

KÊNIA MÁXIMO SILVA

**TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E EM
MAMONEIRA ADUBADA COM LODO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Cândido Alves da Costa

Coorientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio

Montes claros

2013

Silva, Kênia Máximo.

S586t Teores de metais pesados no solo e em mamoneira adubada com lodo
2013 de esgoto/ Kênia Máximo Silva. Montes Claros, MG: Instituto de
Ciências Agrárias/UFMG, 2013.
43 p.: il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal, área de concentração
em Produção Vegetal) Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

Orientadora: Prof. Cândido Alves da Costa.

Banca examinadora: José Tadeu Alves da Silva, Luiz Arnaldo
Fernandes, Regynaldo Arruda Sampaio, Cândido Alves da Costa.

Inclui bibliografia: f: 33-43.

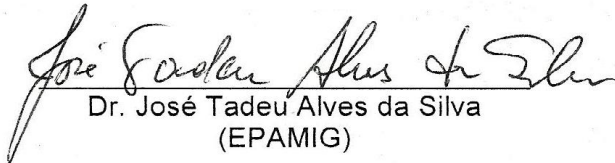
1. Biossólido. 2. Poluição do solo. 3. Mamona I. Costa, Cândido
Alves da. II. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de
Minas Gerais. III. Título.

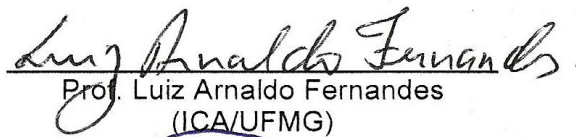
CDU: 631.8

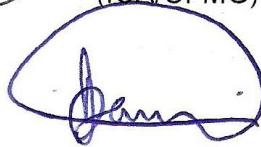
Elaborada pela Biblioteca Comunitária do ICA/UFMG

KÊNIA MÁXIMO SILVA

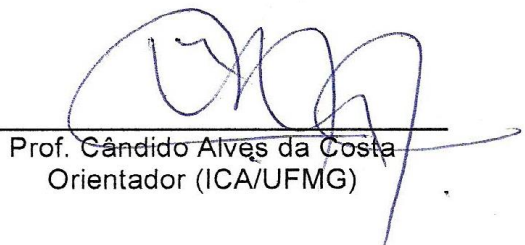
**TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E EM MAMONEIRA ADUBADA
COM LODO DE ESGOTO**


Dr. José Tadeu Alves da Silva
(EPAMIG)


Prof. Luiz Arnaldo Fernandes
(ICA/UFMG)



Prof. Regynaldo Arruda Sampaio
Coorientador (ICA/UFMG)


Prof. Cândido Alves da Costa
Orientador (ICA/UFMG)

Aprovada em 20 de maio de 2013

DEDICO

Aos meus familiares

AGRADECIMENTOS

A Deus pela graça deste mestrado.

Aos meus pais, Cleide e Valci, e ao meu irmão Leonardo, que me incentivaram e apoiaram a estudar.

Ao meu marido, Fabiano, pela ajuda, compreensão, paciência e incentivo nos estudos.

Aos amigos Márcio, Tâmara e Anarelli, pela ajuda nos experimentos.

Aos amigos Nicole e Felipe Coelho pela colaboração em experimentos ao decorrer do mestrado.

Aos professores e funcionários do ICA/UFMG pela atenção e colaboração.

Aos orientadores, Cândido e Regynaldo, pelos ensinamentos e ajuda no decorrer do trabalho.

À CAPES e à FAPEMIG pela bolsa de estudo e apoio financeiro que possibilitaram a realização da pesquisa.

RESUMO

A mamoneira é uma planta resistente às condições adversas de solo e clima, tendo como principal produto o óleo ricinoleico, com potencial para a produção de combustível renovável. Essa espécie, pelas suas características, enquadra-se dentre as consideradas adequadas para adubação com lodo de esgoto. Todavia, embora o lodo de esgoto seja rico em nutrientes e matéria orgânica, pode conter metais pesados em concentrações que podem afetar a saúde de plantas e animais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de contaminação do solo e da planta de mamona com metais pesados com a aplicação de lodo de esgoto, comparando com a adubação química. O experimento consistiu de quatro doses de lodo de esgoto aplicadas no solo (0; 2,63; 5,25 e 10,5 Mg ha⁻¹) mais um tratamento adicional (adubação química), distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições. A aplicação de lodo de esgoto não promoveu elevação dos teores de Cd, Cr, Ba, Se, Hg, Zn, Cu, Pb e Ni no solo e na planta em níveis prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, os teores destes metais no solo e na planta adubada com lodo de esgoto foram semelhantes aos do solo adubado com fertilizantes químicos. Com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, os teores no solo dos metais Zn e Cu aumentaram linearmente. Por outro lado, nas folhas de mamona, o aumento das doses de lodo de esgoto não influenciou os teores de Zn e Cu, embora tenha aumentado o conteúdo de Zn e a exportação deste metal com a colheita.

Palavras-chave: Biossólido. *Ricinus communis* L.. Poluição do solo.

ABSTRACT

The castor bean is a plant resistant to the adverse conditions of soil and climate, with the main product the ricinoleic oil, with potential for the production of renewable fuel. This species by its characteristics, falls among those considered suitable for fertilization with sewage sludge. However, while the sewage sludge is rich in nutrients and organic matter, it may contain heavy metals in concentrations that can affect the health of plants and animals. The aim of this study was to evaluate the risk of contamination of soil and castor plant with heavy metals with the application of sewage sludge, compared with chemical fertilization. The experiment consisted of 4 doses of sewage sludge applied to the soil (0; 2,63; 5,25 e 10,5 Mg ha⁻¹) plus an additional treatment (chemical fertilizer), distributed in a randomized block design with six repetitions. The application of sewage sludge did not promote elevation of the levels of Cd, Cr, Ba, Se, Hg, Zn, Cu, Pb and Ni in the soil and in the plant in harmful levels to the environment. Moreover, the levels of these metals in the soil and in the plant fertilized with sewage sludge were similar to soil fertilized with chemical fertilizers. With the application of increasing doses of sewage sludge, the levels in the soil of metals Zn and Cu increased linearly. On the other hand, the leaves of castor plant, increasing the doses of sewage sludge did not influence the concentrations of Zn and Cu, although it has increased the content of Zn and the exportation of this metal with the harvest.

