

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO  
TRATADO COM LODO DE ESGOTO E EFEITOS NA  
CULTURA DO MILHO**

**Fernando Giovannetti de Macedo**  
Engenheiro Agrônomo

Jaboticabal – São Paulo – Brasil

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO  
TRATADO COM LODO DE ESGOTO E EFEITOS NA  
CULTURA DO MILHO**

**Fernando Giovannetti de Macedo**  
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

Jaboticabal – São Paulo – Brasil

Novembro de 2009

*“Buscai primeiro o reino de Deus e a sua justiça,  
e tudo mais vos será acrescentado...”*

*(Mt. 6:33)*

*“Se agente não pensar que quer sempre mais,  
fatalmente terá sempre menos.  
O homem só fracassa quando desiste de lutar.  
Todos os dias me levanto pra vencer.”*

*(Aristóteles Onassis)*

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**FERNANDO GIOVANNETTI DE MACEDO** – nascido em Barretos – SP no dia 26 de maio de 1982, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) na Unidade Universitária de Aquidauana – MS em meados de 2001, onde desenvolveu vários trabalhos, sempre voltados para área de ciência do solo, com destaque para as monitorias da disciplina de Fertilidade e Fertilizantes para os cursos de Agronomia e Zootecnia, iniciação científica como bolsista pibic trabalhando no desenvolvimento de adubação fosfatada para cultura do algodoeiro para região de Aquidauana – MS, estágios realizados na: Agrocop/Copasul, Cotton Assistencia técnica, Estância Murata produção hidropônica e Monsanto do Brasil, além de cursos sobre manejo da cultura do algodoeiro e agricultura de precisão. Em agosto de 2007 inicio o curso de mestrado em Ciência do Solo pela Universidade Estadual Paulista na FCAV de Jaboticabal – SP, onde realizou trabalhos na área manejo de resíduos, poluição ambiental e nutrição de plantas. Foi bolsista inicialmente pela Capes e depois pelo Cnpq. Participou de diversos congressos e eventos voltados para área, onde publicou vários trabalhos. Possui ainda, artigos submetidos a periódicos de alto impacto.

*A minha mãe e minha avó  
por vivenciarem meus sonhos*  
**DEDICO.**

*A memória de meu pai*  
**OFEREÇO.**

## Agradecimentos

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e ao programa de pós-graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar minhas atividades do mestrado.

A Capes e ao Cnpq pelo apoio financeiro.

Ao Laboratório de Biogeoquímica do departamento de tecnologia, não por ser o mais bem estruturado da Unidade, mas pelas pessoas que ali trabalham, estagiam, transitam, e que fazem dele uma experiência ímpar de crescimento profissional e convivência mútua.

Ao professor Wanderley José de Melo pela orientação e exemplo a ser seguido.

Ao professor Marcos Camacho sempre...

A Luciana Cristina de Souza e agora Merlino, expoente maior de todos os meus trabalhos nessa trajetória do mestrado. Aprendi muito com você.

A República Tia Meri, minha casa em Jaboticabal, aos moradores e agregados que constituíram nestes 2 anos minha família postíça o meu muito obrigado. Serão anos lembrados por toda vida.

As minhas irmãs Valeska e Andrea, ao meu cunhado Rodrigo e claro a nova geração da família Giovannetti: Jéssica, Liliane, Natália e Giovana. Base sólida é sinal de bons frutos.

A todos os amigos que fiz nessa jornada, os que foram, os que permanecem, os que virão. Se a família é a base da felicidade vocês são responsáveis pela constância dela. Citar nomes fatalmente levaria ao esquecimento de alguns e pior ainda, atribuiria valores iguais a pessoas tão heterogenias e formas de “gostar” tão diferentes. Fica apenas o meu muito obrigado.

Ao precursor maior de tudo isso, Deus. A evolução sem fé é uma evolução sem fundamentos.

## SUMARIO

	Pagina
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
INTRODUÇÃO.....	5
O LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA.....	6
METAIS PESADOS PRESENTES NO LODO E SEUS IMPACTOS.....	8
Cromo.....	9
Cádmio.....	11
Chumbo.....	12
EXTRATORES.....	13
REFERÊNCIAS.....	15
CAPITULO 2 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO.....	23
RESUMO.....	23
SUMMARY.....	24
INTRODUÇÃO.....	25
MATERIAL E METODOS.....	26
RESULTADO E DISCUÇÃO.....	31
CONCLUSÃO.....	38
REFERENCIAS.....	39
CAPITULO 3 - LODO DE ESGOTO COMO FONTE DE NITROGÊNIO: CONCENTRAÇÃO NO PERFIL DO SOLO E EM PLANTAS DE MILHO.....	42
RESUMO.....	42
SUMMARY.....	43
INTRODUÇÃO.....	44
MATERIAL E METODOS.....	45
RESULTADO E DISCUÇÃO.....	49

CONCLUSÃO.....	54
REFERENCIAS.....	55
CAPITULO 4 - CROMO, CÁDMIO E CHUMBO EM SOLOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO POR ONZE ANOS CONSECUTIVOS.....	59
RESUMO.....	59
SUMMARY.....	60
INTRODUÇÃO.....	61
MATERIAL E METODOS.....	63
RESULTADO E DISCUÇÃO.....	67
CONCLUSÃO.....	75
REFERENCIAS.....	76



## **PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO TRATADO COM LODO DE ESGOTO E EFEITOS NA CULTURA DO MILHO**

**RESUMO** - de composição bastante variável, o lodo de esgoto, em geral, apresenta macro, micronutrientes e matéria orgânica, fazendo com que este resíduo tenha grandes possibilidades de ser utilizado como fertilizante e condicionador do solo. Porém é necessário que verifique sua real eficiência como adubo e ainda seus impactos no ambiente, seja por lixiviação de íons, como o nitrato ou, principalmente pelo risco de contaminação do solo com metais pesados e sua possível transferência para a cadeia alimentar. Neste sentido, foi instalado em 1997/98 um experimento em condições de campo na área experimental da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, com o objetivo de estudar doses de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho eutroférico cultivado com milho. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 5 repetições. Para o ano agrícola 2007/08, avaliou-se: o estado nutricional (macro e micronutrientes nas folhas diagnose), características agrônômicas (altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule, peso de 100 sementes e teor de proteína dos grãos) e produtividade das plantas de milho; potencial do lodo de esgoto em fornecer nitrogênio à cultura do milho, bem como sua lixiviação ao longo do perfil do solo e; teores dos metais pesados Cr, Cd e Pb disponíveis no solo pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA e os teores totais no solo e em plantas de milho (folhas diagnose, planta inteira e grãos). Os tratamentos testados foram: testemunha, apenas com aplicação de fertilização mineral, baseada na análise de fertilidade; doses de lodo de esgoto, base seca, acumuladas para o décimo primeiro ano: 55,0; 110,0 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Nos casos em que o teste F foi significativo a 1 ou 5% de probabilidade, aplicou-se a análise de regressão para: folhas diagnose, planta inteira e grãos; ou o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o esquema de parcelas subdivididas para os elementos no perfil do solo, para comparação de médias. Também foram realizadas correlações entre teores dos metais avaliados, disponíveis no solo e teores nas plantas de milho e folha

diagnose. A dose de 110 Mg ha<sup>-1</sup> aos 30 dias após a emergências (d.a.e) causou maiores valores para: altura de plantas, número de folhas e diâmetro do caule. Aos 60 d.a.e. os tratamentos utilizados não influenciaram nas características agronômicas avaliadas. Para teor de proteína dos grãos e produtividade também não houve influencia dos tratamentos testados. A dose de 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionou maior peso de 100 sementes. Todos os tratamentos causaram desvios em relação ao padrão nutricional. As maiores doses de lodo de esgoto proporcionaram maiores quantidades de nitrogênio no solo. O nitrogênio do solo, após a profundidade de 0,6 m, não difere entre os tratamentos nas camadas avaliadas. Quanto maior a dose de lodo de esgoto, menor a proporção de nitrogênio em profundidade dentro dos tratamentos. A aplicação de lodo de esgoto por onze anos consecutivos não apresentou acréscimos para os teores totais e disponíveis dos metais Cd, Cr e Pb no solo. O extrator Melich-1 foi o único que se apresentou eficiente na correlação disponibilidade de Cd, Cr e Pb no solo x plantas de milho. Os extratores Melich-3 e DTPA foram eficientes na correlação disponibilidade de metais no solo x folha diagnose apenas para Pb.

**Palavras-chave:** metais pesados, resíduo, extratores, nutrição de plantas, poluição do solo.

## INFLUENCE OF ELEVEN YEARS OF SEWAGE SLUDGE APPLICATION OF ON CHEMICAL PROPERTIES OF AN OXISOL AND MAIZE

**SUMMARY** Highly variable composition of the sewage sludge, generally has macro, micronutrients and organic matter, making this residue has great potential for use as fertilizer and soil conditioner. However, it is necessary to verify their actual effectiveness as a fertilizer and also its impacts on the environment either by leaching of ions such as nitrate or mainly for the risk of soil contamination with heavy metals and their possible transfer to the human food chain. In this sense, was installed in 1997/98, an experiment under field conditions in the experimental area of Jaboticabal / UNESP, Jaboticabal-SP, with the aim of studying levels of sewage sludge in an Oxisol planted with corn. The design was a randomized block design with 4 treatments and 5 replications. For the crop year 2007/08, were evaluated: the nutritional status (macro and micronutrients in leaves diagnose), agronomic traits (plant height, leaf number, stem diameter, 100 seed weight and protein content of grains) and productivity of maize plants, the potential of sewage sludge to provide nitrogen to corn, as well as its leaching through the soil profile and, levels of heavy metals Cr, Cd and Pb availability in the soil by Mehlich 1, Mehlich 3 and DTPA and the total contents in soil and corn plants (leaves diagnosis, the whole plant and grain). The treatments were: control (only mineral fertilizers) based on the analysis of fertility; doses of sewage sludge, dried, rolled up to the eleventh year: 55.0, 110.0 and 167.5 Mg ha<sup>-1</sup>. The results were submitted to analysis of variance. Where the F test was significant at 1 or 5% of probability, applied regression analysis (diagnosis leaves, whole plant and grain) or the Tukey test at 5% probability using a split-plot (elements in the soil profile), for comparison of means. Were also performed correlations between levels of metals evaluated, available soil x levels in maize plants and leaf diagnosis. Dose of 110 Mg ha<sup>-1</sup> at 30 days after emergence (DAE) showed higher values for plant height, leaf number and stem diameter. At 60 D.A.E. treatments did not affect the agronomic traits. For protein content of grains and yield was also no influence of treatments. The dose of 167.5 Mg ha<sup>-1</sup> provided greater

weight of 100 seeds. All treatments showed nutritional imbalances. The highest doses of sewage sludge provided greater amounts of nitrogen in the soil. The soil nitrogen, after the depth of 60 cm, does not differ between the layer. When the dose of sewage sludge is higher, the proportion of nitrogen in depth is lower. The application of sewage sludge for eleven consecutive years did not show increases for the total and available metals Cd, Cr and Pb in soil. Extractor Melich-1 was the only one who presented the correlation efficient availability of Cd, Cr and Pb in soil x plant corn. Extractors Melich-3 and DTPA were effective in the correlation availability of metals in the soil x sheet only to diagnose specific studies and Pb.

**Keywords:** heavy metals, waste, extractors, plant nutrition, soil pollution.

## **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **INTRODUÇÃO**

A busca crescente de tecnologias para fazer face às necessidades humanas, culminando em novos processos industriais e seus produtos, gera resíduos em larga escala (CONCEIÇÃO, 2005), e o crescimento demográfico, muitas vezes de forma desordenada, tem provocado desequilíbrios no meio ambiente.

Dentre os resíduos gerados, pode-se destacar o lodo de esgoto, resíduo semi-sólido resultante do tratamento dos esgotos ou águas servidas, cuja composição é predominantemente orgânica e varia em função do material de origem (MELO et al., 2001).

Por muito tempo, os projetos de tratamento de esgotos foram elaborados e executados sem que houvesse uma destinação adequada para o lodo de esgoto (NOGUEIRA, 2008).

Segundo IBGE (2002), na última pesquisa realizada sobre saneamento básico, o país tratava, no ano de 2000,  $5.137.171 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de esgoto. Embora este já seja um valor considerável, a mesma pesquisa apontou que entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário era o que possuía menor presença nos municípios brasileiros.

Dos 4.425 municípios existentes no Brasil, em 1989, menos da metade (47,3%) tinha algum tipo de serviço de esgotamento sanitário e, 11 anos mais tarde, os avanços não foram significativos: dos 5.507 municípios, 52,2% eram servidos. Apesar de, no período 1989-2000, ter havido aumento de, aproximadamente, 24% no número de municípios, o serviço de esgotamento sanitário não acompanhou este crescimento, pois aumentou apenas 10% (IBGE, 2002).

Verifica-se, portanto, que existe tendência de que o volume de esgoto tratado aumente, podendo constituir mais uma ameaça ao meio ambiente, caso não sejam

encontradas alternativas viáveis, do ponto de vista social, econômico e ambiental para sua utilização (SILVA et al., 2002).

As principais alternativas de transformação ou destinação do lodo de esgoto são a peletização e produção de energia (GOLDSTEIN et al., 1998), os aterros sanitários, a incineração e a reciclagem agrícola (PEDROZA et al., 2003). Do ponto de vista sustentável, a incineração do lodo de esgoto ou a disposição em aterros sanitários somente é empregada quando sua valorização é impossível, devido, principalmente, à presença de contaminantes (FERNANDES et al., 2001). Desta forma, a reciclagem via utilização agrônômica apresenta-se como tendência mundial (LOPES et al., 2005).

## **O LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA**

Utilizado com fins agrícolas, o lodo de esgoto pode proporcionar benefícios agrônômicos como: elevação dos valores de pH do solo (SILVA et al., 2001), teor de C orgânico e da CTC (MELO et al., 1994; OLIVEIRA, 2000), redução da acidez potencial (RAISON et al., 1987), aumento na disponibilidade de nutrientes (BERTON et al., 1989; 1997; DA ROS et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1995; BISCAIA & MIRANDA, 1996; OLIVEIRA, 2000), maior retorno econômico em relação à aplicação de fertilizante químico (DOU et al., 1997), melhorias nas propriedades físicas do solo (MELO, et al., 2004), além de representar um benefício de ordem social pela disposição final com menor impacto negativo do resíduo no ambiente.

Como resultado da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, a aplicação de lodo de esgoto tem conduzido ao aumento na absorção de nutrientes pelas culturas, com reflexo na produtividade (MELO et al., 2001).

Apesar disso, a disposição final do lodo de esgoto exige monitoramento principalmente, pela presença de metais pesados, que são encontrados nele, demandando especial atenção no que diz respeito à eventual contaminação, ou mesmo poluição do lençol freático e de camadas sub-superficiais do solo pela movimentação destes elementos. Outro aspecto relevante refere-se ao aumento da disponibilidade e

absorção dos metais pelas plantas, o que pode comprometer o meio ambiente, mediante a introdução na cadeia alimentar, existe a possibilidade de contaminação humana (ACCIOLY et al., 2004).

O comportamento dos metais pesados em solos intemperizados, principalmente com relação a sua adsorção, e à identificação dos fatores que mais influenciam sua mobilidade e biodisponibilidade, pode oferecer subsídios para a previsão de fitotoxicidade e de possível contaminação por esses elementos (ARAÚJO et al., 2002).

Outro fator relevante diz respeito à concentração dos nutrientes presentes no lodo de esgoto. Por se tratar de um resíduo e de concentração variável naturalmente existe um desbalanço em relação às exigências das culturas. Tal desbalanço pode ser prejudicial às plantas e/ou ao meio ambiente (FIA, et al., 2005).

O reaproveitamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos e sólidos de estações de tratamento de esgoto constitui medida importante nos dias atuais, considerando a escassez de recursos e a necessidade de reduzir ao máximo o lançamento de resíduos no meio ambiente (MOTA, 2000).

