,7156 aA	0,1220 aA	0,0244 aA	0,0239 aA
	0,8	0,0000 aA	0,0000 aA	0,0144 aA	0,0151 aA	0,0135 aA
	1,0	0,0280 aA	0,0000 aA	0,0257 aA	0,0567 aA	0,0246 aA
40	0,4	0,3569 aB	2,4789 aAB	2,7601 aAB	2,5431 aAB	4,2795 aA
	0,6	2,0342 aAB	0,9830 aB	4,1719 aA	2,6749 aAB	0,6630 bB
	0,8	1,4291 aA	1,8648 aA	3,2352 aA	2,9317 aA	1,0956 bA
	1,0	1,9325 aAB	0,6886 aB	4,1572 aA	4,5504 aA	2,3686 aAB
80	0,4	1,3266 bB	4,6106 aA	6,4690 aA	5,2401 bA	7,1295 aA
	0,6	3,9911 abAB	2,8137 aB	6,9074 aA	5,0062 bAB	2,0100 bB
	0,8	4,5499 aA	3,1588 aBC	5,0652 aB	10,1587 aA	1,7406 bC
	1,0	5,3920 aBC	2,3382 aC	5,2612 aBC	9,9504 aA	6,2316 aB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 17 - Teores (mg kg^{-1}) de Zn extraídos por ácidos orgânicos, em diferentes concentrações, de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tratado com lodo de esgoto

Dose (Mg ha^{-1})	Concentração (mol L^{-1})	Acético	Cítrico	Lático	Oxálico	Tartárico
0	0,4	0,0430 aA	0,1197 aA	0,0953 aA	0,1566 aA	0,1455 aA
	0,6	0,0503 aA	0,6855 aA	0,3105 aA	0,1550 aA	0,2082 aA
	0,8	0,0000 aA	0,0438 aA	0,2052 aA	0,1714 aA	0,0657 aA
	1,0	0,1285 aA	0,0714 aA	0,0481 aA	0,2424 aA	0,0724 aA
40	0,4	0,0430 bA	2,4629 aA	2,6351 aA	1,9281 aA	2,3955 aA
	0,6	3,4682 aA	1,1558 aA	3,8098 aA	2,0085 aA	1,1520 aA
	0,8	0,7356 abA	2,0062 aA	3,4152 aA	2,1907 aA	1,1226 aA
	1,0	3,4682 aA	1,1768 aA	4,2342 aA	1,2174 aA	2,3827 aA
80	0,4	2,5017 aA	4,8350 aA	4,6146 aA	3,6501 aA	5,2096 abA
	0,6	2,7966 aB	2,2140 aB	7,0989 aA	3,4638 aB	3,1800 abB
	0,8	4,0285 aAB	3,2458 aAB	5,9652 aA	3,2587 aAB	1,5186 cB
	1,0	4,0350 aAB	3,1398 aB	6,0341 aAB	4,0104 aAB	6,3186 aA

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro da mesma dose e letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Os fatores solo, dose de lodo de esgoto e ácido orgânico causaram diferença nos teores de zinco extraídos. A concentração dos ácidos não resultou em diferença estatística.

No tratamento controle, os teores de Zn removidos pelos ácidos orgânicos do solo argiloso são maiores que no solo arenoso, entretanto com a adição de lodo a remoção do Zn foi maior no solo arenoso.

No solo arenoso, a maior quantidade de Zn foi a removida do tratamento com a dose 80 Mg ha^{-1} de lodo pelo ácido oxálico, 0,8 e 1 mol L^{-1} . Essa quantidade foi aproximadamente igual a 16% do total adicionado. No solo argiloso a maior quantidade removida (ácido láctico $0,6 \text{ mol L}^{-1}$) foi correspondente a 11% do total adicionado.

Para o Zn, no dois solos, todos os ácidos, com exceção do cítrico, evidenciaram o aumento na concentração de zinco adicionado via doses crescentes de lodo.