Keywords: Biossólido. *Ricinus communis* L.. Soil Pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Teores de metais pesados no solo em resposta a adubação com lodo de esgoto.....	26
Figura 2	Conteúdos de metais pesados na folha de referência da mamoneira em resposta a adubação com lodo de esgoto..	31
Figura 3	Teor nos grãos e quantidade de Zn exportadas nos grãos de mamona em função das doses de lodo de esgoto aplicadas	32

LISTA DE TABELAS

1	Tratamentos testados na pesquisa	17
2	Teores de metais pesados nos adubos químicos, no lodo de esgoto e no solo	19
3	Teores de metais pesados no solo em resposta a adubação química e com lodo de esgoto	24
4	Teores de metais de pesados nas folhas de mamoneira em resposta a adubação química e com lodo de esgoto	28
5	Metais pesados em grãos de mamoneira em resposta a adubação química e com lodo de esgoto	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 O cultivo da Mamona e sua importância econômica	11
2.2 O uso agrícola do lodo de esgoto	12
2.3 Risco de contaminação de solos agrícolas com metais pesados	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A mamona se destaca por ser uma planta que se desenvolve em regiões tropicais e semiáridas, abrangendo áreas como o Norte de Minas Gerais. O baixo custo de implantação e de produção dessa oleaginosa, bem como a sua relativa resistência ao estresse hídrico, têm estimulado o seu cultivo em condições adversas de solo e clima, sendo o seu principal produto o óleo ricinoleico, que é matéria-prima para a indústria química. Entretanto, nos últimos anos, com o despertar para energias renováveis, o óleo de mamona adquiriu enorme valor comercial para uso na produção de biocombustível.

A usina de biodiesel da Petrobrás em Montes Claros, por meio de programas de apoio a agricultura familiar, tem incentivado o cultivo de mamona na região. Entretanto, como em qualquer outra atividade agrícola, os custos de adubação representam uma parcela importante das despesas do empreendimento, o que estimula as pesquisas para identificação de fontes alternativas de fertilizantes.

O lodo de esgoto, por outro lado, tem se constituído em grave problema para as estações de tratamento de esgotos, uma vez que não pode ser descartado no ambiente de forma arbitrária. Nesse contexto, há um intenso debate sobre o melhor destino deste resíduo, sendo a agricultura e floresta consideradas a melhor alternativa ambiental para a aplicação do lodo de esgoto, uma vez que, além de ser disposto no compartimento solo, também disponibiliza matéria orgânica para os solos e nutrientes para as plantas.

Todavia, existe uma enorme preocupação com os riscos que o lodo de esgoto pode oferecer aos solos agrícolas, uma vez que pode conter teores elevados de metais pesados, patógenos e substâncias orgânicas tóxicas, requerendo aprofundamento constante dos estudos sobre o seu impacto ambiental quando usado na adubação das culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cultivo da Mamona e sua importância econômica

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta pertencente à família *Euphorbiaceae*, sendo também denominada por carrapateira ou palma-cristi. Acredita-se que seja originária do continente africano, na região da Etiópia (BELTRÃO *et al.*, 2001).

Os frutos da mamoneira são cápsulas do tipo tricoca, com tamanho, coloração, forma e peso variáveis, que podem ou não conter espinhos. Cada capsula possui três lojas, cada uma com um óvulo, que quando fecundado, produz uma semente (MAZZANI, 1983). Quando amadurece, o fruto pode se abrir ou não, o que o caracteriza ser deiscente ou indeiscente (MARTINS *et al.*, 2010).

O óleo é o principal produto da mamoneira, com teor de 35 a 55%, composto principalmente de triglicerídeos (VIEIRA *et al.*, 1997; SANTOS, 2010). Uma característica peculiar do óleo é a sua solubilidade em álcool, o que lhe confere diversas possibilidades de utilização nas indústrias de plástico, fibras sintéticas, tintas e esmaltes, lubrificantes e outras mais (BELTRÃO, 2003). Como subproduto, obtém-se a torta da mamona, considerada ótimo adubo orgânico, rico em nitrogênio, o que colabora na restituição da fertilidade natural do solo e, conseqüentemente, no aumento da produção agrícola (SILVA, 1983).

Os maiores produtores mundiais de mamona são Índia, China, Moçambique e Brasil (FAOSTAT, 2013). No Brasil, a região Nordeste se destaca como grande produtora de mamona em baga, sendo a Bahia o grande produtor, tendo atingido cerca de 20.329 toneladas no ano de 2012 (LSPA, 2013).

A temperatura média ideal para a produção comercial de mamona é de 28°C, sendo que temperaturas superiores a 40°C provocam aborto das flores e redução do teor de óleo nas sementes (Beltrão e Silva, 1999). Além

disso, é uma espécie exigente em umidade do ar acima de 70% e tem seu crescimento ótimo em altitudes entre 300 e 1.500 m, necessitando de precipitação mínima de 700 mm durante seu ciclo de produção. Por não tolerar toxidez por alumínio e solos de baixa fertilidade, é necessário que o pH do solo seja superior a 5,5 e a saturação de bases de 60 a 70%. Além da correção do pH do solo por calagem, deve ser feita complementação com NPK, Ca, Mg e S para melhor produção (FERREIRA *et al.*, 2006).

As cultivares da mamona são classificadas quanto ao porte – anão, médio, alto ou arbóreo – e quanto à deiscência dos frutos – deiscente, semideiscente ou indeiscente. No território nacional existem diversas variedades de mamona como BRS 149 Nordestina, BRS Paraguaçu, BRS Energia, IAC 80, IAC 2028, AL Guarany, entre outras (MARTINS *et al.*, 2010).