Para se avaliar de forma adequada os efeitos adversos dos agentes químicos introduzidos no ambiente, é imperativo obter conhecimento básico dos seus efeitos sobre os seres vivos e sobre as concentrações do determinado poluente no ambiente (CONCEIÇÃO, 2005).

As normas anteriormente utilizadas para o estado de São Paulo, adotadas pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) que regulamentavam a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas foram baseadas na legislação americana da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1993) denominada 40 CFR 503. Após um acidente ocorrido em Brasília – DF, devido a um projeto amparado por estas normas, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 375 adotou novas medidas pertinentes ao uso do lodo de esgoto na agricultura. Embora os valores máximos permitidos dos metais pesados tenham sido reduzidos, restaram algumas lacunas à serem preenchidas.

Neste sentido, Moraes Neto., et al. (2007) apontam três considerações relevantes: (i) os limites de metais pesados contidos no lodo de esgoto e a carga de aplicação ao solo foram definidos para solos e condições climáticas diferentes daquelas encontradas no Brasil; (ii) entre os países desenvolvidos, os Estados Unidos possuem os limites mais permissíveis para metais pesados no lodo de esgoto para aplicação no solo, que chegam a ser cem vezes maiores em relação às normas dos países da União Européia; e (iii) com relação exclusivamente aos metais pesados, a quantidade máxima que pode ser aplicada ao solo é baseada apenas nos teores totais dos elementos contidos no lodo de esgoto sem levar em consideração a fração biodisponível dos metais e as características químicas e físicas do solo.

A literatura internacional sobre o assunto é relativamente abundante. A literatura nacional dispõe de algumas importantes contribuições, mas ainda aquém das necessidades para fornecer bases seguras à normatização, manejo, fiscalização e controle da aplicação do lodo de esgoto de origem urbana na agricultura. Dessa forma, é indispensável o envolvimento dos órgãos de pesquisa e ensino nos estudos sobre os efeitos do lodo de esgoto nos solos de regiões tropicais, bem como os seus impactos no ambiente. Esses estudos devem ser executados preferencialmente em condições de campo, por longos períodos de tempo e por equipes multidisciplinares (BETTIOL & CAMARGO, 2007).

## **METAIS PESADOS PRESENTES NO LODO E SEUS IMPACTOS**

Na exploração das culturas alimentares e econômicas, é de suma importância a o conhecimento da toxicidade dos elementos químicos no solo, na planta e no homem. Dessa forma, definem-se elementos tóxicos como aqueles que são capazes de provocar danos aos seres vivos e ao meio ambiente. Neste contexto inserem-se os metais pesados (MACEDO & MORRIL, 2008). Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, de maneira que podem



acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade (BAIRD, 2002).

A expressão "metais pesados", mesmo sendo comumente usada, não é muito bem definida, podendo-se utilizar como sinônimos "metais traço", "elementos traço", entre outros. Designa-se metal pesado o grupo de elementos que, ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de  $5 \text{ g cm}^{-3}$  (EGREJA FILHO, 1993).

O impacto dos metais pesados no solo depende da concentração e das formas químicas em que se encontram: solúvel, trocável, ocluso ou fixado aos minerais, precipitado com outros compostos, na biomassa microbiana e complexado à matéria orgânica (MCBRIDE, 1994).

Os metais pesados contidos no lodo de esgoto, quando adicionados ao solo, sofrem inúmeras reações, que produzem as várias espécies químicas possíveis (ESSINGTON & MATTIGOD, 1991).

Considerando-se que o termo metal pesado, geralmente, está associado com toxidez e poluição, Oliveira (2008) recomenda que se diferenciem os elementos que são essenciais, como Cobre (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), daqueles não essenciais como Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Arsênio (As), etc., ainda que todos sejam classificados como metais pesados e potencialmente tóxicos.

Os metais pesados de maior preocupação nos lodos de esgoto são: Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) devido à sua ocorrência generalizada, ao potencial de fitotoxicidade e aos danos a animais e humanos (CHANG et al., 1997; LUCCHESI, 1998). Dentre eles foram escolhidos para este estudo Cr, Cd e Pb.

### **Cromo**

O cromo ou crômio (formas aceitas com predileção por crômio) do grego χρῶμα, pronunciado como chrôma, significando cor, é um elemento químico de símbolo **Cr**,

número atômico 24 (24 prótons e 24 elétrons) e massa atômica 52 u, sólido em temperatura ambiente. É um metal (de transição) encontrado no grupo 6 (6B) da classificação periódica dos elementos, de cor branco-azulado, extremamente duro, resistente à corrosão e capaz de adquirir grande polimento.

O cromo tem sido considerado essencial para os homens e os animais por participar do metabolismo da glicose (MENGEL & KIRKY, 1982), é requerido na forma trivalente pelos microrganismos em alguns processos metabólicos específicos, porém não possui essencialidade comprovada na nutrição das plantas (CASTILHO et al., 2000). No solo, o  $\text{Cr}^{3+}$  é a forma mais estável, apresentando baixa solubilidade e mobilidade com o aumento do pH devido à formação de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ou mesmo  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ . O padrão de migração vertical do cromo no solo indica que, após um período inicial de mobilidade, ele forma complexos insolúveis, dificilmente lixiviados. O mesmo se dá horizontalmente, o cromo é pouco lixiviado por formar complexos com a matéria orgânica (CONCEIÇÃO, 2005).

Apesar de o lodo de esgoto não possuir cromo na forma oxidada, o seu acúmulo constante, associado à determinadas condições de solo, como a presença de manganês em formas oxidadas ( $\text{Mn}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ), baixos teores de carbono orgânico e boa aeração podem promover a sua oxidação para a forma hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) (MILACIC & STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, caracteristicamente tóxica e mutagênica para os animais superiores, plantas e microrganismos.

A absorção e translocação de cromo varia de acordo com a espécie considerada. Por causa de sua afinidade por cargas negativas, o cromo é imobilizado, principalmente, nas raízes e não na superfície radicular como o chumbo. Os sintomas de toxicidade de Cr manifestam-se como inibição do crescimento, clorose nas folhas jovens, folhas pequenas de coloração vermelho-amarronzado ou púrpura e lesões necróticas (BERGMANN, 1992).

### **Cádmio**

O **cádmio** é um elemento químico de símbolo **Cd** com número atômico 48 (48 prótons e 48 elétrons) e massa atômica igual a 112,4 u. Está situado no grupo 12 (2 B) da classificação periódica dos elementos. À temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido, porém passível de ser cortado até mesmo com uma faca, possui coloração branco-azulada e ocupa a 65ª posição na classificação de elementos da crosta terrestre pelo critério de abundância. Suas propriedades são parecidas com as do Zinco.

Segundo a ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY dos EUA (USEPA, 2001) o cádmio é um dos onze metais de uma lista de maiores contaminantes, razão pela qual usualmente existem considerações especiais nos manuais das agências de proteção ambiental a seu respeito (KIM et al., 1988). O cádmio possui massa específica de  $8,642 \text{ g cm}^{-3}$  e é geralmente adicionado ao solo por meio de lixo urbano ou industrial, lodo de esgoto e fertilizantes fosfatados. Sua persistência e mobilidade são determinadas pela intensidade da adsorção pelos colóides (DIAS et al., 2003).

O conhecimento dos processos que controlam a disponibilidade e mobilidade de cádmio em solos é importante para predição de seu transporte no meio ambiente e para o entendimento de seu ciclo biogeoquímico, visando a redução de possíveis efeitos deletérios sobre a qualidade do solo e do ambiente (BORGES, 2002).

O processo de absorção foliar ou radicular do cádmio é provavelmente um mecanismo passivo, sendo a movimentação interna na planta semelhante à do cálcio. Em muitas espécies o transporte das raízes para as folhas é diretamente proporcional à concentração externa deste elemento, no entanto, a translocação do cádmio de folhas para frutos é baixa (MENGEL & KIRKBY, 1982).

### **Chumbo**

O chumbo é um metal cinza-azulado, brilhante, mole, muito maleável, dúctil, insolúvel em solventes orgânicos usuais não se dissolvendo praticamente também na água e um fraco condutor de eletricidade. É muito resistente à corrosão, mas torna-se

opaco quando exposto ao ar. É um elemento calcófilo (afinidade com o enxofre) e por isso, isolado ou combinado com outros metais, forma diversos minerais sulfetados (KREUSCH, 2005).

A contaminação de solos com Pb é um processo cumulativo praticamente irreversível, aumentando assim, os teores desse metal na superfície do solo, indicando uma disponibilidade de absorção do mesmo pelas raízes das plantas (DUARTE, 2000).

Segundo Xian (1989), mais de 43% do chumbo presente no solo encontram-se na fração orgânica, sendo o restante ligado a outros componentes do sistema solo, como óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, carbonatos e fosfatos. Porém os estudos sobre o comportamento do elemento no solo são ainda incipientes, a literatura apresenta nos seus poucos dados resultados contraditórios. Kabata-Pendias & Pendias (2001), por exemplo, relatam que, aproximadamente, 55% do Pb total do solo está na forma residual, 10% ligado à matéria orgânica, 28% associado a óxidos de Fe e Mn, 5% na forma trocável e apenas 2% na forma solúvel.

A absorção de chumbo dá-se por mecanismo passivo, sendo absorvido por pêlos radiculares e armazenado na parede celular (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 2001), onde pode combinar-se com novos materiais. Existem evidências de que há pouca translocação do chumbo remanescente nas células da raiz para outras partes da planta, pois os níveis desse metal encontrados no broto e no tecido foliar são geralmente muito menores do que naquela parte da planta. A captação foliar do chumbo ocorre, mas numa extensão muito pequena (WHO, 1995).

## **EXTRATORES**

O fato de o metal pesado estar presente no solo não significa que esteja numa forma prontamente assimilável pelas plantas (SIMONETE & KIEHL, 2002), assim como a simples adoção dos critérios estabelecidos nas legislações não torna segura, por tempo indeterminado, a utilização agrícola do lodo, sendo imprescindível o monitoramento periódico do solo (RANGEL et al., 2004).

Estudos em campo, em longo prazo, fornecem subsídios para a elaboração de normas que padronizem o uso do lodo de esgoto em solos brasileiros, uma vez que esses são escassos nas condições de clima e solos do país, onde existe um grande potencial para se utilizar o lodo de esgoto em áreas agrícolas, em razão dos solos apresentarem baixa reserva de nutrientes e reação ácida (RANGEL et al 2004).

O sucesso do monitoramento de metais pesados no solo depende, em parte, de um método químico eficiente para determinar a fração desses elementos colocada à disposição das plantas (MANTOVANI et al., 2004). Para estes estudos vem sendo utilizado diversos extratores químicos, cuja eficiência é atribuída de acordo com o grau de correlação entre quantidades extraídas do solo e quantidades absorvidas pelas plantas (KIEKENS & COTTENIE, 1985).

Por tanto o extrator consiste em uma solução de reagentes que visa simular ao máximo a fitodisponibilidade de um elemento no solo. Sendo assim, ele deve exercer função de uma planta artificial em condições de laboratório.

As principais dificuldades na escolha do extrator são a variação de sua eficiência conforme a quantidade e tipo de metal presente no lodo de esgoto, processo de obtenção do resíduo, tipo de solo, presença de outras espécies químicas e espécie vegetal em questão (BERTONCINI, 2002).

Todavia, existem grandes dificuldades para a definição de um extrator multielementar que inclua vários metais pesados e que ao mesmo tempo, seja eficiente para diagnosticar a sua disponibilidade às várias espécies vegetais cultivadas em diversos tipos de solos. Além disso, em solos contaminados com metais pesados, principalmente quando a contaminação é devido à aplicação de resíduos orgânicos, nem sempre a quantidade absorvida pelas plantas é proporcional a quantidade de metal aplicada ao solo via resíduo, é mais um fenômeno natural a ser simulado por um extrator artificial, o que sem dúvida é outra dificuldade. Dessa forma, fica clara a necessidade de pesquisas nesta área do conhecimento, principalmente nas condições brasileiras (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001).

Entre os extratores universais mais utilizados no diagnóstico da disponibilidade de elementos no solo estão DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 (RAIJ, 1994), sendo este

primeiro inicialmente desenvolvido para solos alcalinos, mas que vem sendo muito utilizado para determinar a disponibilidade de metais nas condições brasileiras. Consiste de uma solução básica de trietanolamina, DTPA e cloreto de cálcio. Já o Mehlich 1 é de uma solução diluída de ácidos fortes (HCl e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e, o Mehlich 3 é constituído de uma solução de fluoreto de amônio, EDTA, nitrato de amônio e os ácidos acético e nítrico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar: o estado nutricional (macro e micronutrientes nas folhas diagnose), características agronômicas (altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule, peso de 100 sementes e teor de proteína dos grãos) e produtividade das plantas de milho; potencial do lodo de esgoto em fornecer nitrogênio à cultura do milho, bem como sua lixiviação ao longo do perfil do solo e; teores dos metais pesados Cr, Cd e Pb disponíveis no solo pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA e os teores totais no solo e em plantas de milho (folhas diagnose, planta inteira e grãos).

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A.M.A.; ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Absorção de zinco e produção de matéria seca por plantas de milho cultivadas em solos incubados com lodo de esgoto. FERTIBIO. **Anais...** Lages – SC, 2004.

ARAÚJO, W.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; GOMES, P.C. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 16, p. 17-19, 2002.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis**. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 741 p.

BERTONCINI, E.I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 2002. 195 f. Tese( Doutorado em agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 13, p. 187-192, 1989.

BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização do lodo de esgoto e adição de  $\text{CaCO}_3$  na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 685-691, 1997.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A.; **Lodo de esgoto na agricultura: Potencial de uso e problemas.** Disponível em: <[www.cnpma.embrapa.br](http://www.cnpma.embrapa.br)>. Acessado em: 26/07/2007.

BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G.M. Uso de lodo de esgoto calado na produção do milho. **Sanare**, v. 5, p. 90-92, 1996.

BORGES, M. **Extratabilidade do cádmio: influencia de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo peso molecular.** 88 f. (Dissertação de mestrado Solos e Nutrição de plantas). Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2002.

CASTILHOS, D.D.; VIDOR, C.; CASTILHOS, R.M.V. **Atividade microbiana em solo suprido com lodo de curtume e cromo hexavalente.** Rev. Bras. de Agrociência, v.6 p. 71-76. 2000.

CHANG, A.C.; HYUN, H.-nam; PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? **J. Environ. Quality**, Madison, v. 26, n. 1, p. 11-19, jan./feb. 1997.

CONCEIÇÃO, C.O. **Contaminação dos aterros urbanos por metais pesados no município de Rio Grande-RS.** 2005. 94 f. (Dissertação de mestrado em oceanografia física, química e geológica). Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 2005.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 17, p. 257-261, 1993.



DIAS, N.M.P.; ALLEONIS, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C.; CAMARGO, O.A.; Energia livre da reação de adsorção de cádmio em latossolos ácricos. **Ci. Rural**. v. 33. p. 829-834. 2003.

DOU, H.; ALVA, A.K.; KHAKURAL, B.R. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 61, p.1226-1232, 1997.

DUARTE, R.P.S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energ. na Agricultura**. 15:47-58, 2000.

EGREJA FILHO, F.B., 1993, **Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano**. 176 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1993.

ESSINGTON, M.E.; MATTIGOD, S.V. Trace element solid-phase associations in sewage sludge and sludge-amended soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 55, n. 2, p. 350-356, Mar./Apr. 1991.

FERNANDES, F.; LOPES, D.D.; ANDREOLI, C.V.; SILVA, S.M.C.P. da. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.

FIA, R.; MATOS, A.T.; AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caído. **Engenharia na agricultura**. 13:287-299, 2005.

GOLDSTEIN, N.; GLENN, J.; MADTES, C. Biosolids management update. **Biocycle**, v. 39, p. 69-72, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Rio de Janeiro. 397p. 2002.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants** .3. ed. Boca Raton: CRC Press, 413 p. 2001.