4.2 Correlação entre teores de metais pesados extraídos pelos ácidos orgânicos e teores dos metais nas plantas de arroz

Os resultados obtidos no ensaio de Neubauer são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Teores de metais pesados em plantas de arroz cultivadas pelo Método de Neubauer em dois solos tratados com doses de lodo de esgoto. Resultados médios de 3 repetições

Solos	Doses (Mg ha ⁻¹)	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		-----mg kg ⁻¹ -----					
LVAd	0	-	0,00 bA	4,78 bA	3,89 aA	-	23,27 cA
	40	-	1,17 bA	14,37 abA	5,31 aA	-	103,21 bA
	80	-	3,90 aA	20,85 aA	7,27 aA	-	174,64 aA
LVef	0	-	1,30 aA	11,05 bA	3,54 aA	-	22,39 cA
	40	-	0,00 aA	14,46 abA	6,54 aA	-	65,15 bA
	80	-	0,39 aB	19,52 aA	10,81 aA	-	74,90 aB

Letras minúsculas iguais na mesma coluna dentro do mesmo solo e letras maiúsculas iguais na mesma coluna na mesma dose não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Os teores de Cd e Pb apresentados pelas plantas estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado (0,05 mg L⁻¹ para Cd e 0,2 mg L⁻¹ para Pb) o que pode indicar que o ensaio não é adequado para avaliar a fitodisponibilidade desses metais ou então que não houve fitodisponibilidade dos mesmos.

Os coeficientes de correlação entre quantidades absorvidas pelas plantas de arroz no ensaio de Neubauer e as quantidades removidas pelos diferentes ácidos nas diferentes concentrações são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Coeficientes de correlação linear (r) entre teores de metais pesados em plantas de arroz cultivados pelo Método de Neubauer e quantidades de metais extraídas pelos ácidos orgânicos em diferentes concentrações

Ácido	mol L ⁻¹	Cd	Cr		Cu		Ni		Pb	Zn	
			r	(P > t)	r	(P > t)	r	(P > t)		r	(P > t)
acético	0,4	-	-0,38	(0,46)	0,42	(0,41)	0,97**	(0,00)	-	0,45	(0,37)
	0,6	-	0,51	(0,31)	0,89**	(0,02)	0,22	(0,68)	-	0,80*	(0,05)
	0,8	-	0,52	(0,29)	0,89**	(0,02)	0,80	(0,06)	-	0,80*	(0,05)
	1	-	0,38	(0,45)	0,82*	(0,05)	0,73	(0,10)	-	0,88**	(0,02)
cítrico	0,4	-	0,45	(0,37)	0,96**	(0,00)	0,75	(0,09)	-	0,78	(0,07)
	0,6	-	-0,66	(0,15)	0,92**	(0,01)	-	-	-	0,81*	(0,05)
	0,8	-	0,42	(0,41)	0,93**	(0,01)	-	-	-	0,79	(0,06)
	1	-	0,47	(0,35)	0,87**	(0,02)	0,76	(0,08)	-	0,61	(0,20)
lático	0,4	-	0,59	(0,22)	0,76	(0,08)	0,49	(0,33)	-	0,91**	(0,01)
	0,6	-	0,39	(0,45)	0,94**	(0,00)	0,40	(0,43)	-	0,80	(0,06)
	0,8	-	0,44	(0,38)	0,96**	(0,00)	0,17	(0,75)	-	0,73	(0,10)
	1	-	0,45	(0,37)	0,95**	(0,00)	0,47	(0,34)	-	0,74	(0,09)
oxálico	0,4	-	0,38	(0,46)	0,97**	(0,00)	-	-	-	0,93**	(0,01)
	0,6	-	0,64	(0,17)	0,92**	(0,01)	-	-	-	0,94**	(0,01)
	0,8	-	0,90**	(0,02)	0,89**	(0,02)	-	-	-	0,97**	(0,00)
	1	-	0,93**	(0,01)	0,93**	(0,01)	0,77	(0,07)	-	0,98**	(0,00)
tartárico	0,4	-	0,78	(0,07)	0,75	(0,08)	0,54	(0,27)	-	0,93**	(0,01)
	0,6	-	0,47	(0,35)	0,87**	(0,02)	0,84*	(0,04)	-	0,52	(0,29)
	0,8	-	0,87**	(0,03)	0,81*	(0,05)	0,50	(0,31)	-	0,78	(0,07)
	1	-	0,26	(0,62)	0,78	(0,07)	0,49	(0,33)	-	0,77	(0,07)