2.2 O uso agrícola do lodo de esgoto

No processo de tratamento de águas servidas nas estações de tratamento de esgotos (ETEs) ocorre a formação de um resíduo de composição predominantemente orgânica denominado lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

A composição do lodo de esgoto é variável, dependendo se é de origem domiciliar ou industrial, e do tratamento recebido nas estações de tratamento. Em geral, é um resíduo rico em nitrogênio, fósforo e carbono, e pobre em potássio (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

O lodo das estações de tratamento que recebem apenas efluentes domésticos contém pequenas quantidades de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e das canalizações. Entretanto, além dos níveis naturais, podem ocorrer ligações clandestinas de pequenas fontes de contaminação de metais pesados, tais como: laboratórios fotográficos, fábricas de baterias, tintas e cromagens (FERREIRA *et al.*, 2006).

Os lodos de origem industrial são avaliados tanto em relação aos teores de metais pesados quanto em função de sua origem, para verificação

da presença de substâncias cancerígenas ou persistentes. Além disso, é levada em consideração a presença de patógenos, quer pelos riscos às pessoas que efetuam a sua manipulação, quer pela sobrevivência dos microrganismos patogênicos após sua aplicação e contaminação das partes das culturas que mantêm contato direto com o lodo de esgoto. Entre os patógenos, são particularmente importantes os estreptococos, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., larvas e ovos de helmintos, protozoários (cistos) e vírus (FERREIRA e ANDREOLI, 1999).

As condições sanitárias do lodo de esgoto estão intrinsicamente relacionadas com o perfil de saúde da população (ANDREOLI *et al.*, 1998), sendo que, para a seu tratamento e disposição final, existem diversas alternativas, sendo a mais utilizada a digestão anaeróbia seguida da destinação em aterros sanitários. Outras destinações como: *landfarming*, lagoas de armazenagem, incineração e reciclagem agrícola, também são utilizadas (FERREIRA e ANDREILI, 1999).

A disposição em aterros sanitários pode ocasionar a contaminação dos lençóis freáticos e problemas ambientais, como atração de insetos e pássaros, e eutrofização de águas superficiais, além de ser uma alternativa que requer grandes áreas. A vantagem é que, as áreas destinadas a aterros de lodo de esgoto, depois de inativadas, podem ser utilizadas como áreas de lazer (FERREIRA e ANDREILI, 1999).

A incineração é uma técnica de alto custo e poluição atmosférica, porém torna o resíduo menos volumoso, atóxico ou menos tóxico, sendo recomendado quando o lodo possui altos teores de metais pesados. O sistema de disposição *landfarming* é uma alternativa de baixo custo se bem instalada e monitorada, é inócua ao meio ambiente e de simples execução (TSUTYA, 2000).

No Brasil, os agentes patogênicos normalmente constituem o elemento de limitação ao uso do lodo na agricultura. Porém, é o fator mais facilmente controlado através da adoção de soluções técnicas de

higienização como a calagem ou compostagem (FERREIRA e ANDREILI, 1999).

Em geral, o lodo de esgoto é recomendado para recuperação de solos degradados e na adubação de cultivos agrícolas, como o de milho (GALDOS *et al.*, 2004), sorgo (OLIVEIRA *et al.*, 2005) e mamona (Nascimento, 2009), com bons resultados de produtividade.

A matéria orgânica presente no lodo de esgoto melhora a CTC, a saturação de bases e os teores de nutrientes no solo (BARBOSA *et al.*, 2002; MELO *et al.*, 2000; SILVA *et al.*, 1995). Também, melhora os atributos físicos do solo, aumentando a agregação das partículas e a aeração, e diminuindo a densidade, além de elevar a taxa de infiltração e a capacidade de retenção de água no solo.

Atualmente, os países estão regulamentando técnicas para o uso adequado do lodo de esgoto na agricultura. Nos Estados Unidos, o órgão responsável por determinar os limites de aplicação do lodo é a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), enquanto que, no Brasil, os limites são estabelecidos pela Resolução 375 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006), a qual estabelece as concentrações máximas de Ar; Ba; Cd; Pb; Cu; Cr; Hg; Mo; Ni; Se e Zn de 41; 1.300; 39; 300; 1.500; 1.000; 17; 50; 420; 100 e 2.800 mg kg⁻¹, respectivamente, para aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas.

2.3 Risco de contaminação de solos agrícolas com metais pesados

O termo metais pesados, de acordo com Malavolta (1994), é utilizado para designar metais classificados como poluentes do ar, água, solo e alimento, e que possuem massa específica maior que 5 g cm⁻³ ou número atômico maior que 20. Entre estes metais, destacam-se o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo), o zinco (Zn), o cobalto (Co), o níquel (Ni), o vanádio (V), o alumínio (Al), a prata (Ag), o cádmio (Cd), o cromo (Cr), o mercúrio (Hg) e o chumbo (Pb).

Ainda de acordo com esse autor, metais como o cobalto, o cobre, o ferro, o manganês, o molibdênio e o zinco são micronutrientes utilizados no metabolismo das plantas, seja no controle hormonal (Co), fixação de N₂ (Cu), síntese de clorofila e proteínas (Fe), síntese de RNA (Mn), absorção e transporte de ferro (Mo), e metabolismo de fenóis e parede do xilema (Zn).

Os metais pesados são observados em maiores quantidades nas áreas urbanas, devido ao maior impacto das atividades antrópicas. Este fato é corroborado por Pierzynski *et al.* (2005), que verificaram redução das concentrações de Ni, Cu e Pb no solo em áreas de florestas nos EUA, à medida que os pontos de avaliação eram mais afastados do centro urbano.

Segundo Santi e Sevá Filho (2004) e Milanez (2007), a queima de carvão mineral e petróleo, utilizados como fontes de energia para as indústrias, promove a liberação de diversos metais como Hg, Pb, Cr, Zn, Tl, Ni, V e Cd, em forma de vapor ou adsorvido ao material particulado emitido na atmosfera, sendo assim a principal fonte de contaminação dos solos.