KIEKENS, L.; COTTENIE, A. Principles of investigation on the mobility and plant uptake of heavy metals. In: LESCHBER, R.; DAVIES, R.D.; L'HERMITE, P. (Ed.) **Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils**. London: Elsevier, p. 32-41. 1985.

KIM, S. J.; CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; WARNEKE, J.L. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. **J. Environ. Quality**. v.17. p. 568-573. 1988.

KREUSCH, M.A. **Avaliação com propostas de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escória gerada**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 143-147. 2005.

LUCCHESI, L.A.C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: SEMINÁRIO

SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, . p. 77-83. 1998.

MACÊDO, L.S. & MORRIL, W.B.B. Origem e comportamento dos metais fototóxicos: revisão da literatura. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, v.2., p.29-38. 2008.

MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. **Pesq. agropec. bras.**, 39:371-378, 2004.

McBRIDE, M.B. **Environ. chemistry of soil**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com bioossólidos. **Pesq. agropec. bras.** 39:67-72, 2004.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. Uso agrícola do bioossólido e as propriedades do solo. 189 – 364p. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Bioossólidos na agricultura**. 1 ed. SABESP. São Paulo – SP, 2001.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHEELI, R.A.; LEITE, S.A.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 449-455. 1994.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Worblanfe-Bern: International Potash Institute, 1982, 655 p.

MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in tannery waste-and sewage sludge-amended soils. **Environ. Sci. Technology**, Easton, v.29, n.2, p.506-514, 1995.

MORAES NETO, S.P.; ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. **Uso de biossólidos em plantios florestais**. Documentos 202. Embrapa Cerrados. Planaltina, 2007. 24p.

MOTA, S. **Introdução a engenharia ambiental**. 2 ed. ABES. Rio de Janeiro – RJ, 2000. 416p.

NOGUEIRA, T.A.R. **Zinco, cádmio e chumbo em plantas de milho e em Latossolo tratado com lodo de esgoto por nove anos consecutivos**. 103 f. (Dissertação de mestrado em ciência do solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 247 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Sci. Agric.**, v. 52, p. 360-367, 1995.

OLIVEIRA, F.C. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Sci. Agric.**, v.58, n.3, p.581-593. 2001.

OLIVEIRA, L.R. **Metais pesados e atividade enzimática em Latossolos tratados como lodo de esgoto e cultivado com milho**. 108 f. (Tese de doutorado em produção

vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.

PEDROZA, J.P.; HAANDEL, A.C. van.; BELTRÃO, N.E. de M.; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 483-488. 2003.

RAIJ, B. van. New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 25, p. 799-816, 1994.

RAISON, R.J.; CONNELE, M.J.; KHANNA, P.K. Methodology for studying fluxes of soil mineral N in situ. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, p. 521-530, 1987.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L.R.G.; DINYA, J.F. Acúmulo de cu, mn, ni, pb e zn em latossolo vermelho Adubado com ontes de lodo de esgoto e Cultivado com milho. **Ciênc. agrotec.**, v. 28, n. 1, p. 15-23. 2004.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S., ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio 2001.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa para o biossólido produzido no Distrito Federal. I Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, p. 487-495, 2002.

SIMONETE, M.A. & KIEHL, J.C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. **Sci. Agric.**, v. 59 p. 555-563, 2002.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Standards for use or disposal of sewage sludge**. EPA 40 CFR 503. Washington, 1993.

USEPA - **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2001**. Drinking water standards and health advisories. Disponível em: :<<http://www.epa.gov/ebtpages/wdrinkingwaters.html>> Acesso em: 10 de outubro de 2004.

XIAN, X. Effect of chemical forms cadmium, zinc and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. **Plants and Soil**. v. 115, n. 2, p. 257-264, 1989.

WHO - Human Exposure to Lead. In: **Human Exposure Assessment Series**, WHO, 1995.

## **CAPÍTULO 2 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO.**

**RESUMO** - Embora as pesquisas sobre os impactos ambientais do uso de resíduos na forma de adubo sejam de grande relevância, o princípio básico para utilização de um produto como fertilizante é que ele forneça nutrientes às plantas sem, contudo que cause algum dano às mesmas. O objetivo do trabalho foi avaliar as características agronômicas (número de nós, altura de plantas, número de folhas, produtividade e teor de proteína dos grãos), bem como o estado nutricional da cultura do milho tratado com lodo de esgoto. O experimento foi desenvolvido no município de Jaboticabal em um Latossolo Vermelho eutroférico, sendo utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso com 4 tratamentos (0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, base seca) e 5 repetições. A dose de 110 Mg ha<sup>-1</sup> causou, aos 30 dias após a emergência (d. a. e.), maiores valores para: altura de plantas, número de folhas e diâmetro do caule. Aos 60 d. a. e. os tratamentos utilizados não influenciaram nas características agronômicas avaliadas. Para teor de proteína dos grãos e produtividade também não houve influência dos tratamentos testados. A dose de 167.5 Mg ha<sup>-1</sup> apresentou maior peso de 100 sementes. Todos os tratamentos causaram desvios em relação ao padrão nutricional.

**Palavras chave:** biossólidos, adubo orgânico, nutrição de plantas

## AGRONOMIC TRAITS OF CORN FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE

**Abstract** - Although researches on the environmental impacts of using waste as fertilizer is of great importance, the basic principle for using a product as fertilizer is that it should provide nutrients for plants without causing any harm to them. The objective of this study was to evaluate the agronomic traits (number of nodes, plant height, leaf number, yield and protein content of grains) and the nutritional status of corn treated with sewage sludge. The experiment was conducted in the municipality of Jaboticabal in a Red Latosol. A randomized block design with 4 treatments (0, 55, 110 and 167.5 Mg ha<sup>-1</sup> of sewage sludge) and 5 repetitions was used. At 30 d. a. e., the dose of 110 Mg ha<sup>-1</sup> presented higher values for: plant height, leaf number and stem diameter. At 60 d. a. e., the treatments did not affect the agronomic traits. No influence from the treatments tested was observed for protein content of grains and yield. The dose of 167.5 Mg ha<sup>-1</sup> showed greater weight of 100 seeds. All treatments showed nutritional imbalances.

**Keywords:** biosolids, waste fertilizer, nutrition plant.



## INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, grandes quantidades de substâncias químicas são distribuídas sobre a superfície do solo, na forma de fertilizantes, adubos orgânicos, inseticidas e herbicidas, e até mesmo resíduos diversos (COSTA et al., 1999).

Quando se fala em lodo de esgoto para fins agrícolas, logo se tem em mente os riscos de contaminação ambiental, seja pelos metais pesados, lixiviação do nitrato, presença de patógenos, dentre outros. Embora as pesquisas sobre os impactos ambientais de seu uso sejam de grande relevância, o princípio básico para utilização de um produto como fertilizante é que ele forneça nutrientes às plantas sem, contudo, causar-lhes dano.

O lodo de esgoto tem se mostrado como potencial insumo de origem orgânica para as culturas, uma vez que possui importantes características para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Esse resíduo fornece em geral os elementos N, P, Ca, Mg, S e micronutrientes, variando suas concentrações de acordo com a origem e método de tratamento do esgoto (MELO et al. 1994).

Geralmente verifica-se que o lodo de esgoto apresenta-se de forma desbalanceada em relação à concentração de seus nutrientes. Desse modo, pode ser prejudicial às culturas, seja pelo excesso, ou escassez de algum nutriente que, no primeiro caso, pode provocar toxidade e no segundo, deficiência nutricional, ambos limitantes à produtividade.

A eficiência das plantas em obter quantidades suficientes de um íon nutriente, para o seu pleno desenvolvimento, não depende somente da concentração deste elemento, em forma disponível no meio nutritivo, mas também de certos fatores ambientais e fisiológicos da planta, que afetam a absorção. Dentre os fatores ambientais, destaca-se o tipo de elemento e sua concentração em relação aos demais, além da presença de outros elementos (CARMELO, 1989).

Se os teores de um elemento forem alterados por uma prática de adubação errônea, poderão ocorrer problemas de deficiência nutricional (MALAVOLTA, 1980). Assim, desequilíbrios entre as concentrações dos nutrientes provocam influências

recíprocas na disponibilidade, absorção e translocação na planta (FERNANDES & CARVALHO, 2001).

De maneira geral, as deficiências ou fitotoxidades são identificadas visualmente apenas em casos extremos e cuja intervenção antrópica não mais recupera com eficiência os danos provocados. Durante o desenvolvimento da cultura, parâmetros de ordem agrônômica considerados simples podem ser mensurados no intuito de identificar supostos distúrbios no crescimento. Porém, na grande maioria dos casos os desequilíbrios nutricionais são verificados apenas no final do ciclo das culturas com a avaliação da produtividade.

Outro fator relevante é determinar a concentração do nutriente na planta para avaliar o estado nutricional da cultura. Como são os órgãos de maior atividade química dos vegetais, as folhas são utilizadas para este fim (MALAVOLTA, 1992), sendo padronizados, período de desenvolvimento da cultura e folha à ser amostrada (MALAVOLTA, 1997).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as características agrônômicas: número de nós, altura de plantas, número de folhas, produtividade e teor de proteína dos grãos e o estado nutricional da cultura do milho tratado com lodo de esgoto por onze anos consecutivos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi inicialmente instalado em novembro de 1997 e vem sendo conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, localizada a uma altitude de 610 metros e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen.

A área experimental é formada por um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), textura argilosa, A moderado caulinítico (EMBRAPA, 2006), cujas características

químicas (0-0,2 m de profundidade) antes da instalação do décimo primeiro ano de experimentação encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização química do LVe<sub>f</sub> (0-0,2 m) antes da instalação do experimento no 11º ano agrícola (2007/2008).

Tratamentos	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Mg ha <sup>-1</sup> LE*	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0	5,0	27	49	4,5	27	6	38	37,5	75,5	50
55	5,1	27	50	2,8	33	8	34	43,8	77,8	56
110	5,2	30	87	3,0	40	9	34	52,0	86,0	60
167,5	4,7	31	107	1,8	33	7	58	41,8	99,8	42

\*LE= lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo.

Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 4 tratamentos e 5 repetições, sendo o tamanho das parcelas de 60 m<sup>2</sup> (6 x 10 m). Os tratamentos inicialmente utilizados foram: testemunha (sem fertilização); 2,5; 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca). A partir do 2º ano, optou-se por adubar o tratamento testemunha de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas em RAIJ & CANTARELLA (1997). A partir do 4º ano, com base nos resultados até então obtidos e, na tentativa de provocar fitotoxicidade, optou-se por transformar a dose 2,5 para 20 Mg ha<sup>-1</sup> de tal modo que as doses acumuladas no 11º ano foram 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto base seca (Quadro 2). Admitiu-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo estaria disponível para as plantas. Para as doses de lodo de esgoto em que 1/3 do nitrogênio contido não supriam a necessidade da cultura utilizou-se de uma fonte mineral (sulfato de amônio) aplicado em cobertura.

O milho foi a cultura utilizada até o 6º e a partir do 9º ano agrícola. No 7º e 8º ano utilizou-se girassol e crotalária, respectivamente, visando a rotação de cultura, uma vez que a produtividade da cultura do milho vinha decrescendo com o tempo em todos os tratamentos.

Quadro 2. Tratamentos utilizados durante os onze anos do experimento

ano	Tratamentos			
	T1	Lodo de Esgoto Mg ha <sup>-1</sup>		
		T2	T3	T4
1997/98	sem fertilização	2,5	5	10
1998/99	fertilizante mineral	2,5	5	10
1999/00	fertilizante mineral	2,5	5	10
2000/01	fertilizante mineral	20	5	10
2001/02	fertilizante mineral	20	5	10
2002/03	fertilizante mineral	20	5	10
2003/04	fertilizante mineral	20	5	10
2004/05	fertilizante mineral	20	5	10
2005/06	fertilizante mineral	20	5	10
2006/07	fertilizante mineral	20	5	10
2007/08	fertilizante mineral	20	5	10

O lodo de esgoto foi obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SABESP, localizada em Franca, SP. Para a caracterização química do lodo de esgoto (Quadro 3) coletaram-se 6 amostras simples em diferentes pontos da massa do resíduo, as quais foram homogeneizadas e reunidas em uma amostra composta.

Quadro 3. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo primeiro ano de experimentação.

Experimentažas:											
N		P		K		Ca		Mg		S	
g kg <sup>-1</sup>											
33,42		38,23		1,50		25,20		3,52		5,28	
Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cr	Cd	Ni	Pb	Ba	Co
mg kg <sup>-1</sup>											
572,55	184100,00	726,99	1028,30	71,65	2,77	284,46	3,27	56,63	77,28	306,55	29,04
						1000*	39*	300*			

\*Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola conforme normas do CONAMA (2006).

O lodo de esgoto, nas parcelas que o receberam, foi aplicado a lanço, em área total, uniformemente distribuído, nas respectivas doses de cada tratamento, com a umidade com que chegou da ETE (73%), sendo incorporado por meio de gradagem leve (10 cm de profundidade).

As parcelas do tratamento testemunha foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m e a fertilização mineral (NPK) aplicada abaixo do sulco de semeadura, utilizando-se, por hectare, 30 kg de N, 50 kg de  $P_2O_5$  e 50 kg de  $K_2O$ , sendo utilizados como fonte desses nutrientes a uréia (45% de N), o superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) e o cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ). Somente o K foi aplicado nas parcelas tratadas com o lodo de esgoto, sendo aplicado 41, 32 e 14 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  nas parcelas que receberam nesta safra as doses de 5, 10 e 20 Mg  $ha^{-1}$  de lodo de esgoto, respectivamente.

Passada uma semana após a aplicação do lodo de esgoto a cultura foi então semeada e quando as plântulas apresentavam cerca de 20 cm de altura foi realizado desbaste, deixando-se 5-7 plantas metro linear. Para todas as coletas foram utilizadas apenas as 4 linhas centrais de cada parcela, sendo as 2 linhas das extremidades consideradas bordaduras.

A variedade de milho utilizada no décimo primeiro ano foi a Dekalb 390, considerado super precoce e de alta produtividade.

Foram realizadas adubações de cobertura, aos 28 e 49 dias após a emergência (d.a.e.). Na primeira cobertura foi aplicado, por hectare, 80 kg de N e 40 kg de  $K_2O$  nos tratamentos testemunha e 5 Mg  $ha^{-1}$ ; 70 kg de N e 40 kg de  $K_2O$  no tratamento 10 Mg  $ha^{-1}$  e 40 kg de  $K_2O$  no tratamento 20 Mg  $ha^{-1}$ . Na segunda cobertura foi aplicado, por hectare, 60 e 40 kg de N respectivamente nos tratamentos testemunha e 5 Mg  $ha^{-1}$ , sendo utilizado como fonte de N e K respectivamente sulfato de amônio e cloreto de potássio. Todos os valores referentes às adubações estão de acordo com as recomendações contidas em Raij & Cantarella (1997) para a cultura do milho cuja referência de produtividade esperada foi de 12 Mg  $ha^{-1}$ .

Aos 30 e 60 d. a. e., foram avaliados número de nós, de folhas, diâmetro do caule e altura de plantas. Para tanto, 5 plantas das 4 linhas centrais de cada repetição dos tratamentos foram escolhidas aleatoriamente. Para o diâmetro do caule foi utilizado

paquímetro, sendo o caule (colmo) medido a 0,20 m de altura do solo. Para altura das plantas, foi considerado a distância vertical entre o solo e inserção da última folha no colmo.

Também aos 60 d. a. e., foram coletadas folhas diagnose (RAIJ et al., 1997) para avaliação do estado nutricional (macro e micronutrientes) das plantas segundo método preconizado por Malavolta et al. (1997). As folhas foram lavadas, na sequência: com água corrente, solução água + detergente ( $1\text{ mL L}^{-1}$ ), água destilada e água deionizada. Após a lavagem, foram acondicionadas em sacos de papel, sendo colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar mantida a  $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$ , até obtenção da massa constante. Após a secagem, o material foi moído em moinho tipo Willey, dotado de peneira de 40 mesh, acondicionado em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenado em câmara seca até a realização das análises.