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

(-) não é possível a correlação

As quantidades de Cr removidas pelos ácidos oxálico, nas concentrações 0,8 e 1 mol L⁻¹, e tartárico, 0,8 mol L⁻¹, se correlacionaram com os teores de metais nas plantas. Pires (2003) estudando a correlação entre metais pesados presentes em plantas cultivadas com lodo de esgoto e ácidos orgânicos presentes na rizosfera das mesmas não encontrou o mesmo resultado para o ácido oxálico e sua correlação com o Cr.

Os teores removidos de Cu pelos ácidos orgânicos, em todas as concentrações, se correlacionaram com as quantidades do metal removidas pelas plantas de arroz.

Os ácidos orgânicos não extraíram quantidades de Ni que se correlacionassem com os teores removidos pelas plantas de arroz, com exceção dos ácidos acético, na concentração 0,4 mol L⁻¹, e tartárico na concentração 0,6 mol L⁻¹.

Foram observados elevados coeficientes de correlação, entre as quantidades de Zn extraídas pelos ácidos acético e oxálico e os teores removidos pelas plantas. Contudo os coeficientes de correlação obtidos pelos demais ácidos estão bastante próximos do limite considerado significativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As determinações elementares por Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (FAAS) foram inviáveis devido ao alto teor de matéria orgânica presente nos extratos de solo. A alta viscosidade das soluções das amostras, devido à matéria orgânica removida do solo pelos ácidos orgânicos, alterou as condições de nebulização e também obstruiu o nebulizador. O efeito da matriz da amostra poderia ser contornado com a diluição das amostras, no entanto a concentração dos metais presentes na amostras após uma diluição de 10 vezes ficaria abaixo do limite de detecção do FAAS.

Portanto, para evitar o mesmo efeito de matriz nas determinações por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS) as amostras foram diluídas 10 vezes e acrescidas de 1 ml de ácido nítrico.

Os ácidos orgânicos oxálico e tartárico foram os que extraíram maior quantidade de matéria orgânica, seus extratos apresentaram coloração turva. No ácido oxálico verificou-se que os extratos obtidos apresentaram um precipitado branco no fundo do frasco.

6 CONCLUSÕES

Os ácidos láctico e tartárico, em concentrações de 0,4 até 1 mol L⁻¹, apresentaram potencial para estimar a disponibilidade Ni e o ácido oxálico, em todas as concentrações, para Cr.

A fitodisponibilidade de Cu e Zn pode ser estimada por todos os ácidos estudados e em todas as concentrações.

Com aplicação de doses de lodo de esgoto de até 80 Mg ha⁻¹ (base seca) não é prevista a disponibilidade de Cd e Pb, por isso não foi possível avaliar a eficiência dos ácidos orgânicos na previsão da fitodisponibilidade desses elementos.