Os insumos agrícolas, como os calcários, fertilizantes minerais e orgânicos, aparecem como as principais fontes de entrada de metais no solo em áreas rurais, sendo que, os fosfatos naturais são as principais fontes de introdução de Cd no solo ocasionado por atividades antrópicas (ALLOWAY, 1990; GUILHERME *et al.*, 2005; MENDES *et al.*, 2006; GONÇALVES *et al.*, 2008; FREITAS *et al.*, 2009).

Os metais pesados presentes no lodo de esgoto podem afetar as culturas agrícolas (Stevens *et al.*, 2003). Entretanto, pesquisas vêm confirmando o potencial fertilizante do lodo de esgoto como fertilizante e indicando que sua utilização não eleva os teores de metais pesados nos produtos finais (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001; NASCIMENTO *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2006; RANGEL *et al.*, 2004).

Os metais mais comuns em lodo de esgoto são o Pb, o Ni, o Cd, o Cr, o Cu e o Zn. Contudo, as concentrações desses metais dependem de fatores como: origem do lodo de esgoto, processo de tratamento do esgoto, processo de tratamento do lodo e das propriedades do solo, como: pH,

matéria orgânica, textura e capacidade de troca catiônica (BORGES; COUTINHO, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Kidd *et al.* (2007) não observaram diferenças nas concentrações de Co, Cr, Mn, Ni e Pb nos solos tratados com lodo de esgoto e sem este resíduo. Os autores constataram aumento das concentrações de Cu e Zn nas parcelas com lodo de esgoto, porém sem atingir níveis considerados de risco. Também, constataram baixo transporte de metais pesados para as partes aéreas das plantas e que o maior risco do uso do lodo de esgoto está na lixiviação de metais pesados e não na inserção destes na cadeia alimentar via absorção vegetal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com mamona (*Ricinus communis* L.) variedade BRS Energia no período de abril a setembro de 2012 no Instituto de Ciências agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado em Montes Claros - MG, latitude 16°51'38"S e longitude 44°55'00"W, em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com as seguintes características químicas e físicas, conforme metodologias preconizadas pela EMBRAPA (1997), na camada de 0-20 cm: pH em água = 6,2; Matéria Orgânica = 5,58 dag kg⁻¹; Areia = 44,00 dag kg⁻¹; Silte = 18,00 dag kg⁻¹; e Argila = 38,00 dag kg⁻¹.

Os tratamentos corresponderam a quatro doses de lodo de esgoto e um tratamento adicional, conforme descritos na tabela 1, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições.

Tabela 1. Tratamentos testados na pesquisa

Tratamentos	
T1:	Adução química: 90,9 kg ha ⁻¹ de ureia + 51,72 kg ha ⁻¹ de KCl + 500 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples + 25 kg ha ⁻¹ de Sulfato de Zinco;
T2:	0,00 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto (0% do N disponível) + 150 kg ha ⁻¹ de Sulfato duplo de K e Mg + 500 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples;
T3:	2,63 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto (50% do N disponível) + 150 kg ha ⁻¹ de Sulfato duplo de K e Mg + 500 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples;
T4:	5,25 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto (100% do N disponível) + 150 kg ha ⁻¹ de Sulfato duplo de K e Mg + 500 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples;
T5:	10,50 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto (200% do N disponível) + 150 kg ha ⁻¹ de Sulfato duplo de K e Mg + 500 kg ha ⁻¹ de Superfosfato simples.

O tratamento químico correspondeu a aplicação de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 30 kg ha^{-1} de K_2O e 5 kg ha^{-1} de Zn, no plantio, e 40 kg ha^{-1} de N e, 40 dias após a emergência das plantas, de acordo com as Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As fontes utilizadas para N, P e K foram, respectivamente, ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Por outro lado, a dose de lodo de esgoto foi baseada no teor de nitrogênio disponível ($7,62 \text{ kg Mg}^{-1}$), calculado de acordo com metodologias e fórmulas descritas na Resolução CONAMA 375, de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), assim definido: Nitrogênio Kjeldahl = $29,1 \text{ g kg}^{-1}$, nitrogênio amoniacal = $2,18 \text{ g kg}^{-1}$, e nitrato + nitrito = $50,6 \text{ mg kg}^{-1}$, e fator de mineralização (FM) = 30%, sendo que, as metodologias de extração e determinação das formas de nitrogênio no lodo de esgoto, seguiram os procedimentos descritos por Abreu *et al.* (2006). Considerando a demanda de adubação nitrogenada de 40 kg ha^{-1} de N, a dose recomendada para atender 100% da necessidade da planta foi de $5,25 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponde ao tratamento T4 da tabela 1. O lodo de esgoto foi aplicado na área experimental em dose única incorporada em sulcos de plantio. Tanto nos tratamentos que receberam lodo de esgoto quanto na testemunha não adubada, foi feita adubação com 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples, e de 30 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de sulfato duplo de potássio e magnésio.

As composições químicas dos adubos químicos, do lodo de esgoto e do solo, antes da adubação e cultivo, encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Teores de metais pesados nos adubos químicos, no lodo de esgoto e no solo.

Matriz ¹	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn	Ba	Se	Hg
	----- mg kg ⁻¹ -----								
Sulfato de zinco	nd	nd	nd	nd	< 9,52	2x10 ⁵	nd	nd	nd
Superfosfato Simples	nd	nd	15,10	< 11,90	7,32	39,80	nd	nd	nd
Sulfato duplo de K e Mg	nd	nd	< 9,52	nd	nd	1,91	nd	nd	nd
KCl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ureia	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Solo	nd	nd	9,02	15,56	11,95	27,2	nd	nd	nd
Lodo de esgoto	nd	< 23,8	128,55	nd	< 9,52	473,00	nd	nd	nd

nd = Elemento não detectado.

O lodo de esgoto foi obtido junto a Estação de Tratamento de Esgoto de Montes Claros – MG. O lodo líquido é descartado de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente - RAFA, com teor de sólidos de 3%, sendo desidratado em centrifuga, atingindo concentração de 25% de sólidos. Em seguida é transportado para um Secador Térmico, onde é submetido a temperaturas de 350°C, num período de 30 minutos, convertendo-se em material granular esterilizado (pellets), ou lodo Classe A.