Nas folhas diagnose, o teor de N-kjeldahl foi determinado conforme o método descrito em Melo (1974), que consiste em oxidar o N-orgânico a N amoniacal pelo ácido sulfúrico em presença de catalisadores e elevadores de temperatura. O N amoniacal produzido foi quantificado por meio de titulação, com solução de ácido sulfúrico. O P, K, Ca, Mg e S foram determinados no extrato obtido por meio de digestão das amostras com  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCL}$  submetidas a temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  USEPA, (1996). O P foi determinado pelo método colorimétrico (MALAVOLTA et al., 1997), o Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com chama de ar-acetileno, o K por fotometria de chama (SARRUGE & HAAG, 1974) e o S por turbidimetria (VITTI, 1989). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn também foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com chama de ar-acetileno no extrato obtido segundo método descrito em USEPA (1996). O Mo foi determinado por colorimetria, e o B com Azometina-H, também por colorimetria, ambos descritos em TEDESCO et al. (1995).

Para os teores de proteína bruta dos grãos multiplicaram-se os teores de N-total por 6,25 conforme proposto por VILLEGAS et al., (1985).

A amostragem de espigas (para determinação de produtividade e teor de proteína) ocorreu aos 128 d. a. e, coletando-se as espigas das plantas de 3 m lineares

da linha central de cada parcela. A produtividade de grãos foi expressa em massa, com o teor de umidade corrigido para 13%. O peso de 100 sementes foi obtido através da média de 5 amostras retiradas aleatoriamente de cada tratamento.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Nos casos em que o teste F foi significativo a 1 ou 5% de probabilidade, aplicou-se a análise de regressão utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para altura de plantas, número de folhas e diâmetro de caule aos 30 d.a.e. o tratamento que recebeu a dose acumulada de  $110 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto apresentou os maiores valores (Figura 1), ou seja neste período foi esse o tratamento que proporcionou maior desenvolvimento da cultura.

Uma das grandes preocupações quando se utiliza adubo orgânico, é quanto à disponibilização de nutrientes em tempo hábil para que possa suprir a necessidade da cultura. Neste sentido e, para os parâmetros avaliados, o lodo de esgoto se mostrou sempre superior ao tratamento testemunha em qualquer das doses aplicadas.

Embora neste período a quantidade de nutrientes demandada pela cultura seja pequena, por exemplo, menos de  $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N (SCHRÖDER et al., 2000) que é o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas de milho, e o período reprodutivo ainda esteja distante, deficiências nutricionais neste período interferem diretamente na quantidade e qualidade da produção (SCHREIBER et al., 1988).

As características agronômicas avaliadas aos 30 d.a.e. apresentaram sempre resposta representada por regressão quadrática com os menores valores para o tratamento testemunha, aumentando até a dose acumulada de  $110 \text{ Mg ha}^{-1}$  onde ocorreu o pico, diminuindo em seguida na maior dose de lodo de esgoto aplicada (Figura 1).

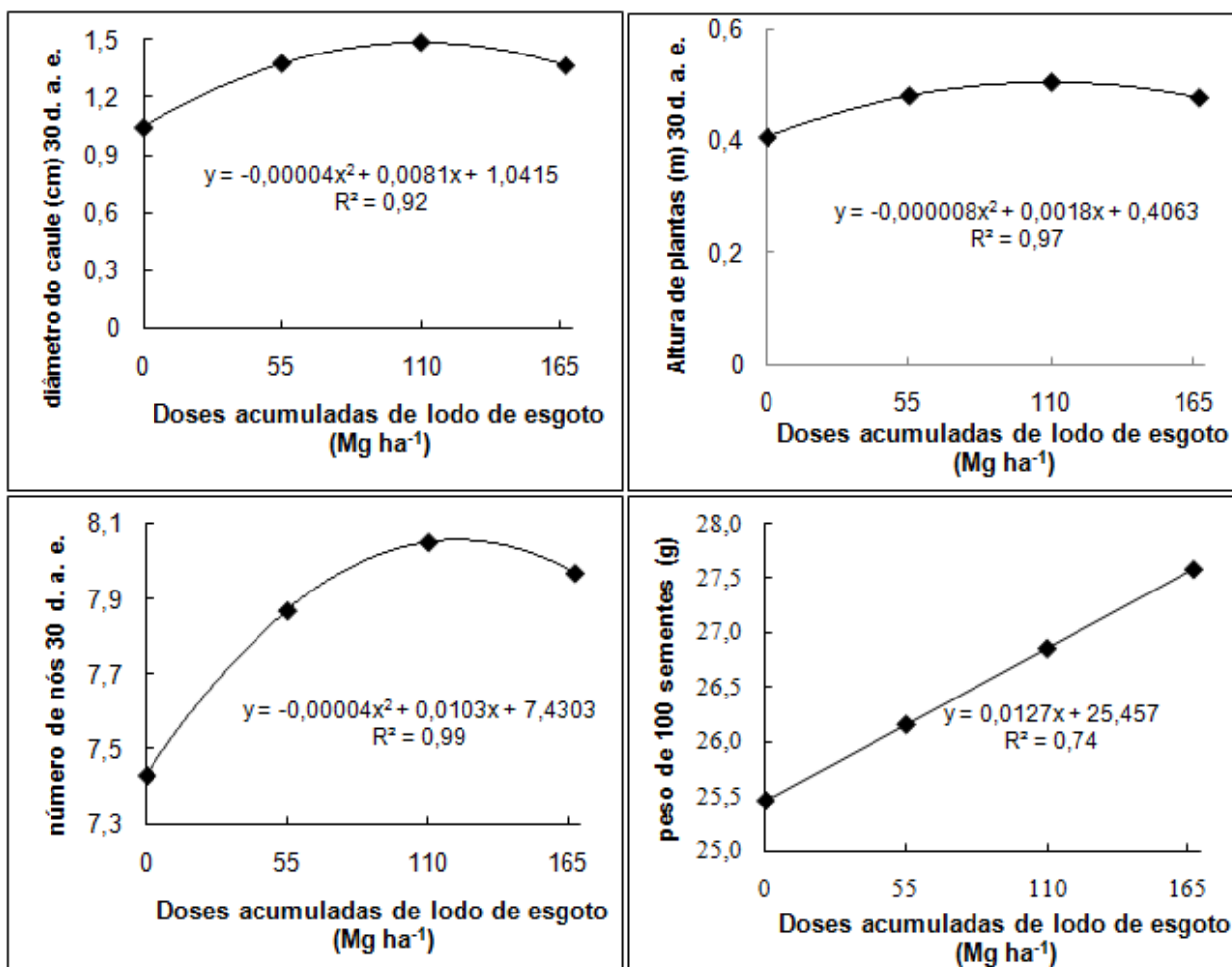


Figura 1. altura de plantas, diâmetro de caule, número de folhas e peso de 100 sementes de plantas de milho cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto após 11 anos.

Na segunda avaliação, realizada aos 60 d.a.e. os tratamentos utilizados não influenciaram nas características agrônômicas (Quadro 4). Este efeito já era esperado uma vez que não existindo restrições severas de nutrientes, ao longo do ciclo existe uma tendência de uniformização mesmo que visual entre as plantas dos tratamentos. Porém, para o peso de 100 sementes (Figura 1) observa-se regressão linear crescente a partir da testemunha até o tratamento que recebeu maior dose de lodo de esgoto, indicando que para esse atributo o resíduo sempre se mostrou superior a adubação química.



Quadro 4. Produtividade, teor de proteína dos grãos, altura de plantas, diâmetro de caule e número de nós de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto após 11 anos.

Características agronômicas	Doses de lodo de esgoto $\text{Mg ha}^{-1}$			
	0	55	110	167,5
produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	11,85	13,35	10,97	12,01
teor de proteína dos grãos ( $\text{g kg}^{-1}$ )	91,21	96,84	91,55	99,46
altura de planta 60 d.a.e. (m)	2,02	2,08	2,06	2,00
diâmetro de caule 60 d.a.e. (cm)	3,16	2,97	2,98	3,02
número de folhas 60 d.a.e.	14,4	14,8	15,2	14,8

Segundo Carvalho & Nakagawa (2000) sementes maiores ou de maior densidade em uma mesma espécie são potencialmente mais vigorosas do que as menores e menos densas, originando plântulas mais desenvolvidas. Portanto, para a finalidade de produção de sementes a maior dose de lodo de esgoto aplicada é a mais recomendável. Os tratamentos utilizados não influenciaram na produtividade e teor de proteína dos grãos (Quadro 4) que apresentaram médias de  $12,05 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $93,98 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente.

Quadro 5. Teores foliares de macronutrientes em folhas diagnose de plantas de milho tratadas com lodo de esgoto.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
$\text{Mg ha}^{-1}$ LE	$\text{g kg}^{-1}$					
0	35,8	3,8	21,9	4,8	2,4	0,9
55	36,3	3,7	17,9	5,1	2,6	0,6
110	37,0	4,3	21,4	5,3	2,5	0,9
167,5	38,0	4,2	20,4	5,6	2,7	0,6
Ideal*	27,5-32,5	2,5-3,5	17,5-22,5	2,4-4,0	2,5-4,0	1,5-2,0

LE = lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo. \* Malavolta et al. (1997)

Embora a aplicação do resíduo não tenha proporcionado acréscimos de produtividade, cabe lembrar que todos os tratamentos que receberam lodo de esgoto, receberam também adubação mineral complementar (potássio e nitrogênio). A literatura mostra que, em alguns casos, quando se utiliza consorciação de adubos minerais e orgânicos para nutrição de uma cultura, estes podem proporcionar desde maior demanda de adubo, para se obter a máxima produtividade, (FERREIRA et al., 2006), ou mesmo decréscimo de produtividade (OLIVEIRA, et al., 2000). O fato do lodo de esgoto proporcionar produtividade semelhante à adubação mineral é vantajoso, uma vez que, trabalhos indicam que este resíduo apresenta maior retorno econômico em relação ao adubo químico (DOU et al., 1997).

Quanto à avaliação do estado nutricional, todos os tratamentos utilizados apresentaram desequilíbrios (Quadros 5, 6 e 7). Os teores de N e P, principais nutrientes fornecidos pelo lodo de esgoto, ficaram acima do nível crítico (MALAVOLTA et al., 1997), porém o tratamento testemunha, que vem sendo adubado de acordo com recomendação de Raij e Cantarella (1997), também teve seus teores foliares de N e P acima do recomendado, indicando que a adubação química utilizada supera as necessidades da cultura.

Quadro 6. Teores foliares de micronutrientes em folhas diagnose de plantas de milho tratadas com lodo de esgoto.

Tratamentos	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo
Mg ha <sup>-1</sup> LE	mg kg <sup>-1</sup>					
0	126,9	11,3	52,0	26,5	11,0	0,03518
55	130,6	11,5	64,6	24,4	11,0	0,03513
110	134,3	14,7	55,4	24,6	10,9	0,03507
167,5	138,2	21,2	56,2	27,3	10,9	0,03502
Ideal*	50-250	15-50	15-20	50-150	6-20	0,15-0,20

LE = lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo. \* Malavolta et al. (1997)

Dos seis macronutrientes apenas o K ficou dentro dos limites ideais em todos os tratamentos utilizados, mas sua fonte no experimento foi quase que totalmente o adubo químico, uma vez que o lodo de esgoto utilizado possuía apenas  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  K, sendo necessário complementar a diferença com relação ao que se aplicou no tratamento testemunha, com cloreto de potássio.

O Ca apresentou uma concentração linear e crescente a partir da testemunha e, assim como o N, ficou sempre acima do nível crítico, enquanto o Mg, ficou abaixo do ideal apenas no tratamento testemunha.

Já o S foi o único macronutriente que se apresentou abaixo do nível ideal em todos os tratamentos. Embora o lodo de esgoto não apresente grandes quantidades de S o tratamento testemunha recebeu super fosfato simples e sulfato de amônio, para o suprimento de P e N respectivamente, como os 2 adubos são também fontes de enxofre, isso proporcionou ao tratamento testemunha mais de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de S, e mesmo assim apresentou-se abaixo do padrão ideal. A explicação desse efeito pode ser o excesso de N, uma vez que na literatura encontram-se relatos de competição iônica entre estes elementos. Efeito semelhante foi identificado por Neves et al., (2005).

Quadro 7. Equações de regressão expressando o efeito de doses de lodo de esgoto sobre a concentração de nutrientes em folhas diagnose de milho tratado com lodo de esgoto.

Nutriente	Equação de regressão	CV %	Coefficiente de determinação R <sup>2</sup>
N	-	2,74	ns
P	$y = -0,000006x^3 + 0,0003x^2 - 0,0164x + 3,8$	5,79	0,99*
K	$y = -0,00005x^3 + 0,0032x^2 - 0,2117x + 21,9$	10,93	0,99*
Ca	$y = 0,0049x + 4,8031$	8,63	0,94**
Mg	-	17,37	ns
S	$y = -0,000006x^3 + 0,0003x^2 - 0,0169x + 0,908$	17,4	0,99**
Fe	$y = 0,0673x + 126,95$	6,07	0,87*
Zn	$y = 0,0005x^2 - 0,0241x + 11,315$	16,48	0,99**
B	$y = 0,00003x^3 - 0,0087x^2 + 0,6152x + 52,011$	5,29	0,99**
Mn	$y = 0,0004x^2 - 0,0603x + 26,52$	4,15	0,98**
Cu	$y = -0,0000008x^2 - 0,0009x + 11,046$	4,16	0,71*
Mo	$y = -0,000006x + 0,0352$	20,18	0,99*

CV= coeficiente de variação; ns= não significativo; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto aos micronutrientes (Quadro 6) somente Fe e Cu ficaram dentro da faixa considerada ideal para a cultura do milho, muito embora estes possam ter sido fornecidos pelo próprio material de origem do solo uma vez que sua constituição mineralógica apresente estes nutrientes em quantidades consideráveis (FADIGAS, et al., 2006).

O Mo e o Mn ficaram abaixo da faixa ideal, enquanto que B ficou acima. Já o Zn apresentou valores dentro da faixa ideal para cultura do milho apenas no tratamento que recebeu a maior dose de lodo de esgoto.

Depois do Fe, o Zn é o micronutriente encontrado em maior quantidade no lodo de esgoto aplicado, sendo a menor dose (forneceu 5,14 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) utilizada suficiente para suprir a necessidade da cultura, de acordo com a recomendação de Coelho et al., (2007) e mesmo assim apresentou concentração foliar abaixo do ideal em três dos quatro tratamentos avaliados. Como a concentração de fósforo está acima do

ideal existe na literatura uma série de propostas que relacionam estes dois elementos (P e Zn) quanto à concentração, disponibilidade e absorção. As mais aceitas são referentes ao antagonismo entre os nutrientes com predomínio do P inibindo a absorção do Zn, a precipitação dos elementos com a formação de sais e por último o fator de diluição que ocorre pelo aumento de matéria seca impulsionado pela absorção de fósforo.

Embora os tratamentos avaliados não tenham influenciado na produtividade, cabe lembrar que os valores alcançados superam em muito a média de produtividade nacional –  $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  – do mesmo ano (CONAB, 2009) e, a princípio, o tratamento que recebeu a menor dose de lodo de esgoto, seja o mais aconselhável à ser utilizado, uma vez que, apresentou produtividade semelhante a do tratamento que recebeu maior dose de lodo de esgoto por exemplo, e seu custo com transporte e aplicação seriam menores. Porém, estes dados são referentes ao décimo primeiro ano de experimentação sendo que a influência das aplicações anteriores devem ser levadas em conta.

## CONCLUSÃO

A dose de  $110 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, aos 30 d. a. e. causou maiores valores para: altura de plantas, número de folhas e diâmetro do caule.