7 REFERÊNCIAS

- ABREU C.A.; 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. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.240-250.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. 2nd ed. Glasgow: Blackie A&P, 1995. 368p.
- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólidos e cultivados com milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.337-344, 2001
- RYAN, J.A.; CHANEY, R.L. Development of limits for land application of municipal sewage sludge: Risk assessment. In: Transactions, 15 World Congress of Soil Science, 1994, Acapulco, México, July 10-16, 1994.
- BECKETT, P.H.T. The use of extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges and sludges-treated soils. **Advances in Agronomy**, Nova York, v.9, p.143-176, 1989
- BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agrossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. cap. 16, p.259-268.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.187-192, 1989.
- BERTONCINI, E.I. **Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto**. 1997. 102 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico).
- CANDELÁRIA, L.M. **Interactions of citric acid and synthetic hydroxy-aluminum montmorillonite**. 1995. 123p. Thesis (P.h.D.) – University of California, Riverside, 1995.
- CATALDO, D.A.; McFADDEN, K.M.; GARLAND T.R.; WIDUNG, R.E. Organic constituents and complexation of nickel (II), iron (III), cadmium (II) and plutonium (IV) in soybean xylem exudates. **Plant Physiology**, Rockville, v.86, p. 734-739, 1988.
- CATANI, R. A.; BERGAMIN FILHO, H. Sobre uma modificação no método de Neubauer. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v. 18, p.287-300, 1961

- CHANEY, R.L.; RYAN, A.J. Toxic metals and toxic organic pollutants in MSW-composts: Research results on phyto-availability, bioavailability, fate, etc.. In: HOITINK, H.A.; Keener, H.M. (Ed). **Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects**. Renaissance Publications, Worthington, OH, EUA: 1993. p.451-506
- CHANG, A.C.; HYUN, H.; PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sludge treated field plots: Plateau or time bomb? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, p.11-19, 1997.
- CURL, E.A. **The rhizosphere** Berlin; New York: Springer-Verlag, 1986. 288p.
- DEB D.L. Effect of adsorbed cations and anions at different levels of saturation on the utilisation of soil and fertiliser phosphorus by crops in three Indian soils I. Neubauer experiments with rye and barley. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.30, p.227-240, 1969
- DeMENT J.D.; STANFORD G.; BRADFORD B.N.; A method for measuring short-term nutrient absorption by plants: 2. Potassium. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 23, p.47-50, 1959a
- DeMENT J.D.; STANFORD G.; HUNT C.M. A method for measuring short-term nutrient absorption by plants: 3. Nitrogen. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 23, p.371-374, 1959b
- DINKELAKER B, RÖMHELD V, MARSCHNER H. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.12, p.285–292, 1989.
- DINKELAKER B., HENGELER C., MARSCHNER H. Distribution and function of proteoid roots and other root clusters. **Botanical Acta**, Stuttgart, v. 108, p.169-276, 1995
- FELIX, F.F. **Comportamento do cobre aplicado no solo por calda bordalesa**. 2005. p.74. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.
- GRZEBISZ W.; OERTLI J.J. Comparison of the Neubauer bioassay with some classical and universal extractants for determining plant available P in cultivated soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, p.733-746, 1992
- HOFFLAND, E. Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. **Plant Soil**, Dordrecht ,v.140, p.279-289, 1992.
- JENNY, H.; OVERSTREET, R. Contact effects between plant roots and soil colloids. **National Academy of Science**, v.24, p.384-392, 1938.
- JONES D.L, DARRAH P.R. Influx and ef-flux of organic acids across the soil-root interface of *Zea mays* L. and its implications in rhizosphere C flow. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.173, p.103–109, 1995.

JONES D.L, DARRAH P.R. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrientes from the rhizosphere. **Plant and Soil**, , Dordrecht, v.166, p.247-257, 1994.

JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere – - a critical review. **Plant and Soil**, Dordrecht v.205, p.25-44, 1998.

KRISHNAMURTI, G.S.R.; CIESLINSKI, G.; HUANG, P.M.; VanREES, K.C.J. Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: implication in cadmium availability. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, p.271-277, 1997.

LYNCH, J.M. **The Rhizosphere**. Chichester, West Sussex, Inglaterra; Nova York : J. Wiley, 1990. p.458.