O semeio da mamona foi feito em sulcos colocando-se três sementes por cova a uma distância de 0,6 m entre plantas e 1 m entre fileira. Aos 15 dias após semeadura foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova. Cada unidade experimental foi composta por 24 plantas, sendo 8 na parcela útil. Aos 30 e 60 dias após a emergência foi feita capina manual.

A amostragem de solos foi feita na profundidade de 0 – 10 cm, entre plantas, no sulco de plantio, aos 30 dias após a incorporação do lodo de esgoto, tendo sido coletadas 6 amostras simples de solos e formada uma única amostra composta por parcela. Por outro lado, a amostra foliar foi

¹ Metodologias de extração e determinação descritas para solo e lodo de esgoto em Abreu *et al.* (2006) e, para fertilizantes, em Brasil (1983).

obtida somente no início do florescimento da mamona, coletando-se o limbo da quarta folha, contada a partir do ápice, nas 8 plantas da parcela útil de cada unidade experimental.

As análises de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni), zinco (Zn), bário (Ba), selênio (Se) e mercúrio (Hg) no solo e na planta seguiram os procedimentos descritos em Abreu *et al.* (2006), sendo as determinações feitas em espectrofotômetro de absorção atômica da marca Varian (AA240FS) e as soluções padrão de cada metal obtido da Sigma-Aldrich (St. Louis, USA), todas preparadas em água ultra pura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos que foram adubados com doses de lodo de esgoto foram comparadas com a média do tratamento que recebeu adubação química, a 5% de probabilidade de erro, pelo teste Dunnett. Por outro lado, as médias referentes às doses de lodo de esgoto foram ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os metais pesados Cd, Cr, Ba, Se e Hg não foram detectados no lodo de esgoto pelos métodos de análises utilizados (Tabela 2), contudo, constatou a presença de Zn, Cu, Pb e Ni. Entretanto, os teores desses metais apresentaram-se dentro da faixa permitida pela resolução CONAMA 375 (Brasil, 2006), que define a concentração máxima permitida de 2.800; 1.500; 300 e 420 mg kg⁻¹ para Zn, Cu, Pb e Ni, respectivamente. Com a maior dose de lodo de esgoto aplicada (10,5 Mg ha⁻¹), houve um aporte de Zn, Cu, Pb e Ni de 4,97; 1,35; 0,25 e 0,10 kg ha⁻¹, respectivamente. Considerando esse aporte anual, o elemento que primeiro limitaria a aplicação desse resíduo ao solo seria o Zn, cuja carga acumulada teórica permitida de metais pesados no solo pela aplicação de lodo de esgoto (BRASIL, 2006) seria atingida em cerca de 90 anos. A carga teórica máxima de Cu, Pb e Ni seria atingida, respectivamente, com 101, 164, e 740 aplicações anuais.

O lodo de esgoto quando é de origem predominantemente doméstica tende a apresentar baixos teores de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Se, Cr e Hg. Contudo, quando há contribuição de efluentes industriais, estes teores tendem a se elevar (MELO *et al.*, 2004). Tal fato ocorre em razão do Pb e Zn serem provenientes de indústrias de galvanoplastia e da combustão de combustíveis fósseis, sendo que o Pb pode vir também das indústrias de papel, plástico e cerâmica, e o Zn de produtos metálicos e da fabricação de pneus. O Ni, por outro lado, é muito utilizado por indústrias na proteção de peças metálicas e na construção civil (MARTINEZ, 2010), enquanto os óleos lubrificantes, as gorduras, as tintas, os freios, os óleos de motores, as peças de veículos, os inseticidas, os materiais galvanizados, o óleo diesel, o pavimento asfáltico, as baterias e pilhas, as lâmpadas fluorescentes, os aramados e fundições constituem fontes importantes de Pb, Zn, Cu, Cd, Cr e Ni (MARTINEZ, 2010; ARAÚJO, 2010).

Convém destacar que os teores de metais pesados no lodo de esgoto, além de variarem em função da proveniência doméstica e, ou,

industrial, variam entre estações de tratamentos de esgoto, sendo que, dentro da própria estação, ocorre variação em relação à época da coleta. Pelos níveis de metais pesados observados no lodo de esgoto da ETE Montes Claros – MG (Tabela 2), fica evidente que há pouca contribuição de contaminantes de origem industrial, uma vez que os valores foram muito baixos comparados ao lodo de esgoto de municípios mais industrializados, como o de Barueri – SP, cujos valores no período de 1997 a 2006 variaram de 1.745 a 3.810 mg kg⁻¹ para Zn, de 551 a 998 mg kg⁻¹ para Cu, de 231 a 595 mg kg⁻¹ para Ni, de 152 a 371 mg kg⁻¹ para Pb, de 290 a 1.190 mg kg⁻¹ para Cr e de 8 a 12 mg kg⁻¹ para Cd (NOGUEIRA *et al.*, 2008).

Nos fertilizantes, os metais pesados detectados foram o Cu, Cr, Ni e Zn, conforme apresentado na tabela 2. Todavia, os valores foram baixos e dentro dos níveis permitidos, conforme a legislação brasileira (MAPA, 2006). Rodella *et al.* (2000) afirmam que as rochas fosfatadas contêm metais pesados, mas que a maior preocupação é com os fertilizantes minerais tradicionais e fontes alternativas, como o lodo de esgoto. Destaca que o superfosfato simples pode conter 44 mg kg⁻¹ de Ni, 2,5 mg kg⁻¹ de Cd, 26 mg kg⁻¹ de Cr e 92 mg kg⁻¹ de Pb, enquanto o formulado NPK pode conter 30 mg kg⁻¹ de Ni; 11 mg kg⁻¹ de Cd; 19 mg kg⁻¹ de Cr e 169 mg kg⁻¹ de Pb.