Aos 60 d. a. e., os tratamentos utilizados não influenciaram nas características agronômicas avaliadas.

Para teor de proteína dos grãos e produtividade também não houve influencia dos tratamentos testados.

A dose de  $167,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  causou maior peso de 100 sementes.

Todos os tratamentos apresentaram desequilíbrios nutricionais.

O estudo confirma o potencial agrícola do lodo de esgoto, como fonte de nutrientes.

## REFERENCIAS

CARMELO, Q.A. de C. **Saturação por bases e relações entre K, Ca e Mg no solo na nutrição potássica do milho (Zea mays L.) cv. Piranão.** 1989. 105 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C. HERNANI, L.C. Fertilidade de solos. Nutrição e adubação do milho. Embrapa. Sistema de Produção, 2. Versão eletrônica, 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/feraduba.htm>>. Acessado em: 15/05/2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 5 de dez. de 2007.

COSTA, S.N.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; RAMOS, V.B.N. Mobilidade de nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental.** v.3 p. 190-194, 1999.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FADIGA, F.S.; AMARAL SOBRINHO, M.N.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A. A. Proposição de valores de referência para concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Rev. Bras. Eng. Agri. Ambiental.** v. 10:699-705, 2006.

FERNANDES, A.R. & CARVALHO, J.G. Crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes h.b.k.*) em função de relações do K com o Ca e com o Na, em solução nutritiva. **Cerne**, v. 7, p.084-089, 2001.

MALAVOLTA, E. A avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo : Agronômica Ceres, 1980. p.219-251.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Ceres, 1992. 124p.

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

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHEELI, R.A.; LEITE, S.A.A. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 449-455, set./dez. 1994.

NEVES, O.S.C.; CARVALHO, J.G.; MARTINS, F.A.D.; PÁDUA, T.R.P. & PINHO, P.J. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesq. Agropec. Bras.** v.40 p. 517-521, 2005.

OLIVEIRA, A.P.; ALVES, E.U.; BRUNO, R.L.A. & BRUNO, G.B. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Rev. Bras. Sem.** v. 22, p. 102-108, 2000.



RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 56-59. (Boletim Técnico 100).

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

SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Rev. Bras. Prod. Agroindustriais**. v. 4, p. 71-78, 2002.

SARRUGE, J.A.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. p.111-116 (Boletim Técnico nº5, 2º edição).

VILLEGAS, E. ORTEGA, E.; BAUER, R. **Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar La calidad de proteína de los cereales**. Centro Internacional de Mejoramiento de Mayz y Trigo. México, D.F. 1985. 34 p.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1989. 37p.

### **CAPÍTULO 3 - LODO DE ESGOTO COMO FONTE DE NITROGÊNIO:**

#### **CONCENTRAÇÃO NO PERFIL DO SOLO E EM PLANTAS DE MILHO.**

**Resumo** - A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas vem sendo bastante avaliada quanto ao potencial de contaminação por metais pesados. Porém, existe ainda o risco de contaminação do lençol freático pela concentração de nitrogênio que este resíduo possui e a avaliação do estado nutricional da cultura quanto a este elemento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de nitrogênio em plantas de milho e ao longo do perfil de um Latossolo Vermelho eutrófico submetido a doses de lodo de esgoto. O experimento foi instalado em delineamento experimental em blocos casualizados com 4 tratamentos (0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto) e 5 repetições. A amostragem de solo foi realizada aos 60 dias após a emergência (d. a. e.) das plantas nas profundidades 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m. Também aos 60, 80 e 128 d. a. e. foram coletadas respectivamente, folha diagnose, planta inteira e grão. As maiores doses de lodo de esgoto proporcionaram maiores quantidades de nitrogênio no solo. O nitrogênio do solo, após a profundidade de 0,6 m, não diferiu entre as camadas avaliadas. Quanto maior a dose de lodo de esgoto, menor a proporção de nitrogênio em profundidade.

Palavras-chave: adubo orgânico, biossólidos, poluição ambiental

## SEWAGE SLUDGE AS SOURCE OF NITROGEN: CONCENTRATION IN THE SOIL PROFILE AND IN CORN PLANTS

**Abstract** - Alternative sources of N such as organic fertilizers are pointed out as ways to minimize losses of nitrogen through leaching and, consequently, to reduce the contamination of groundwater. This study aimed to quantify the nitrogen concentration in different soil depths from doses of sewage sludge and mineral fertilizer. The experimental design was randomized in blocks with 4 treatments and 5 replications and corn was the test-plant studied. The first treatments were: control (without fertilization), 2.5, 5, 10 Mg ha<sup>-1</sup> of sewage sludge (dry basis). From the 4<sup>th</sup> year on, it was decided to increase the dose from 2.5 to 20 Mg ha<sup>-1</sup>, so that the doses accumulated in the 11<sup>th</sup> year were 0, 55, 110 and 167.5 Mg ha<sup>-1</sup> of sewage sludge on a dry basis. It was assumed that 1/3 of the nitrogen contained in the residue would be available to plants. For sewage sludge doses in which 1/3 of the nitrogen present would not meet the corn crop requirements, a mineral source was used (ammonium sulphate) applied in coverage. The highest doses of sewage sludge provided greater amounts of nitrogen in the soil. The soil nitrogen, after the depth of 0.6 m, does not differ between the soil layers assessed. High doses of sewage sludge are related to lower nitrogen proportions in the several depths.

Keywords: organic fertilizer, biosolids, environmental pollution

## INTRODUÇÃO

O N é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais, fazendo parte de várias estruturas nas plantas superiores podendo ser absorvido como cátion ( $\text{NH}_4^+$ ) ou ânion ( $\text{NO}_3^-$ ) (EPSTEIN & BLOOM, 2004) e está sujeito a várias de reações no solo (MALAVOLTA, 2006).

No mundo, calcula-se que sua eficiência de uso em cereais seja de apenas 33% (RAUN & JOHNSON, 1999) e seu custo o mais elevado dentre os nutrientes utilizados na adubação. Conseqüentemente, é o elemento que possui maior número de pesquisas no que se refere a nutrição de plantas, bem como sua dinâmica no solo, com ênfase para as perdas das formas nitrogenadas iônicas (HASSEN et al., 2000; MORTENSEN et al., 1998).

O  $\text{NO}_3^-$  é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio. Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável dos solos tropicais, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA & FRIES, 1997), sendo esta é a principal forma de perda do nitrogênio no solo (ERREBHI et al., 1998).

A movimentação descendente do nitrato não é desejável, pois, além de não ser absorvido pelas plantas, pode contaminar as águas subterrâneas (AULAKH et al., 2000; OTTMAN & POPE, 2000).

Foster (1993) lembra que as águas subterrâneas, por se encontrarem total ou parcialmente confinadas, são geralmente mais protegidas da poluição que as águas superficiais, devido à presença do solo atuando como meio filtrante. Quando estas águas se tornam poluídas e se concentram num aquífero, este, por estar mais protegido é também mais difícil de ser recuperado, pois não está sujeito aos processos de autodepuração comuns aos sistemas livres, tais como fotodecomposição, ampla oxigenação, transformações microbianas aeróbicas, etc.

O aumento da concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água tem gerado grande discussão sobre os seus efeitos na saúde e no ambiente, estimulando pesquisas de caráter

agroecológico no mundo inteiro, principalmente em países da Europa e da América do Norte (ADDISCOT, 2000; ANDRASKI et al., 2000).

Neste sentido, fontes alternativas como os adubos orgânicos são apontados como formas de minimizar as perdas de nitrogênio por lixiviação e, conseqüentemente, reduzir a contaminação dos lençóis freáticos. Isto porque os adubos orgânicos disponibilizam os nutrientes gradativamente, à medida que estes são mineralizados. Mengel (1996) preconiza este processo como uma forma de ajustar a adubação nitrogenada. Outro fator relevante é determinar a concentração do nutriente na planta para avaliar o estado nutricional da cultura.

O lodo de esgoto, em conseqüência de sua riqueza em nutrientes, principalmente nitrogênio, tem sido utilizado em muitos países como fertilizante (BINDER et al., 2002), porém, Hernandez et al. (2002) questiona a utilização de doses excessivas, que podem contaminar o lençol freático.

Ao contrário dos aspectos relacionados com metais pesados, o potencial de lixiviação de nitrogênio, proveniente da aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas, não tem sido avaliado nos solos do Brasil (OLIVEIRA et al., 2001).

O presente trabalho teve por objetivo quantificar a concentração de nitrogênio, em diferentes profundidades do solo, proveniente de doses de lodo de esgoto e adubo mineral.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi inicialmente instalado em novembro de 1997 e vem sendo conduzido na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, localizada a uma altitude de 610 metros e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen.

A área possui um Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa, A moderado caulínítico (EMBRAPA, 2006). O delineamento experimental utilizado foi em blocos

casualizados, com 4 tratamentos e 5 repetições sendo o tamanho das parcelas de 60 m<sup>2</sup> (6 x 10 m). Os tratamentos inicialmente utilizados foram: testemunha (sem fertilização); 2,5; 5; 10 Mg ha<sup>-1</sup>; de lodo de esgoto (base seca). A partir do 2º ano, optou-se por adubar o tratamento testemunha de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas em Raij & Cantarella, (1997). A partir do 4º ano, com base nos resultados até então obtidos e, na tentativa de provocar fitotoxicidade por metais pesados, optou-se por transformar a dose 2,5 para 20 Mg ha<sup>-1</sup> de tal modo que as doses acumuladas no 11º ano foram 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto base seca (Quadro 1). As doses de 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionaram respectivamente 167,1; 334,2 e 668,4 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Admitiu-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo estaria disponível para as plantas. Para as doses de lodo de esgoto em que 1/3 do nitrogênio contido não supriam a necessidade da cultura utilizou-se de uma fonte mineral (sulfato de amônio) aplicado em cobertura.

Quadro 1. Tratamentos utilizados durante os onze anos do experimento

ano	Tratamentos			
	T1	Lodo de Esgoto Mg ha <sup>-1</sup>		
		T2	T3	T4
1997/98	sem fertilização	2,5	5	10
1998/99	fertilizante mineral	2,5	5	10
1999/00	fertilizante mineral	2,5	5	10
2000/01	fertilizante mineral	20	5	10
2001/02	fertilizante mineral	20	5	10
2002/03	fertilizante mineral	20	5	10
2003/04	fertilizante mineral	20	5	10
2004/05	fertilizante mineral	20	5	10
2005/06	fertilizante mineral	20	5	10
2006/07	fertilizante mineral	20	5	10
2007/08	fertilizante mineral	20	5	10

O lodo de esgoto foi obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SABESP, localizada em Franca, SP. Para a caracterização química do lodo de esgoto (Quadro 2) coletaram-se 6 amostras simples em diferentes pontos da massa do resíduo, as quais foram homogeneizadas e reunidas em uma amostra composta.

Quadro 2. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo primeiro ano de experimentação.

Experimentação:											
N		P		K		Ca		Mg		S	
g kg <sup>-1</sup>											
33,42		38,23		1,50		25,20		3,52		5,28	
Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cr	Cd	Ni	Pb	Ba	Co
mg kg <sup>-1</sup>											
572,55	184100,00	726,99	1028,30	71,65	2,77	284,46	3,27	56,63	77,28	306,55	29,04
						1000*	39*	300*			

\*Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola conforme normas do CONAMA (2006).

O milho foi a cultura utilizada ao longo do experimento, sendo que no 7º ano utilizou-se o girassol e no 8º ano a crotalária, visando a rotação de cultura, uma vez que produtividade da cultura do milho vinha decrescendo com o tempo em todos os tratamentos.

A amostragem do solo para fins de avaliação da fertilidade do solo (Quadro 3) foi realizada seguindo métodos preconizados por Raij et al. (2001).

Quadro 3. Caracterização química do LVeF (0-0,2 m) antes da instalação do experimento no 11º ano agrícola (2007/2008).

Tratamentos	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Mg ha <sup>-1</sup> LE*	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0	5,0	27	49	4,5	27	6	38	37,5	75,5	50
55	5,1	27	50	2,8	33	8	34	43,8	77,8	56
110	5,2	30	87	3,0	40	9	34	52,0	86,0	60
167,5	4,7	31	107	1,8	33	7	58	41,8	99,8	42

\*LE = lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo.

O lodo de esgoto, nas parcelas que o receberam, foi aplicado a lanço, em área total, uniformemente distribuído, nas respectivas doses de cada tratamento, com a umidade com que chegou da ETE (73%), sendo incorporado por meio de gradagem leve (10 cm de profundidade).

Passada uma semana após a aplicação do lodo de esgoto a cultura foi então semeada e quando as plântulas apresentavam cerca de 20 cm de altura foi realizado desbaste, deixando-se 5-7 plantas metro linear. Para todas as coletas foram utilizadas apenas as 4 linhas centrais de cada parcela, sendo as 2 linhas das extremidades consideradas bordaduras.

A variedade de milho utilizada no décimo primeiro ano foi a Dekalb 390, considerado super precoce e de alta produtividade.

Para avaliação de N, a amostragem de solo foi realizada aos 60 d.a.e. (dias após a emergência), sendo coletadas 10 subamostras por parcela (5 na linha de plantio a 5 cm das plantas e 5 nas entrelinhas), nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m.

Também aos 60, 80 e 128 d. a. e. foram coletadas respectivamente, folha diagnose (RAIJ et al., 1997), planta inteira e grãos.

O teor de N-total nas amostras de solo foi determinado conforme o método descrito em Melo (1974), que consiste em oxidar o N-orgânico a N amoniacal pelo ácido sulfúrico em presença de catalisadores e elevadores de temperatura. O N amoniacal



produzido foi determinado por destilação a vapor. Para avaliação do nível crítico de N nas folhas diagnose foi utilizado padrão proposto por MALAVOLTA et al. (1997).

Foi calculada a porcentagem relativa de nitrogênio em camadas sub-superficiais (ou nitrogênio lixiviado) para cada dose, onde considerou-se hipoteticamente o nitrogênio da primeira camada de cada tratamento como 100%, sendo os valores das demais camadas proporcionais a este.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e em parcelas subdivididas para solo, e regressão para folha diagnose, planta inteira e grãos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A dose acumulada de lodo de esgoto que proporcionou maior quantidade de nitrogênio no solo foi a de 167,5 Mg ha<sup>-1</sup>. A maior concentração de nitrogênio se deu na camada mais superficial do solo (0-0,1 m), onde a testemunha e a dose de 55,0 Mg ha<sup>-1</sup> foram semelhantes, assim como as doses 110,0 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> também não diferiram entre si, sendo estas últimas as que apresentaram maior concentração do elemento (Quadro 4). Neste caso, a quantidade de nitrogênio fornecida pelos tratamentos, justifica este efeito.

Quadro 4. Concentração de nitrogênio ao longo do perfil de um solo tratado com lodo de esgoto por onze anos.