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

MATERECHERA S.A. Neubauer seedling technique to determine availability of nutrient elements for wheat from selected South African soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.30, p.2755-2767, 1999

MATTIAZZO, M.E.; ANDRADE, C.A. Aplicação de biossólido em plantações florestais: IV. Lixiviação de uso de N inorgânico e toxicidade de metais pesados. In: BETTIOL, W. (Ed.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, 312p.

MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S.; CRUZ, M.C.P. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: Ferreira, M.E. (Ed.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ; FAPESP; POTAFOS, 2001. 559p.

McBRIDE, M.B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? **Journal of Environmental Quality**, Madison,, v.24, p.5-18, 1995.

McBRIDE, M.B.; RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T. Bioavailability and crop uptake elements in soil columns amended with sludge products. **Plant and soil**, Dordrecht ,v. 262, p.71-84, 2004.

MELLO F.A.F. Eficiência do método de Neubauer na avaliação de fósforo e de potássio disponíveis do solo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.62, p.273-279, 1987

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.449-455, 1994.

MENCH, M.; MARTIN, M. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tobaccum* L., and *Nicotiana rustica* L. **Plant and Soil**, Dordrecht , v. 132, p.187-196, 1991.

MERCKX, R.; VANGINKEL, J.H.; SINNAEVE, J.; CREMERS, A. Plant-induced changes in the rizosphere of Maize and Wheat: II. Complexation of Cobalt, Zinc and Manganese in the rizosphere of Maize and Wheat. **Plant Soil**, Dordrecht , v.96, p.95-108, 1986.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625 p.

NAIR K.P.P; COTTENIE A. A study of the plant uptake in relation to changes in extractable amounts of native trace elements from soil profiles using the Neubauer seedling method. **Soil Science**, New Brunswick v.108, p.74-78, 1969

NISHITA H.; HAUG R.M.; ALEXANDER G.V. Influence of organic matter on the availability of certain elements to barley seedlings grown by a modified Neubauer method. **Plant and Soil**, Dordrecht,v.39, p.161-176, 1973

OLIVEIRA, F.C. **Comportamento de metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em latossolos tratados com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.581-593, 2001

PETRUZZELLI, G. Recycling wastes in agriculture: heavy metal bioavailability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.27, p.493-503, 1989.

PIRES, A.M.M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de biossólidos**. 2003. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PIRES, A.M.M. Biosolids conditioning and the availability of Cu and Zn for rice. **Scientia agricola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.161-166, 2003.

PIRES, A.M.M. **Disponibilidade de Zn e Cu adicionados a solos via lodo de esgoto para plantas de arroz**. 1998. 55p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RENELLA, G.; LORETTA, L.; NANNIPIERI, P. Degradation of low molecular weight organic acids complexed with heavy metals in soil, **Geoderma**, Amsterdam, v.122, p.311-315, outubro 2004.

RICHARDS B.K.; PEVERLY, J.H.; STEENHUIS, T.S.; LIEBOWITZ, B.N. Effect of Processing Mode on Trace Elements in Dewatered Sludge Products, **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, p.782-788, 1997.

RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T.S.; PEVERLY, J.H.; McBRIDE; M.B. Effect of sludge-processing mode, soil texture and soil pH on metal mobility in undisturbed soil columns under accelerated loading, **Environmental Pollution**, Londres, v.109, p.327-346, 2000.

ROCHA, G.C. **Disponibilidade de chumbo no solo resultante do uso de resíduo-corretivo e matéria orgânica**. 2000. 56p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SANTOS, H.F.; TSUTIYA, M.T. Aproveitamento e disposição final do lodo de esgoto de estações de tratamento do Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.2, n.2, 70-81p. 1997.

SATTELL R.R.; MORRIS R.A. Phosphorus fractions and availability in Sri Lankan alfisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1510-1515, 1992

Shan, X.; Wang, Z.; Wang, W.; Zhang, S.; Wen, B.; Labile rhizosphere soil solution fraction for prediction of bioavailability of heavy metals and rare earth elements to plants. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Dordrecht v.375, p.400- 407, 2003.