Apesar de o lodo de esgoto ser fonte de metais pesados para os solos, como constatados por diversos autores (NOGUEIRA *et al.*, 2013; CHIBA *et al.*, 2008), os metais pesados Cd, Pb, Ba, Se e Hg não foram detectados no solo neste experimento. Portanto, não era esperada a influência do lodo de esgoto sobre os teores desses metais, uma vez que, com exceção do Pb, esses elementos não estavam presentes no lodo de esgoto aplicado (Tabela 2). O aumento de metais pesados no solo geralmente está associado à aplicação de lodo de esgoto com elevados teores de metais pesados, aplicação de doses elevadas ou aplicações repetidas (SINGH & AGRAWALL, 2007, CHIBA *et al.*, 2008; BRAMRYD *et al.*, 2013; NOGUEIRA *et al.*, 2013).

Os metais Zn, Cu, Cr e Ni foram detectados no solo e seus teores são apresentados na Tabela 3. Observa-se que não houve diferença estatística entre a adubação química e cada dose de lodo de esgoto para os metais Cr e Ni, uma vez que os adubos químicos e o lodo de esgoto apresentaram teores muito baixos destes elementos. Todavia, para o Zn, a maior dose de lodo de esgoto aplicada ($10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) proporcionou o mesmo teor no solo observado para a adubação química. Tal fato ocorreu em razão da quantidade de Zn aplicada no tratamento que recebeu a maior dose de lodo de esgoto ($4,99 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, sendo $4,97 \text{ kg ha}^{-1}$ via lodo de esgoto e $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ via superfosfato simples) ser praticamente igual a aplicada na adubação química ($5,02 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, sendo 5 kg ha^{-1} via sulfato de zinco e $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ via superfosfato simples). Nas doses de $2,63$ e $5,25 \text{ t ha}^{-1}$ de lodo de esgoto as quantidades de Zn aplicadas foram menores, sendo da ordem de $1,26$ e $2,48 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, proporcionando teores de Zn no solo inferiores a adubação química.

Tabela 3. Teores de metais pesados no solo em resposta à adubação química e com lodo de esgoto

Tratamentos	Zn	Cu	Cr	Ni
	----- mg dm ⁻³ -----			
T1	55,88 A	9,41 A	15,56 A	11,95 A
T2	28,68 B	9,04 A	16,41 A	11,92 A
T3	32,22 B	10,05 A	17,49 A	12,44 A
T4	38,35 B	10,51 A	15,76 A	12,00 A
T5	55,94 A	13,49 B	19,14 A	12,57 A
Limite ²	2.800	1.500	100	420
CV (%)	16,44	12,99	16,52	8,32

T1 = Adubação química; T2, T3, T4 e T5 = 0,00; 2,63; 5,25 e 10,50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Para cada elemento químico, média contendo a mesma letra do tratamento adubação química (T1) na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

² Adaptado de USEPA (1999), considerando a densidade do solo igual a 1 g cm⁻³ e 20 cm de profundidade, e de Melo *et al.* (2010).

Com relação ao Cu (Tabela 3), quando comparada à adubação química a cada dose de lodo de esgoto aplicada, a única diferença observada foi para a dose de 10,5 t ha⁻¹, que proporcionou maior teor do elemento no solo, cerca de 1,35 kg ha⁻¹, em contrapartida a adubação química que adicionou ao solo somente 7,55 g ha⁻¹. Para as doses de lodo de esgoto intermediárias (2,63 e 5,25 Mg ha⁻¹), as quantidades adicionadas de Cu foram 345,64 e 674,89 g ha⁻¹, respectivamente. Contudo, o aporte deste elemento foi muito pequeno, não produzindo nenhum efeito sobre o solo.

O incremento das doses de lodo de esgoto não influenciou os teores de Ni e Cr no solo, uma vez que o resíduo não continha estes elementos ou os teores eram muito baixos. Contudo, houve aumentos lineares dos teores de Zn e Cu no solo, considerando que os teores destes elementos no lodo foram os mais elevados, comparados aos demais. Os teores de Zn e Cu aumentaram em 95 e 50%, respectivamente, com a aplicação da dose de 10,52 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, como pode ser observado na Figura 1. De acordo com Haynes *et al.* (2009), o lodo de esgoto de origem doméstica pode conter elevadas concentrações de Zn, uma vez que esse elemento é componente de cremes para a pele, pomadas, maquiagens, desodorantes, talcos, loções pós-barba etc., o que pode contribuir para o aumento dos teores do elemento nos solos.

A influência positiva da aplicação de lodo de esgoto no incremento de Zn e Cu no solo, importantes para a nutrição das plantas, também foi destacada por Zuba *et al.* (2011) e Nogueira *et al.* (2013). Araújo e Nascimento (2005) relataram que, em Argissolo Amarelo Distrófico e Latossolo Amarelo Coeso, adubados com doses de lodo de esgoto de 0; 40,5; 81; 162 e 243 Mg ha⁻¹, a aplicação do lodo de esgoto promoveu aumentos lineares dos teores de Zn no solo. Também, Chiaradia *et al.* (2009), estudando a aplicação de doses de lodo de esgoto de 0; 5; 10 e 20 Mg ha⁻¹ na cultura da mamona, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, constataram aumentos lineares nos teores de Zn e Cu no solo, considerando

o lodo de esgoto como uma fonte importante destes elementos para as plantas.