Camada do solo (m)	LE*			
	testemunha	55,0 Mg ha <sup>-1</sup>	110,0 Mg ha <sup>-1</sup>	167,5 Mg ha <sup>-1</sup>
	N (g kg <sup>-1</sup> )			
0 – 0,1	0,0632 bA	0,0656 bA	0,0733 aA	0,0777 aA
0,1 – 0,2	0,0225 bB	0,0225 bB	0,0229 bB	0,0290 aB
0,2 – 0,4	0,0163 bC	0,0221 aB	0,0202 abBC	0,0225 aC
0,4 – 0,6	0,0227 abB	0,0225 aB	0,0207 bC	0,0243 aBC
0,6 – 0,8	0,0154 aC	0,0168 aCD	0,0167 aCD	0,0163 aD
0,8 – 1,0	0,0132 aC	0,0136 aC	0,0134 aD	0,0144 aD

\*LE = lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo. Parcelas (doses de lodo de esgoto, CV = 12,67%) e subparcelas (profundidades, CV = 9,55%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para profundidades (na vertical) e de mesma letra minúscula para tratamentos (na horizontal) não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Avaliando-se as profundidades do solo, verifica-se que o nitrogênio apresenta-se com dependência espacial, observando-se maiores teores de nitrogênio na camada superficial (0-0,1 m), em seguida tende a diminuir até a profundidade de 0,2-0,4 m, quando volta a elevar-se na profundidade 0,4-0,6 m apresentando uma concentração semelhante a da profundidade 0,1-0,2 m e superior a 0,2-0,4 m em seguida volta a diminuir (Figura 1). Este efeito não é desejado pelo fato de que a maioria das culturas anuais exploram apenas as primeiras camadas do solo, em geral até 0,4 m de profundidade, sendo assim, todo nitrogênio que se encontra em camadas abaixo desta profundidade não é mais utilizado pelas culturas e, torna-se passível de contaminar os lençóis freáticos. Stintzing & Salomon (2002), que avaliaram diversas doses e fontes de nitrogênio ao longo do perfil do solo, verificaram efeito semelhante a este apenas quando utilizaram uma dose elevada (600 kg ha<sup>-1</sup>) de nitrogênio mineral.

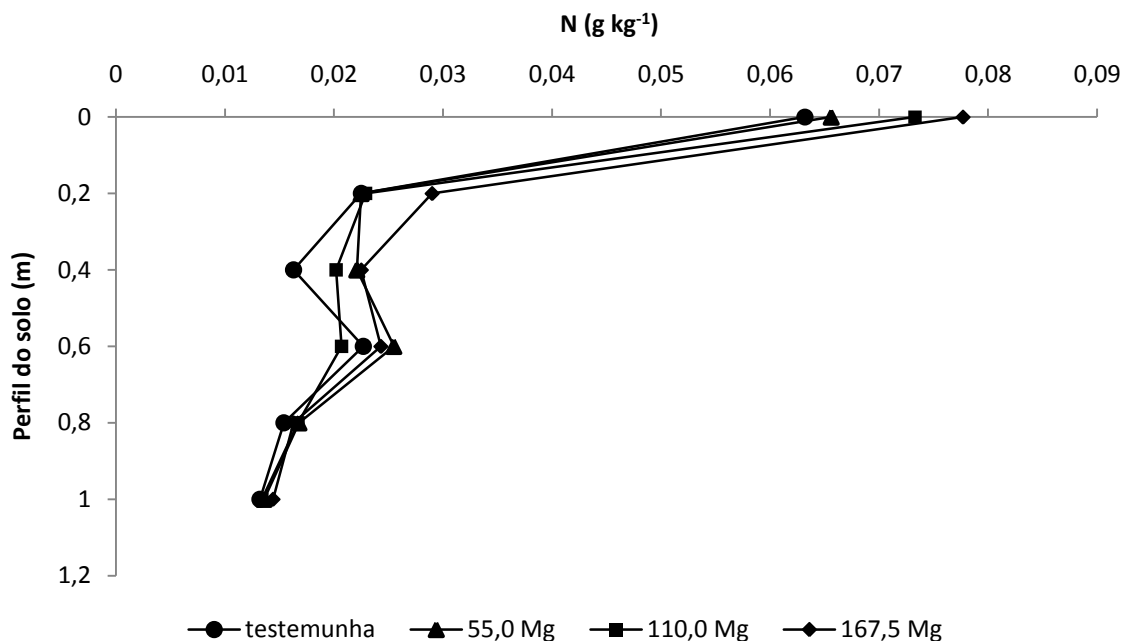


Figura 1. Concentração de nitrogênio dos tratamentos avaliados ao longo do perfil de um solo tratado com lodo de esgoto por onze anos.

Para o efeito da variação em profundidade, vários fatores podem estar influenciando, com destaque para a capacidade de absorção do elemento pela cultura, velocidade de mineralização do nitrogênio, tipo de solo, quantidade e velocidade de infiltração de água no solo.

O Quadro 5 indica a porcentagem de nitrogênio lixiviado em relação à quantidade determinada na primeira camada (0-0,1 m) de cada tratamento. Embora os tratamentos não apresentem diferenças significativas nas duas camadas mais profundas, observa-se que os tratamentos testemunha e 55,0 Mg ha<sup>-1</sup> apresentam maior porcentagem de perda em relação a camada superficial se comparadas aos outros tratamentos.

Também somando os valores das três últimas camadas de cada tratamento, que corresponde à profundidade onde as raízes não mais exploram, verifica-se que a quantidade de perda de nitrogênio dos tratamentos testemunha e 55,0 Mg ha<sup>-1</sup> se

assemelham (81,2 e 85,2% respectivamente) e superam os valores encontrados nos tratamentos 110,0 e 165,7  $\text{Mg ha}^{-1}$ , que também se assemelham (69,3 e 70,8%).

Quadro 4. Porcentagem de nitrogênio das camadas subsuperficiais de cada tratamento em relação à quantidade determinada na primeira camada (0 – 0,1) de um solo tratado com lodo de esgoto por onze anos.

Profundidade	LE* $\text{Mg ha}^{-1}$ .			
(m)	0,0	55,0	110,0	167,5
0-0,1	100	100	100	100
0,1-0,2	35,6	34,3	31,3	37,3
0,2-0,4	25,8	33,7	27,6	29,0
0,4-0,6	35,9	38,9	28,2	31,3
0,6-0,8	24,4	25,6	22,8	21,0
0,8-1,0	20,9	20,7	18,3	18,5

\*LE = lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo.

Neste sentido, podemos atribuir as maiores perdas por nitrogênio a fonte mineral aplicada, uma vez que o tratamento testemunha recebeu apenas este e, no caso das doses de lodo de esgoto, como considerou-se 1/3 do nitrogênio disponível, a menor dose (55,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) necessitou de uma maior suplementação de adubo mineral, o que explica a semelhança nos resultados obtidos em relação a testemunha.

Quanto à avaliação do estado nutricional das plantas de milho, os valores referentes à planta inteira, folha diagnose e grão (Figura 2), não foram influenciadas pelos tratamentos testados, porém, os teores de nitrogênio encontrados na folha diagnose superam a faixa ideal (27,5 a 32,5 g kg) de acordo com MALAVOLTA et al., (1997), indicando além de um consumo de luxo que pode provocar competição com outros nutrientes, também um excesso de nitrogênio disponível que pode ser fonte de contaminação dos lençóis freáticos.

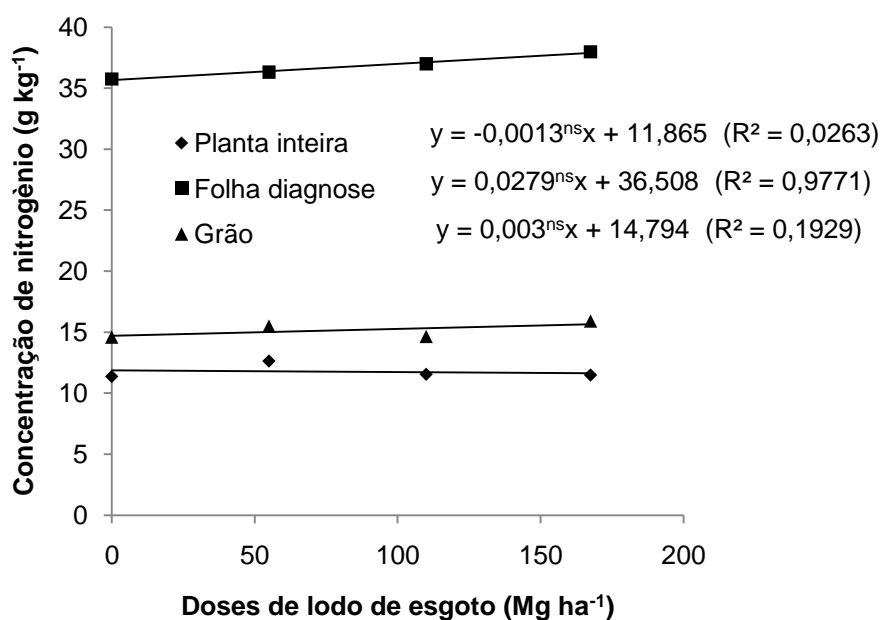


Figura 3. Concentração de nitrogênio na planta inteira, folha diagnose e grão de milho adubados com lodo de esgoto.

O excesso do nitrogênio também provoca aumento no custo de produção. Machado (1997) afirma que 40% dos gastos com a cultura são referentes à adubação nitrogenada. Desta forma a correta utilização de um resíduo pode reduzir os riscos de contaminação ao ambiente e ainda proporcionar maior competitividade de mercado ao produtor.

## CONCLUSÃO

As maiores doses de lodo de esgoto proporcionaram maiores quantidades de nitrogênio no solo.

O nitrogênio do solo, após a profundidade de 0,6 m, não diferiu entre as camadas avaliadas.

Quanto maior a dose de lodo de esgoto, menor a proporção de nitrogênio em profundidade dentro de cada tratamento.

## REFERÊNCIAS

ADDISCTOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching – foreword. **Soil Till. Res.**, v. 53, p. 163-165, 2000.

AMABILE, R.F.; CORREIA, J.R.; FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, P.; GAMALIEL, J. Efeito do manejo de adubos verdes na produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Pesq. Agropec. Bras.**, v.29, p.1193-1199, 1994.

ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G.; BRYE, K.R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. **J. Environ. Quality**, v. 29, p.1095-1103, 2000.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K. & SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 1867-1876, 2000.

BINDER, D.L.; DOBERMANN, A.; SANDER, D.H.; CASSMAN, K.G. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.66, p.531- 543, 2002.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 5 de dez. de 2007.

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

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agron. J.**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

FOSTER S. 1993. **Poluição das águas subterrâneas**: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável. São Paulo, Instituto Geológico, 54 p.

HANSEN, B.; KRISTENSEN, E.S.; GRANT, R.; HØGH-JENSEN, H.; SIMMELSGAARD, S.E.; OLESEN, J.E. Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems – a systems modeling approach. **European J. Agron.**, v.13, p. 65-82, 2000.

HERNÁNDEZ, T.; MORAL, R.; PEREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M.D.; GARCÍA, C. Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. **Bioresource Technology**, v.83, p.213-219, 2002.

MACHADO, A.T. **Perspectiva do melhoramento genético em milho (*Zea mays* L.) visando eficiência na utilização do nitrogênio**. 219 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.

MALAVOLTA, E. Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L.A. adição de superfosfato triplo e a Percolação de nitrogênio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 31, n. 4. Viçosa, p. 887-895p. 2007.



MELO, W.J. **Variação do N-amoniaco e N-nítrico em um Latossolo Roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lablab* L.)**. 104 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1974.

MENGEL, K. Dynamics and availability of major nutrients in soils. In: Stewart, B. A. (ed.). **Adv. soil sci.**, New York: Springer-Verlag, v. 2. p. 65-115. 1996.

MORTENSEN, J.; NIELSEN, K. H.; JØRGENSEN, U. Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. Great Britain, **Biomass and Bioenergy**, v.15, n.6, p. 457-466, 1998.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO. C.R.; MORAES, S.M. lixiviação de nitrato em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Sci. Agric.**, v.58, n.1, p.171-180, 2001.

OTTOMAN, M.J. & POPE, N.V. Nitrogen fertilizer movement in the soils as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:1883-1892, 2000.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 56-59. (Boletim Técnico 100).

RAUN, W.R. & JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agron. J.**, v. 91, p. 357-363, 1999.

SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Rev. Bras. Prod. Agroindustriais**, v. 4, p. 71-78, 2002.

STINTZING, A.R. & SALOMON, E. Application of broiler chicken manure to lettuce and cabbage crops. Effect on yield, plant nutrition utilization and mineral nitrogen in soil. **Acta horticulturae**. n 571. 119-126p. 2002.

## **CAPÍTULO 4 - CROMO, CÁDMIO E CHUMBO EM SOLOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO POR ONZE ANOS CONSECUTIVOS**

**Resumo** - Utilizado com fins agrícolas, o lodo de esgoto proporciona inúmeros benefícios ao solo, porém por nele conter elementos prejudiciais ao meio ambiente, nos remete uma maior atenção quanto à sua utilização. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre o acúmulo de metais pesados (cádmio, crômio e chumbo) no solo, em amostras de planta de milho. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, para safra 2007/08 utilizou-se 4 tratamentos: 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto com 5 repetições cada. Avaliou-se: quantidades disponíveis de Cd, Cr e Pb no solo através dos extratores Melich-1, Melich-3 e DTPA; teores extraídos por plantas de milho e as correlações de disponibilidade no solo com teores nas plantas, folhas diagnose e grãos deste. A aplicação de lodo de esgoto por onze anos consecutivos não apresentou acréscimos para os teores totais e disponíveis dos metais Cd, Cr e Pb no solo. O extrator Melich-1 foi o único que se apresentou eficiente na correlação disponibilidade de Cd, Cr e Pb no solo x plantas de milho. Os extratores Melich-3 e DTPA foram eficientes na correlação disponibilidade de metais no solo x folha diagnose apenas para Pb. Estudos específicos como especiações e extrações seqüenciais de elementos no solo podem melhor explicar estes efeitos.

Palavras-chave: metais pesados, biossólidos, milho.

## **CHROMIUM, CADMIUM AND LEAD IN SOILS TREATED WITH SEWAGE SLUDGE FOR ELEVEN CONSECUTIVE YEARS.**

**Summary** - Used by agricultural purposes, the sewage sludge provides many benefits to soil, but it contains elements harmful to the environment, which refers to an increased focus on its use. The objective was to evaluate the effects of successive applications of sewage sludge on the accumulation of heavy metals (cadmium, chromium and lead) in soil, in plant samples of corn. The experiment was reinstalled in 2007 to designs in randomized blocks 4 treatments (0, 5, 10 and 20 Mg ha<sup>-1</sup> sewage sludge) and 5 replicates. Were evaluated: available quantities of Cd, Cr and Pb in soil by extracting Melich-1, Melich-3 and DTPA; quantities extracted by plants of maize and correlation of this. The application of sewage sludge for eleven consecutive years showed increases of Cr, Cd and Pb below the treatment. The application of sewage sludge did not increase the availability of Cd, Cr and Pb to the plants. The extractor Melich-1 was the only one that showed significant correlation in the availability of Cd, Cr and Pb in soil and in maize plants. The correlation of metal availability in soil x leaf diagnosis was significant only for Pb with the extractants Melich-3 and DTPA.

keywords: heavy metals, biosolids, corn.

## INTRODUÇÃO

Utilizado com fins agrícolas, o lodo de esgoto proveniente do tratamento de águas residuárias, pode proporcionar inúmeros benefícios ao solo: elevação dos valores de pH (Silva et al., 2001), do teor de C orgânico e da CTC (Melo et al., 1994; Oliveira, 2000), redução da acidez potencial (Da Ros et al., 1993; Oliveira et al., 1995), maior retorno econômico em relação à aplicação de fertilizante químico (Dou et al., 1997), melhorias nas propriedades físicas do solo (Jorge et al., 1991), além de representar um benefício de ordem social pela disposição final com menor impacto negativo do resíduo no ambiente.

Embora o uso do lodo de esgoto tenha sido exaustivamente pesquisado em todo o mundo, não havendo registro de nenhum efeito adverso sobre o ambiente, por exemplo, poluição com metais pesados, mesmo quando foi utilizado seguindo qualquer uma das diferentes regulamentações existentes (ANDREOLI & PEGORINI, 2000), o simples fato de nele conter elementos prejudiciais ao meio ambiente, nos remete uma maior atenção quanto à sua utilização. Neste sentido, a presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao seu uso agrícola (NASCIMENTO et al., 2004).

De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que as naturalmente encontradas em solos, daí a necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo (NASCIMENTO et al., 2004).

Os metais pesados de maior preocupação nos lodos de esgoto são: Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) devido à sua ocorrência generalizada, ao potencial de fitotoxicidade e aos danos a animais e humanos (CHANG et al., 1997; LUCCHESI, 1998). Dentre estes metais pesados contidos no lodo de esgoto foram escolhidos para este estudo Cr, Cd e Pb.