STANFORD G.; DeMENT J.D. A method for measuring short-term nutrient absorption by plants: 1.Phosphorus. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v.21, p.612-617, 1957.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Massachusetts. Sinauer Associates, 1998. 792p.

TAKAGI, S.; KAMEL, S.; YU, M.H. Efficiency of iron extraction from soil by mugineic acid family phytosiderophores. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.11, p.643-651, 1998.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. EMBRAPA Meio Ambiente. Jaguariúna, São Paulo: In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto, cap.4, p.69-106, 2000.

WASAY, S. A.; BARRINGTON, S.; TOKUNAGA, S. Organic Acids for the In Situ Remediation of Soils Polluted by Heavy Metals: Soil Flushing in Columns. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 127, p.301-314, apr. 2001.

YANG, Y.Y.; JUNG, J.Y.; SONG, W.Y.; SUH, H.S.; LEE, Y. Identification of Rice Varieties with High Tolerance or Sensitivity to Lead and Characterization of the Mechanism of Tolerance. **Plant Physiology**, Rockville, v. 124, p.1019-1026, nov. 2000.

ANEXOS

Anexo A - Quadro da Análise de Variância e teste F da variável cádmio

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	0,0000055	0,0000055	0,6886	0,58022
Lodo	2	0,0018976	0,0009488	117,7915	0,00001
Ácido	4	0,0024467	0,0006117	75,9365	0,00001
Concentração	3	0,0002642	0,0000881	10,9335	0,00022
Solo * Lodo	2	0,0000740	0,0000370	4,5908	0,02005
Solo * Ácido	4	0,0000646	0,0000161	2,0046	0,12536
Solo * Conc.	3	0,0001197	0,0000399	4,9548	0,00824
Lodo * Ácido	8	0,0015901	0,0001988	24,6755	0,00001
Lodo * Conc.	6	0,0002216	0,0000369	4,5851	0,00338
Ácido* Conc.	12	0,0008796	0,0000733	9,0993	0,00002
Solo *Lodo * Ácido	8	0,0000933	0,0000117	1,4474	0,22784
Solo * Acido * Conc.	12	0,0002606	0,0000217	2,6965	0,01853
Solo * Lodo * Conc.	6	0,0000648	0,0000108	1,3404	0,27777
Lodo * Acido * Conc.	24	0,0011684	0,0000487	6,0438	0,00007
Resíduo	24	0,0001933	0,0000081		
Total	119	0,0093441			

Média Geral = 0,006323

Coefficiente de Variação = 44,884 %

Anexo B - Quadro da análise de variância e teste F da variável cromo

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	0,7104177	0,7104177	6,8640	0,01435
Lodo	2	6,6402850	3,3201425	32,0789	0,00001
Ácido	4	11,4645615	2,8661404	27,6924	0,00001
Concentração	3	0,6875930	0,2291977	2,2145	0,11151
Solo * Lodo	2	0,4780512	0,2390256	2,3094	0,11938
Solo * Ácido	4	1,3514578	0,3378644	3,2644	0,02809
Solo * Conc.	3	0,4890118	0,1630039	1,5749	0,22050
Lodo * Ácido	8	4,5289048	0,5661131	5,4697	0,00076
Lodo * Conc.	6	0,9493408	0,1582235	1,5287	0,21103
Ácido* Conc.	12	4,2570721	0,3547560	3,4276	0,00517
Solo *Lodo * Ácido	8	3,0427162	0,3803395	3,6748	0,00645
Solo * Acido * Conc.	12	1,6917189	0,1409766	1,3621	0,24965
Solo * Lodo * Conc.	6	0,8798970	0,1466495	1,4169	0,24855
Lodo * Acido * Conc.	24	2,4839803	0,1216187	1,1751	0,34761
Resíduo	24	2,9188483	0,1034992		
Total	119	42,5738566			