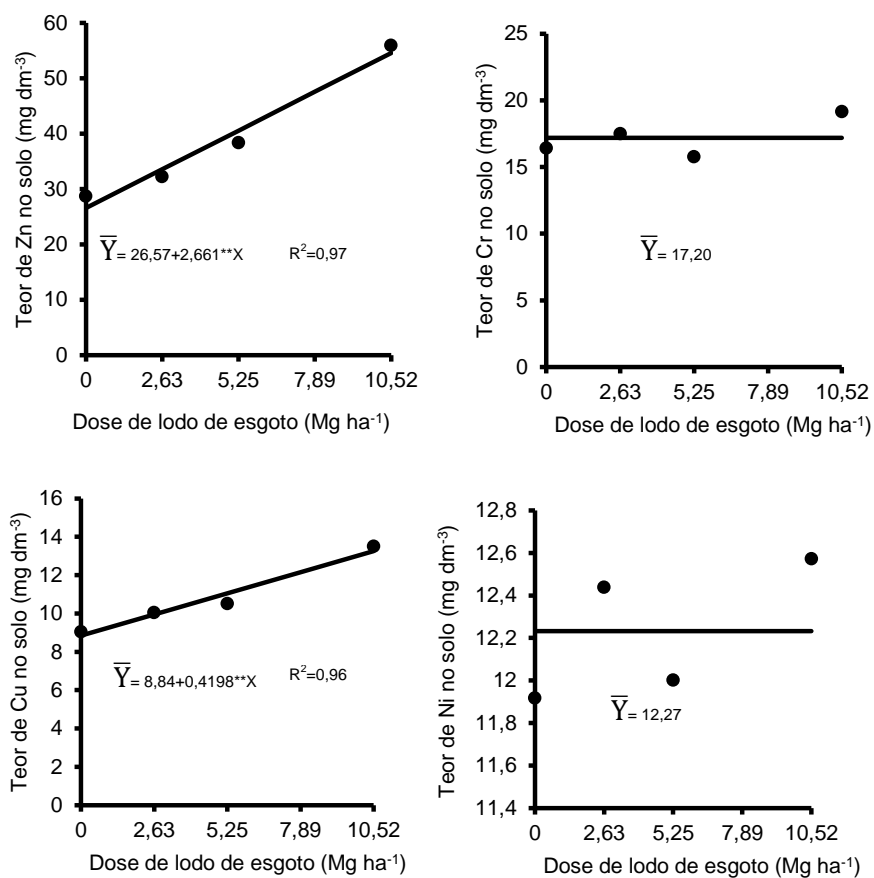


Figura 1. Teores de metais pesados no solo em resposta à adubação com lodo de esgoto.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Uma vez que o lodo de esgoto utilizado nesta pesquisa apresentava baixos teores de metais pesados (Tabela 2), os teores destes elementos no solo ficaram dentro dos limites máximos permitidos, conforme USEPA (1999) e Melo *et al.* (2010) (Tabela 3). Todavia, existem relatos na literatura de contaminação de solos com outros metais mais nocivos ao ambiente, como evidencia Marques *et al.* (2006), os quais verificaram em Argissolo Vermelho, textura média, que a aplicação de doses de lodo de esgoto de 0; 10; 20 e 40 Mg ha⁻¹ da ETE de Suzano - SP, aumentou as concentrações de Cr, Ni e Pb no solo sob cultivo de cana-de-açúcar, sendo, a dose de 40 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto a que promoveu as maiores concentrações destes metais no solo.

Apenas o Zn e o Cu foram detectados na folha de mamoneira (Tabela 4), não havendo diferença nos teores destes elementos entre a adubação química e cada uma das doses de lodo de esgoto aplicadas, incluindo a dose sem aplicação de lodo de esgoto. Vale ressaltar que os teores desses elementos na folha de mamona encontram-se dentro da faixa considerada adequada por Oliveira (2004), que é de 15-40 e de 4-10 mg kg⁻¹ para Zn e Cu, respectivamente. Além disso, o incremento de doses de lodo de esgoto não influenciou os teores destes elementos na folha (Figura 2), o que pode estar relacionado ao efeito de diluição, em razão do maior crescimento da planta, uma vez que a aplicação deste resíduo promoveu incrementos dos teores de Zn e Cu no solo (Figura 1).

Tabela 4. Teores de metais pesados na folha de mamoneira em resposta à adubação química e com lodo de esgoto

Tratamentos	Zn	Cu
	----- mg kg ⁻¹ -----	
T1	35,60 A	6,54 A
T2	36,97 A	5,92 A
T3	36,93A	6,27 A
T4	35,40 A	4,51 A
T5	37,73 A	5,06 A
FA ³	15 - 40	4 -10
CV (%)	6,63	20,88

T1 = Adubação química; T2, T3, T4 e T5 = 0,00; 2,63; 5,25 e 10,50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Para cada elemento químico, média contendo a mesma letra do tratamento adubação química (T1) na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

O efeito diluição do Zn fica evidente quando se calcula o conteúdo deste elemento na folha de referência (Figura 2), onde se observa que o incremento do lodo de esgoto promoveu aumento linear da quantidade do elemento na folha. Neste sentido, Backes *et al.* (2009) verificaram que o aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas em Latossolo Vermelho Distrófico proporcionou elevação do teor de Zn na parte aérea da mamoneira, sendo as maiores concentrações na planta obtidas com doses de lodo de esgoto a partir de 22 Mg ha⁻¹. Também, Zuba Junio *et al.* (2011) verificaram em Cambissolo Háplico aumento linear dos teores de Zn nas folhas de milho com o incremento de doses de composto de lodo de esgoto, atingindo concentrações de 32,38 mg kg⁻¹ com a aplicação de 75 Mg ha⁻¹ do composto.

O conteúdo de Cu, por outro lado, não foi influenciado pelas doses de lodo de esgoto aplicadas (Figura 2), o que pode ser reflexo da baixa concentração do elemento no lodo de esgoto. Considerando um solo com

³ Faixa considerada adequada do ponto de vista nutricional da planta, conforme Oliveira (2004).

baixos teores de Cu, Galvão (2004) recomenda a aplicação de 2 kg ha^{-1} de Cu. Sendo que, o aporte de Cu com a maior dose de lodo de esgoto aplicada nesse experimento foi de $1,35 \text{ kg ha}^{-1}$, além disso, deve-se considerar ainda que o lodo de esgoto é um adubo orgânico e apenas parte do Cu aplicado estará prontamente disponível para ser absorvido pela planta.

No grão de mamona, apenas o Zn foi detectado, sendo que a sua concentração foi à mesma quando comparada cada dose de lodo de esgoto a adubação química (Tabela 5). Entretanto, quando calculada a quantidade de Zn exportada pelos grãos, constata-se que o tratamento sem adubação foi o único a exportar quantidade de Zn inferior a da adubação química.