O Cr não possui essencialidade comprovada na nutrição das plantas, porém é requerido pelos microrganismos em alguns processos metabólicos específicos (CASTILHO et al., 2001). Sob condições oxidantes, o  $\text{Cr}^{4+}$  pode estar presente no solo

na forma de íon cromato ou cromato ácido. Essas formas são relativamente solúveis, móveis e tóxicas para os organismos vivos, mas na maioria dos solos há predomínio de  $\text{Cr}^{3+}$  (ATSDR, 2000).

O Cd é um contaminante de solo extremamente tóxico para plantas e animais. Assim como outros elementos, a biodisponibilidade nos solos é controlada por sua interação com as fases sólidas e aquosas do sistema (PIERANGELI et al., 2003), está intimamente ligado a matéria orgânica e sua retenção correlaciona-se com o pH, CTC, superfície específica e força iônica (BORGES, 2002).

A contaminação de solos com Pb é um processo cumulativo praticamente irreversível, aumentando assim, os teores desse metal na superfície do solo, indicando disponibilidade de absorção do mesmo pelas raízes das plantas (DUARTE, 2000).

No entanto, o fato do metal pesado estar presente no solo não significa que esteja numa forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo permanecer por longos períodos sem ser absorvido em quantidades tóxicas (SIMONETE & KIEHL, 2002).

Atualmente, a fitodisponibilidade de metais pesados originados de lodo de esgoto ainda é avaliada diretamente pelas concentrações do metal absorvido pela planta. Uma das maneiras práticas para se estimar a quantidade de metal disponível para as plantas é utilizar-se de extratores químicos que se assemelhem ao máximo possível à capacidade de extração da planta a ser cultivada.

O sucesso do monitoramento de metais pesados no solo depende, em parte, de um método químico eficiente para quantificar a fração desses elementos colocada à disposição das plantas (MANTOVANI et al., 2004).

As principais dificuldades na escolha do extrator são a variação de sua eficiência conforme a quantidade e tipo de metal presente no lodo de esgoto, processo de obtenção do resíduo, tipo de solo, presença de outras espécies químicas e espécie vegetal em questão (BERTONCINI, 2002).

Todavia, existem grandes dificuldades para a definição de um extrator multielementar que inclua vários metais pesados e que ao mesmo tempo, seja eficiente para diagnosticar a sua disponibilidade às várias espécies vegetais cultivadas em

diversos tipos de solos. Além disso, em solos contaminados com metais pesados, principalmente quando a contaminação é devido à aplicação de resíduos orgânicos, a possibilidade da absorção desses elementos pelas plantas não se comportar linearmente com as quantidades de metais aplicadas ou presentes nos solos é mais um fenômeno natural a ser simulado por um extrator artificial, o que sem dúvida é outra dificuldade. Dessa forma, fica clara a necessidade de pesquisas nesta área do conhecimento, principalmente nas condições brasileiras (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001).

No país, ainda não existe um procedimento definido pela pesquisa para avaliar a disponibilidade de metais pesados potencialmente tóxicos (ABREU et al., 2001). Entre os extratores universais mais utilizados no diagnóstico da disponibilidade de elementos no solo estão DTPA, Mehlich 1 e Mehlich 3 (Raij, 1994), no entanto, tais estudos são ainda incipientes, e os resultados encontrados na literatura são bastante controversos (BORGES & COUTINHO, 2004a).

Este trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre o acúmulo de metais pesados (cádmio, cromo e chumbo) no solo e em amostras de planta de milho, bem como a eficiência de extratores químicos em estimar a fitodisponibilidade desses elementos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi inicialmente instalado em novembro de 1997 e vem sendo conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Campus de Jaboticabal – SP, localizada a uma altitude de 610 metros e com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W. O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), textura argilosa, A moderado caulinítico (EMBRAPA, 2006), cujas

características químicas (0-0,20 m de profundidade) antes da instalação do 11º ano de experimentação encontram-se no Quadro 1.

Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 4 tratamentos e 5 repetições sendo o tamanho das parcelas de 60 m<sup>2</sup> (6 x 10 m). Os tratamentos inicialmente utilizados foram: testemunha (sem fertilização); 2,5; 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca). A partir do 2º ano, optou-se por adubar o tratamento testemunha de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas em RAIJ & CANTARELLA (1997). A partir do 4º ano, com base nos resultados até então obtidos e, na tentativa de provocar fitotoxicidade, optou-se por transformar a dose 2,5 para 20 Mg ha<sup>-1</sup> de tal modo que as doses acumuladas no 11º ano foram 0, 55, 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto base seca. A concentração dos elementos cromo, cádmio e chumbo dos lodos de esgoto dos primeiros dez anos do experimento encontram-se no Quadro 2.

O milho foi a cultura utilizada até o 6º e a partir do 9º ano agrícola. No 7º e 8º ano utilizou-se o girassol e a crotalária, respectivamente, visando a rotação de cultura, uma vez que produtividade da cultura do milho vinha decrescendo com o tempo em todos os tratamentos.

O lodo de esgoto foi obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SABESP, localizada em Franca, SP. Para a caracterização química do lodo de esgoto (Quadro 3) coletaram-se 6 amostras simples em diferentes pontos da massa do resíduo, as quais foram homogeneizadas e reunidas em uma amostra composta.

O lodo de esgoto, nas parcelas que o receberam, foi aplicado a lanço, em área total, uniformemente distribuído, nas respectivas doses de cada tratamento, com a umidade com que chegou da ETE (73%), sendo incorporado por meio de gradagem leve (cerca de 0,1 m de profundidade). Admitiu-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo estaria disponível para as plantas. Para as doses de lodo de esgoto em que 1/3 do nitrogênio contido não supriam a necessidade da cultura utilizou-se de uma fonte mineral (sulfato de amônio) aplicado em cobertura.



Quadro 1. Caracterização química do LVef (0-0,2 m) antes da instalação do experimento no 11º ano agrícola (2007/2008).

Tratamentos	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Mg ha <sup>-1</sup> LE*	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
0	5,0	27	49	4,5	27	6	38	37,5	75,5	50
55	5,1	27	50	2,8	33	8	34	43,8	77,8	56
110	5,2	30	87	3,0	40	9	34	52,0	86,0	60
167,5	4,7	31	107	1,8	33	7	58	41,8	99,8	42

\*LE= lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo.

As parcelas do tratamento testemunha foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m e a fertilização mineral (NPK) aplicada imediatamente ao lado e abaixo da semeadura, utilizando-se, por hectare, 30 kg de N, 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg de K<sub>2</sub>O, sendo utilizados como fonte desses nutrientes a uréia (45% N), o superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O). Somente o K foi aplicado nas parcelas tratadas com o lodo de esgoto, sendo aplicado 41, 32 e 14 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O nas parcelas que receberam nesta safra as doses de 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, respectivamente.

A cultura foi então semeada e quando as plântulas apresentavam cerca de 0,2 m de altura foi realizado desbaste, deixando-se 5-7 plantas por m linear.

Foram realizadas duas adubações de cobertura, uma aos 28 e outra aos 49 dias após a emergência (d.a.e.). Na primeira cobertura foi aplicado, por hectare, 80 kg de N e 40 kg de K<sub>2</sub>O nos tratamentos testemunha e 5 Mg ha<sup>-1</sup>; 70 kg de N e 40 kg de K<sub>2</sub>O no tratamento 10 Mg ha<sup>-1</sup> e 40 kg de K<sub>2</sub>O no tratamento 20 Mg ha<sup>-1</sup>. Na segunda cobertura foi aplicado, por hectare, 60 e 40 kg de N respectivamente nos tratamentos testemunha e 5 Mg ha<sup>-1</sup>. Todos os valores referentes às adubações estão de acordo com as recomendações contidas em RAIJ & CANTARELLA (1997) para a cultura do milho na produtividade esperada de 12 Mg ha<sup>-1</sup>.

Quadro 2. Concentração de cromo, cádmio, e chumbo nos lodos de esgoto aplicados nos primeiros dez anos do experimento.

	Cr	Cd	Pb
	mg kg <sup>-1</sup>		
1997/98	290	8	152
1998/99	1190	12	371
1999/00	764	8	180
2000/01	699	10	171
2001/02	778	9	155
2002/03	808	11	186
2003/04	736	10	173
2004/05	798	8	169
2005/06	798	8	196
2006/07	434	2	39

Quadro 3. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo primeiro ano de experimentação.

Experimental data											
N		P		K		Ca		Mg		S	
g kg <sup>-1</sup>											
33,42		38,23		1,50		25,20		3,52		5,28	
Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Cr	Cd	Ni	Pb	Ba	Co
mg kg <sup>-1</sup>											
572,55	184100,00	726,99	1028,30	71,65	2,77	284,46	3,27	56,63	77,28	306,55	29,04
						1000*	39*	300*			

\*Concentração máxima permitida de metais pesados no lodo de esgoto para uso agrícola conforme normas do CONAMA (2006).

A amostragem de solo foi realizada aos 60 d. a. e., sendo coletadas 10 subamostras por parcela (5 na linha de plantio a 5 cm das plantas e 5 na entrelinha) que formaram uma amostra composta, nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m. A amostragem de folha diagnose foi realizada segundo método proposto por Raij et al. (1997) aos 60 d. a. e. Para a amostragem de planta inteira foram retiradas 3 plantas por parcela por meio de escavação para preservar as raízes, aos 80 d. a. e. A amostragem

de espigas (para determinar a produtividade) ocorreu aos 128 d.a.e, coletando-se as espigas das plantas de 3 m lineares da linha central de cada parcela. A produtividade de grãos foi expressa em massa, com o teor de umidade corrigido para 13%.

Para determinação dos teores totais de Cr, Cd e Pb nas plantas e no solo foi empregada a metodologia proposta pela USEPA (1996) para a obtenção do extrato, com posterior análise em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando chama de ar-acetileno para o Cd e Pb e, acetileno-óxido nitroso para o Cr. Para teores trocáveis de Cr, Cd e Pb no solo foram utilizados os seguintes extratores: DTPA, conforme método preconizado por Lindsay & Norwell (1978); Mehlich-1, conforme método preconizado por Delfelipo & Ribeiro (1981) e Mehlich-3 conforme método preconizado por Mehlich (1984).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Nos casos em que o teste F foi significativo a 1 ou 5% de probabilidade, aplicou-se a análise de regressão (folhas diagnose, planta inteira e grãos) ou o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o esquema de parcelas subdivididas (metais no perfil do solo), para comparação de médias, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002). Também foram realizadas correlações entre teores disponíveis no solo x teores nas plantas de milho e folha diagnose.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se pelo balanço da concentração dos metais no solo após a aplicação do lodo de esgoto que seus acréscimos são praticamente inexpressivos (Quadro 4), se considerar o tratamento testemunha como referência de acréscimo de metais que anualmente ocorre nos solos em função do intemperismo, nos tratamentos que receberam lodo de esgoto esse valor chega ser negativo, porém, cabe lembrar que a adução química também pode conter estes metais. No caso do Cr na dose de 110 Mg ha<sup>-1</sup> o balanço chega ser negativo mesmo este sendo, dos três metais avaliados, o que se encontra em maior concentração no lodo de esgoto. Cabe lembrar também que os

teores de metais ficaram abaixo do limite máximo permitido pelas Diretrizes da Comunidade Européia ( $\text{Cd} = 1\text{-}3$ ,  $\text{Cr} = 100\text{-}150$  e  $\text{Pb} = 50\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para áreas agrícolas segundo Ferreira et al., (1999).

Quadro 4. Balanço da concentração de metais em solo submetido à 11 anos de aplicação de lodo de esgoto.

	Lodo de Esgoto, $\text{Mg ha}^{-1}$			
	0	55	110	167,5
<b>Cd, <math>\text{mg kg}^{-1}</math></b>				
Antes da aplicação do L.E.	1,16	1,23	1,32	1,45
Após aplicação do L.E.	1,93	1,80	1,74	1,83
Balanço ( $\Delta \text{Cd}$ )	0,77	0,57	0,42	0,38
<b>Cr, <math>\text{mg kg}^{-1}</math></b>				
Concentração no solo antes da aplicação do L.E.	82,81	77,72	105,02	97,92
Concentração no solo após aplicação do L.E.	114,11	101,70	100,79	104,70
Balanço ( $\Delta \text{Cr}$ )	31,30	23,98	-4,23	6,78
<b>Pb, <math>\text{mg kg}^{-1}</math></b>				
Concentração no solo antes da aplicação do L.E.	16,64	16,46	19,50	18,95
Concentração no solo após aplicação do L.E.	29,37	25,91	27,23	28,43
Balanço ( $\Delta \text{Pb}$ )	12,73	9,45	7,73	9,48

\*LE= lodo de esgoto, base seca, em doses acumuladas nos onze anos de aplicação do resíduo.

Este efeito pode ser explicado pelo método utilizado para obtenção dos valores totais dos elementos estudados, que no caso não extrai constituintes estruturais das partículas do solo. Neste caso devido à diferença de cargas elétricas (valência) os metais podem, por exemplo, se ligar a óxidos e sesquióxidos de ferro e/ou alumínio e constituírem uma nova partícula. Vários autores identificaram esse efeito em trabalhos com extração seqüencial (Pires, 2004; Borges & Coutinho, 2004b) e FONTES et al., (2001) em sua revisão de literatura descreve uma série de fenômenos e teorias que explicam estas trocas e complexações de elementos.

Para efeitos de disponibilidade dos metais, este fenômeno é benéfico, uma vez que este tipo de ligação ganha uma estabilidade maior não permitindo que seja absorvido pela cultura e nem se desloque no perfil do solo.

Na avaliação da fitodisponibilidade, o extrator Melich-1, foi o único que se apresentou eficiente para os três elementos quando correlacionado com a absorção total dos metais pelas plantas de milho e, portanto será utilizado como referência para os efeitos de disponibilidade dos metais avaliados no experimento (Quadro 5).

De maneira geral, os elementos avaliados na profundidade de 0-0,1 m (Quadro 7), considerando os três extratores, apresentaram um comportamento de disponibilidade bastante semelhante nos tratamentos testemunha e 55 Mg ha<sup>-1</sup> onde ocorreram as maiores e menores disponibilidade de metais, respectivamente.

Nas doses de 110 e 167,5 Mg ha<sup>-1</sup> foi onde os elementos se comportaram de maneira diferente quanto às suas respectivas disponibilidades, sendo que o Cd, por exemplo, apresentou-se nestes tratamentos em concentração semelhante a testemunha, já o Cr foi semelhante nestes tratamentos porém superior a dose de 55 Mg ha<sup>-1</sup> e inferior à testemunha, enquanto os teores de Pb, não foram influenciados pelos tratamentos que se utilizou lodo de esgoto.

Quadro 5. Correlação – disponibilidade de metais no solo x concentração em plantas de milho e folha diagnose

Elemento	Melich-1	Melich-3	DTPA
Planta Inteira			
Cd	0,7347**	0,579**	0,691 <sup>ns</sup>
Cr	0,7189**	nd	nd
Pb	0,4515*	0,311 <sup>ns</sup>	0,3215 <sup>ns</sup>
Folha Diagnose			
Cd	0,1141 <sup>ns</sup>	0,3689 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>ns</sup>
Cr	nd	nd	Nd
Pb	0,4318 <sup>ns</sup>	0,5683**	0,4695*

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade; \*significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>- não significativo; nd- não detectado (valor abaixo do limite de determinação do método analítico).

Por se tratar de uma solução diluída de ácidos fortes, o Mehlich-1 remove metais em formas trocáveis da fase sólida, da solução e parte dos complexados (Abreu et al., 2002), por isso apresentou disponibilidade maior de metais nos tratamentos 110 e 167,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  do que, por exemplo, no tratamento 55  $\text{Mg ha}^{-1}$  que apresentou maior absorção de Cd e Cr pelas plantas conforme verifica-se nos valores obtidos pelas regressões de absorção (Figura 1).