Média Geral = 0,434416

Coeficiente de Variação = 74,056 %

Anexo C - Quadro da análise de variância e teste F da variável cobre

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	0,0834030	0,0834030	0,1427	0,70987
Lodo	2	63,7679229	31,8839615	54,5700	0,00001
Ácido	4	157,3303372	39,3325843	67,3184	0,00001
Concentração	3	3,7734265	1,2578088	2,1528	0,11900
Solo * Lodo	2	6,2691754	3,1345877	5,3649	0,01177
Solo * Ácido	4	1,0822720	0,2705680	0,4631	0,76425
Solo * Conc.	3	0,4341326	0,1447109	0,2477	0,86280
Lodo * Ácido	8	54,2497958	6,7812245	11,6062	0,00002
Lodo * Conc.	6	2,0256316	0,3376053	0,5778	0,74576
Ácido* Conc.	12	34,7603966	2,8966997	4,9578	0,00063
Solo *Lodo * Ácido	8	8,5235380	1,0654423	1,8235	0,12165
Solo * Acido * Conc.	12	2,5802911	0,2150243	0,3680	0,96266
Solo * Lodo * Conc.	6	1,0271039	0,1711840	0,2930	0,93376
Lodo * Acido * Conc.	24	15,1291747	0,6303823	1,0789	0,42705
Resíduo	24	14,0226452	0,5842769		
Total	119	365,0592465			

Média Geral = 1,216272

Coefficiente de Variação = 62,846 %

Anexo D - Quadro da análise de variância e teste F da variável níquel

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	0,0000113	0,0000113	0,0366	0,84391
Lodo	2	0,0121675	0,0060838	19,7460	0,00005
Ácido	4	0,0147540	0,0036885	11,9717	0,00007
Concentração	3	0,0259300	0,0086433	28,0536	0,00001
Solo * Lodo	2	0,0006821	0,0003410	1,1069	0,34776
Solo * Ácido	4	0,0026977	0,0006744	2,1890	0,10008
Solo * Conc.	3	0,0016430	0,0005477	1,7776	0,17736
Lodo * Ácido	8	0,0150161	0,0018770	6,0922	0,00042
Lodo * Conc.	6	0,0076994	0,0012832	4,1650	0,00546
Ácido* Conc.	12	0,0559220	0,0046602	15,1255	0,00001
Solo *Lodo * Ácido	8	0,0040731	0,0005091	1,6525	0,16213
Solo * Acido * Conc.	12	0,0051787	0,0004316	1,4007	0,23202
Solo * Lodo * Conc.	6	0,0026160	0,0004360	1,4151	0,24920
Lodo * Acido * Conc.	24	0,0079051	0,0003294	1,0691	0,43583
Resíduo	24	0,0073944	0,0003081		
Total	119	0,1636904			

Média Geral = 0,029265

Coefficiente de Variação = 59,979 %

Anexo E - Quadro da análise de variância e teste F da variável chumbo

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	0,2202918	0,2202918	39,6942	0,00002
Lodo	2	1,1275170	0,5637585	101,5832	0,00001
Ácido	4	3,5098665	0,8774666	158,1100	0,00001
Concentração	3	0,4363271	0,1454424	26,2071	0,00001
Solo * Lodo	2	0,0924832	0,0462416	8,3322	0,00210
Solo * Ácido	4	0,0666600	0,0166650	3,0029	0,03791
Solo * Conc.	3	0,0608953	0,0202984	3,6576	0,02612
Lodo * Ácido	8	1,3335903	0,1666988	30,0373	0,00001
Lodo * Conc.	6	0,1014172	0,0169029	3,0457	0,02307
Ácido* Conc.	12	0,7735226	0,0644602	11,6150	0,00001
Solo *Lodo * Ácido	8	0,0868883	0,0108610	1,9570	0,09711
Solo * Acido * Conc.	12	0,5273289	0,0439441	7,9182	0,00005
Solo * Lodo * Conc.	6	0,0297389	0,0049565	0,8931	0,51639
Lodo * Acido * Conc.	24	0,4401442	0,0183393	3,3046	0,00271
Resíduo	24	0,1331934	0,0055497		
Total	119	8,9398646			

Média Geral = 0,178756

Coefficiente de Variação = 41,675 %

Anexo F - Quadro da análise de variância e teste F da variável zinco

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solo	1	4,1674	4,1674	7,7348	0,01008
Lodo	2	388,4686	194,2343	360,4974	0,00001
Ácido	4	42,4830	10,62075	19,7120	0,00001
Concentração	3	4,5123	1,5041165	2,7916	0,06131
Solo * Lodo	2	5,1023	2,5511650	4,7349	0,01810
Solo * Ácido	4	14,1039	3,5259810	6,5442	0,00132
Solo * Conc.	3	1,2256	0,4085348	0,7582	0,53113
Lodo * Ácido	8	25,9087	3,2385939	6,0108	0,00046
Lodo * Conc.	6	6,2358	1,0393049	1,9289	0,11672
Ácido* Conc.	12	41,8660	3,4888385	6,4753	0,00014
Solo *Lodo * Ácido	8	13,1023	1,6377913	3,0397	0,01644
Solo * Acido * Conc.	12	9,9669	0,8305803	1,5416	0,17696
Solo * Lodo * Conc.	6	1,1315	0,1885904	0,3500	0,90265
Lodo * Acido * Conc.	24	35,0452	1,4602206	2,7102	
Resíduo	24	12,9310	0,5387953		
Total	119	606,2511			

Média Geral = 2,276480

Coeficiente de Variação = 32,244%

Anexo G - Quadro da análise de variância e teste F para a variável cádmio nas plantas de arroz

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solos	1	0,14	0,14	0,49	0,5033
Lodo	2	0,67	0,33	1,17	0,3435
Solo * Lodo	2	0,60	0,30	1,05	0,3820
Resíduo	12	3,44	0,28		
Total	17	4,85			

Média Geral = 0,415000

Coeficiente de Variação = 129,020 %

Anexo H - Quadro da análise de variância e teste F para a variável cromo nas plantas de arroz

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solos	1	5,74	5,74	9,51	0,0092
Lodo	2	9,36	4,68	7,75	0,0070
Solo * Lodo	2	17,35	8,67	14,37	0,0009
Resíduo	12	7,24	0,60		
Total	17	39,71			

Média Geral = 1,127222

Coeficiente de Variação = 68,936 %

Anexo I - Quadro da análise de variância e teste F para a variável cobre nas plantas de arroz

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solos	1	12,65	12,65	0,52	
Lodo	2	452,07	226,03	7,84	0,0068
Solo * Lodo	2	49,15	24,57	0,85	0,5463
Resíduo	12	345,85	28,82		
Total	17	859,73			

Média Geral = 14,171667

Coeficiente de Variação = 37,882 %

Anexo J - Quadro da análise de variância e teste F para a variável níquel nas plantas de arroz

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solos	1	9,79	9,79	0,83	0,6191
Lodo	2	73,14	36,57	3,13	0,0794
Solo * Lodo	2	24,29	12,14	1,04	0,3848
Resíduo	12	140,12	11,67		
Total	17	247,35			

Média Geral = 6,227778

Coeficiente de Variação = 54,869 %

Anexo L - Quadro da análise de variância e teste F para a variável zinco nas plantas de arroz

Causas da Variação	g.l.	S.Q.	Q.M.	Valor de F	Prob. > F
Solos	1	9617,45	9617,45	19,54	0,0011
Lodo	2	31605,03	15802,51	32,12	0,0000
Solo * Lodo	2	7479,66	3739,83	7,60	0,0075
Resíduo	12	5903,44	491,95		
Total	17	54605,60			

Média Geral = 77,258331

Coefficiente de Variação = 28,709 %