O extrator Melich-3 também foi eficiente na correlação da disponibilidade no solo x absorção de Cd pelas plantas de milho (Quadro 4), porém, sua capacidade de extração do elemento no solo foi inferior ao extrator Melich-1 e seu grau de significância ficou também abaixo deste. Já o extrator DTPA não apresentou correlação significativa com nenhum dos metais avaliados quanto à absorção por plantas de milho. Revoredo & Melo (2006) avaliando a disponibilidade de níquel em solos tratados com lodo de esgoto também observaram ineficiência do extrator na correlação entre disponibilidade do metal no solo e a absorção por plantas de sorgo. O fato de o DTPA ter sido inicialmente desenvolvido para extrair elementos de solos alcalinos pode justificar os resultados, porém Silva et al. (2006), trabalhando com solos tropicais tratados com lodo de esgoto, verificaram este extrator como o mais eficiente na avaliação da disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn.

Quadro 6. Concentração total de Cd, Cr e Pb no perfil de um LVeF tratado com lodo de esgoto por onze anos consecutivos.

Profundidade (m)	Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> L.E.)				CV	
	0	55	110	167,5	Par.	Subp.
	mg kg <sup>-1</sup>				%	
Cádmio						
0-0,1	2,11 a A	1,99 ab A	1,82 b A	1,97 ab A	6,57	5,47
0,1-0,2	1,74 a B	1,62 a B	1,66 a B	1,69 a B		
0,2-0,4	1,61 a B	1,57 a B	1,60 a B	1,59 a B		
Cromo						
0-0,1	114,53 a A	106,80 a A	108,33 a A	111,47 a A	7,30	6,41
0,1-0,2	113,70 a A	96,60 b B	93,25 b B	97,94 b B		
0,2-0,4	113,84 a A	109,16 ab A	105,88 ab A	101,49 b AB		
Chumbo						
0-0,1	31,20 a A	27,95 b A	29,51 ab A	32,11 a A	7,20	6,51
0,1-0,2	27,55 a B	23,87 b B	24,96 ab B	24,70 ab B		
0,2-0,4	23,98 a C	22,56 a B	23,99 a B	23,48 a B		

L.E.= lodo de esgoto, base seca. Par. = parcelas (L.E.) e Subp. = subparcelas (profundidades). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para profundidades (na vertical) e de mesma letra minúscula para tratamentos (na horizontal) não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A concentração dos metais no solo seja total (Quadro 6) ou disponível (Quadro 7) sempre foi maior no tratamento testemunha ou não diferiu dos demais tratamentos. Isso indica que mesmo após onze anos de aplicação do resíduo no solo os metais nele contidos não atingiram níveis de fitotoxicidade. Mesmo ao longo do perfil avaliado do solo (0-0,4 m) sempre se verificou o tratamento testemunha como superior em relação aos demais quanto à concentração dos metais determinados, indicando que o lodo de esgoto além de não proporcionar acréscimos na disponibilidade de metais também pode complexar os metais fornecidos pelo material de origem do solo. Outro dado relevante que se pode obter avaliando o perfil do solo é quanto a lixiviação dos metais, que através das concentrações observadas é possível concluir que esta não ocorre.

Quadro7. Teores de Cr, Cd e Pb avaliados pelos extratores: Melich-1, Melich-3 e DTPA, em Latossolo tratado com lodo de esgoto.

Profundidade (m)	Melich-1						Melich-3						DTPA					
	Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> L.E.)				CV (%)		Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> L.E.)				CV (%)		Tratamentos (Mg ha <sup>-1</sup> L.E.)				CV (%)	
	0	55	110	167,5	Par.	Subp.	0	55	110	167,5	Par.	Subp.	0	55	110	167,5	Par.	Subp.
Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )																		
0-0,1	0,191 a A	0,112 b A	0,173 a A	0,194 a A			0,124 a A	0,054 c A	0,062 bc A	0,093 ab A			0,049 ab A	0,032 b A	0,045 ab A	0,066 a A		
0,1-0,2	0,165 a A	0,062 b B	0,073 b B	0,083 b B	42,51	30,67	0,061 a B	0,033 a A	0,033 a A	0,043 a B	48,08	36,73	0,052 a A	0,022 b A	0,037 ab A	0,035 ab B	65,56	39,10
0,2-0,4	0,035 a A	0,036 a B	0,024 a C	0,004 a C			0,050 a B	0,039 a A	0,039 a A	0,045 a B			nd	nd	nd	nd		
Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )																		
0-0,1	6,481 a A	1,980 c A	3,122 b A	4,749 b A			nd	nd	nd	nd			nd	nd	nd	nd		
0,1-0,2	5,420 a A	0,955 c AB	1,829 bc B	2,809 b B	48,39	33,02	nd	nd	nd	nd	-	-	nd	nd	nd	nd	-	-
0,2-0,4	0,602 a B	0,351 a B	0,363 a C	0,5242 a C			nd	nd	nd	nd			nd	nd	nd	nd		
Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )																		
0-0,1	1,206 a A	0,651 b A	0,703 b A	0,658 b A			1,226 a A	0,759 b A	0,758 b A	0,877 b A			0,980 a A	0,436 b A	0,565 b A	0,649 b A		
0,1-0,2	0,714 a B	0,402 b B	0,485 ab A	0,410 b B	43,18	33,97	1,051 a A	0,673 b A	0,690 b A	0,799 ab A	32,63	18,49	0,691 a B	0,247 b A	0,349 b B	0,462 ab A	56,73	35,09
0,2-0,4	nd	nd	nd	nd			0,353 a B	0,358 a B	0,385 a B	0,380 a B			nd	nd	nd	nd		

L.E.= lodo de esgoto, base seca. Par. = parcelas (doses L.E.) e Subp. = subparcelas (profundidades). Médias seguidas de mesma letra maiúscula para profundidades (na vertical) e de mesma letra minúscula para tratamentos (na horizontal) não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.



Quanto ao fato do tratamento que recebeu a maior dose do resíduo (167,5  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em alguns casos se assemelhar às concentrações de metais do tratamento testemunha, cabe lembrar que o resíduo utilizado pode fornecer e também complexar os metais nele existentes devido a sua elevada concentração de matéria orgânica.

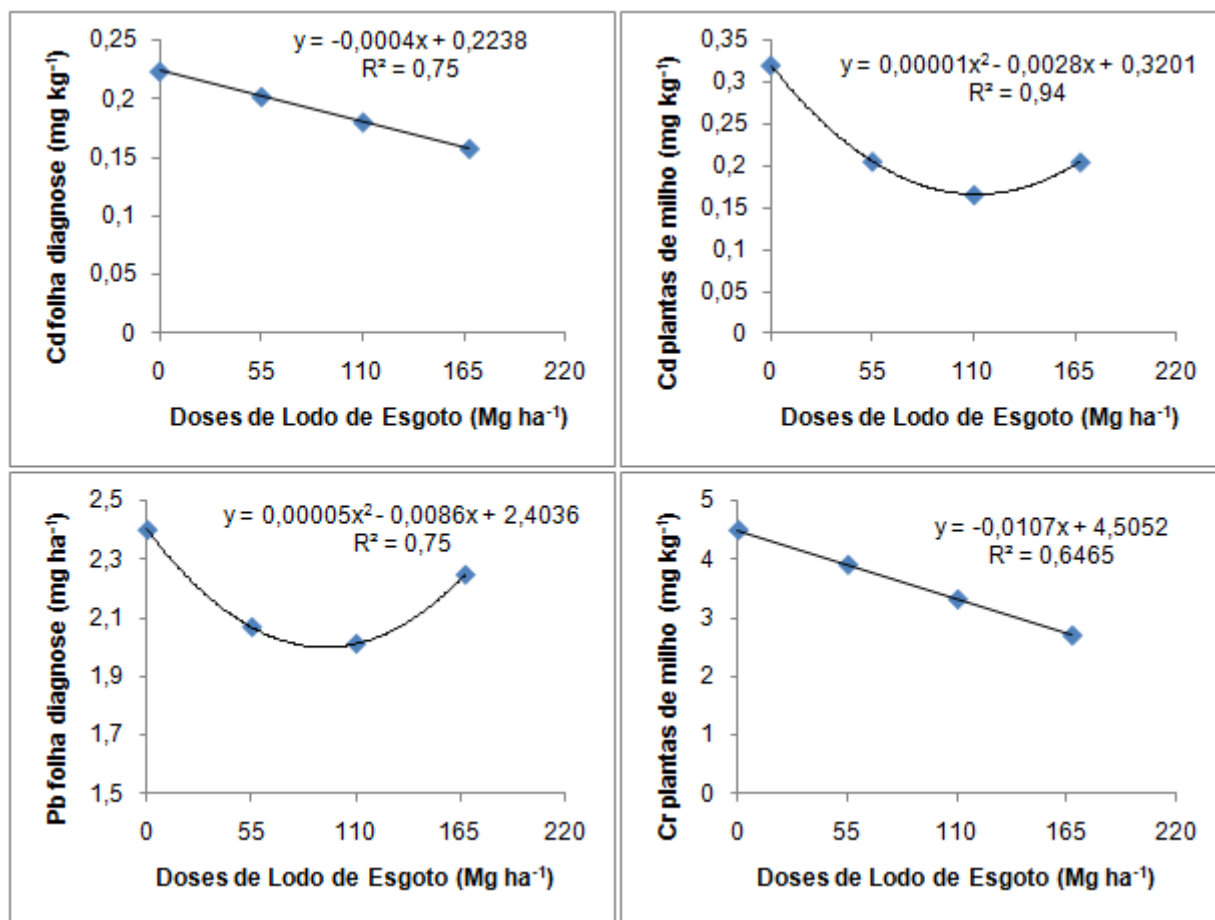


Figura 1. Equação de regressão expressando o efeito de doses de lodo de esgoto na concentração de Cd, Cr e Pb em plantas de milho e folha diagnose.

Para avaliação das correlações entre concentração de metais na folha diagnose e disponibilidade no solo (Quadro 5), foi observado significância apenas para o Pb em somente dois extratores (DTPA e Melich-3). Isso se deve ao fato de que os metais pesados em plantas são pouco móveis, com destaque para o Cr

que ficou abaixo do limite mínimo de determinação do método analítico, sendo sua concentração segundo a literatura compreendida quase que totalmente nas raízes (Who, 1995). Silva et al. (2006) relata que na seleção de métodos químicos para avaliar a fitodisponibilidade de metais pesados, devem ser consideradas as partes da planta a ser amostrada. Neste caso, apenas para avaliação do Cd em folha diagnose é necessário que se disponha de um extrator diferente dos utilizados no experimento, já que ele foi o único elemento encontrado na folha diagnose que não apresentou correlação significativa (disponibilidade e absorção) com nenhum dos extratores testados.

As análises de regressão feitas para folha diagnose e planta inteira (Figura 1) com exceção do Cr na folha diagnose e do Pb na planta inteira que não foram influenciadas pelos tratamentos, apresentaram pico de absorção no tratamento testemunha, para o caso do Cd na folha diagnose e o Cr na planta inteira, estes valores foram decrescendo a medida em que se aumentou a dose de L.E. aplicada. No caso do Pb na folha diagnose e Cd planta inteira ocorreu decréscimo de concentração nas doses 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> e novamente se elevou na dose 20 Mg ha<sup>-1</sup>

O caso do Cr, por exemplo, quando se encontra na forma Cr<sup>3+</sup> apresenta baixa solubilidade e reatividade, resultando em baixa mobilidade e toxicidade (ATSDR, 2000). Kabata-Pendias e Pendias (2001) também relatam que, aproximadamente, 55% do Pb total do solo está na forma residual, 10% ligado à matéria orgânica, 28% associado a óxidos de Fe e Mn, 5% na forma trocável e apenas 2% na forma solúvel.

Já na avaliação da concentração dos metais nos grãos de milho, todos ficaram abaixo do limite mínimo de detecção do método analítico, o que ressalta a baixa translocação dos metais, assim como a eficiência do lodo de esgoto para fins agrícolas.

## **CONCLUSÃO**

A aplicação de lodo de esgoto por onze anos consecutivos não apresentou acréscimos para os teores totais e disponíveis dos metais Cd, Cr e Pb no solo.

O extrator Melich-1 foi o único que se apresentou eficiente na correlação disponibilidade de Cd, Cr e Pb no solo e plantas de milho.

Os extratores Melich-3 e DTPA foram eficientes na correlação disponibilidade de metais no solo e folha diagnose apenas para Pb.

## REFERÊNCIAS

[ASTDR] AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for chromium**. Syracuse: U. S. Departamento f health & Human Services, 2000.

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 Agrônômico, 2001. p.240-250.

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; BERTON, R.S. **Análise química de solo para metais pesados**. Tópicos Ci. Solo, 2:645-628, 2002.

ANDREOLI, C.V. & PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.p.281-312.

BERTONCINI, E.I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 195 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

BORGES, M.R.; & COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – disponibilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 557-568, 2004a.

BORGES, M.R.; & COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 543-555, 2004b.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B.van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.45-71. (Boletim Técnico, 100).

CASTILHO, D.D.; GUADAGNIN, C.A.; SILVA, M.D.; LEITZKE, V.W.; FERREIRA, L.H.; NUNES, M.C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **R. Bras. de Agroc.**, v. 7 p. 121-124, 2001.

CHANG, A. C.; HYUN, H.-nam.; PAGE, A. L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? **J. Environ. Quality**, v. 26 p. 11-19, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 5 de dez. de 2007.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **R. Bras. de Ci. Solo**, v. 17 p. 257-261, 1993.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G.; ALVAREZ, Z.V.H. Eficiência agronômica do lodo de esgoto proveniente de uma siderúrgica. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 15 p. 389-393, 1991.

DOU, H.; ALVA, A. K.; KHAKURAL, B. R. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 61 p.1226-1232, 1997.

DUARTE, R.P.S. & PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energ. na Agricultura**, v. 15 p. 47-58, 2000.

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

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: **PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB**. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro, 1999. p.29-33.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Sci. Agri.**, v. 68, p. 627-646, 2001.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **R. Bras. de Ci. Solo**, v. 15, p. 237-240, 1991.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413 p.

LINDSAY, W. L. & NORWELL, N. A. Development of a DTPA soil text for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 42, p. 421-428, 1978.

LUCCHESI, L.A.C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p. 77-83

MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. **Pesq. agropec. bras.**, v. 39, p. 371-378, 2004.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modifications of Mehlich-2 extractant. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

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

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 385-392, 2004.

OLIVEIRA, F.C. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Sci. Agric.**, v.58, n.3, p. 581-593, 2001.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** 247 f. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Sci. Agríc.**, v. 52, p. 360-367, 1995.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; OLIVEIRA, L.R.; CURI, N.; SILVA, M.L.N. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio na adsorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 38, p. 737-745, 2003.

PIRES, A.C.D. **Interação dos metais  $Zn^{+2}$  e  $Pb^{+2}$  com os constituintes orgânicos e minerais de solos de Curitiba, Pr.** 92 f. Dissertação (mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

RAIJ, B. van. New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 25:799-816, 1994.

RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.45-71. (Boletim Técnico, 100)

REVOREDO, M. D. & MELO, W. J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. **Bragantia.** v. 65, p. 679-685, 2006.

SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; DYNIA, W.B.; MANZATO, C V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodo de esgoto. **R. Bra. Ci. Solo.** v. 30, p. 353-364, 2006.



SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Rev. Bras. Prod. Agroindustriais**. v. 4, p. 71-78, 2002.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, p. 831-840, 2001.

SIMONETE, M. A. & KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. **Sci. Agric.**, 59:555-563, 2002.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -  
USEPA. **Acid digestion of sediments, sludges and soils. Metod 3050b.**  
Washington: EPA, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/3050b.pdf>>. Acessado em: 18/02/2008.

WHO - Human Exposure to Lead. In: **Human Exposure Assessment Series**, WHO, 1995.