O incremento das doses de lodo de esgoto não aumentou a concentração de Zn no grão (Figura 3). Este fato corrobora os resultados de Souto (2007), que não constataram aumento nos teores de Zn em grãos de mamoneira adubadas com lodo de esgoto em Nitossolo Vermelho Eutrófico. Todavia, quando calculada a quantidade exportada deste elemento pelas plantas, observa-se aumento com as doses de lodo aplicadas, sendo que com a aplicação $7,43 \text{ Mg ha}^{-1}$, obteve-se a máxima quantidade de Zn exportada pelos grãos, cerca de $131,75 \text{ g ha}^{-1}$. Este valor corresponde a apenas 3,75% da quantidade de Zn adicionada ao solo com essa dose de lodo de esgoto, o que significa que o restante do elemento permanece nos restos culturais e no solo, podendo ser disponibilizados para o cultivo seguinte. Caso seja considerada a dose de $5,25 \text{ Mg ha}^{-1}$, que é a dose aplicada conforme a Resolução Conama 375 (BRASIL, 2006), a quantidade exportada seria em torno de 5,16%.

Tabela 5. Metais pesados em grãos de mamoneira em resposta a adubação química e com lodo de esgoto.

Tratamentos	Zn	Zn acumulado
	----- mg kg ⁻¹ -----	----- mg ha ⁻¹ -----
T1	42,98 A	126,97 A
T2	39,97 A	91,30 B
T3	41,01 A	112,66 A
T4	41,96A	129,65 A
T5	41,85 A	124,45 A
CV (%)	9,32	12,58

T1 = Adubação química; T2, T3, T4 e T5 = 0,00; 2,63; 5,25 e 10,50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Para cada elemento químico, média contendo a mesma letra do tratamento adubação química (T1) na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

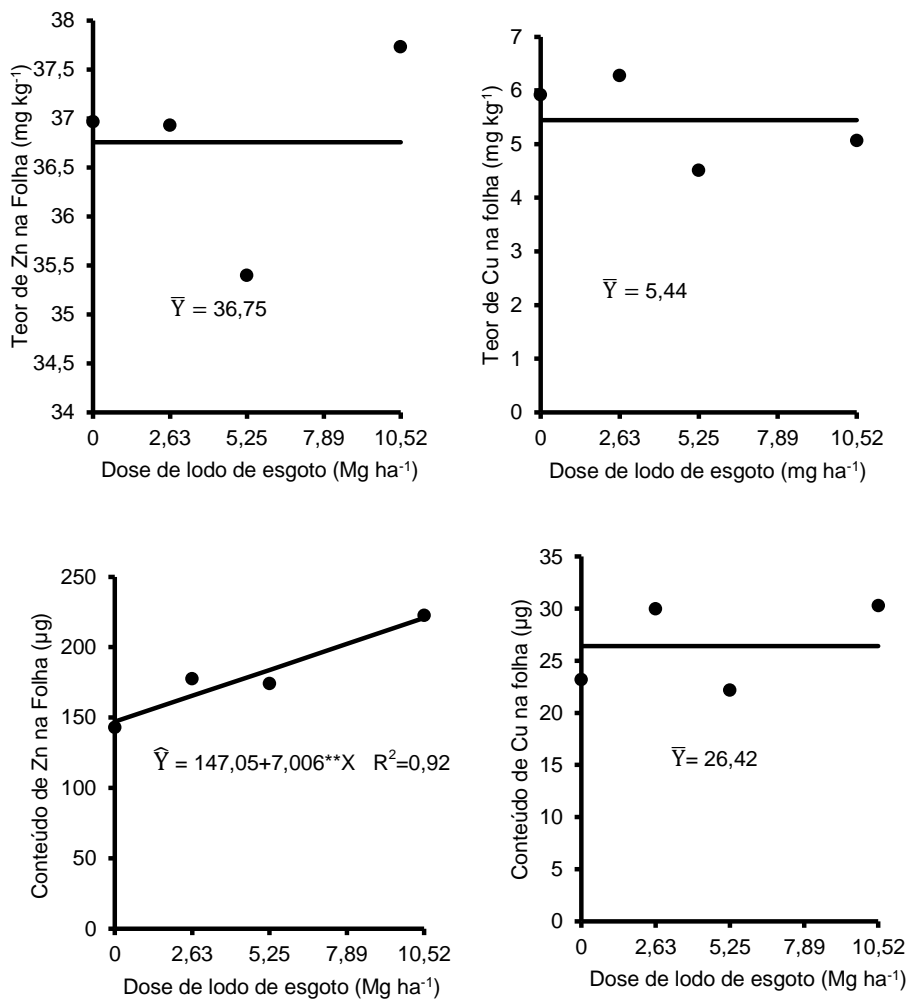


Figura 2. Conteúdos de metais pesados na folha de referência da mamoneira em resposta a adubação com lodo de esgoto.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

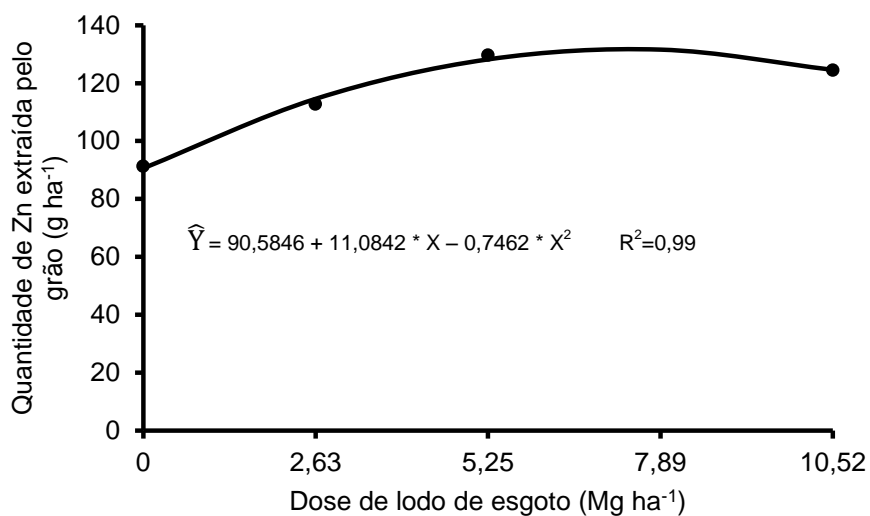
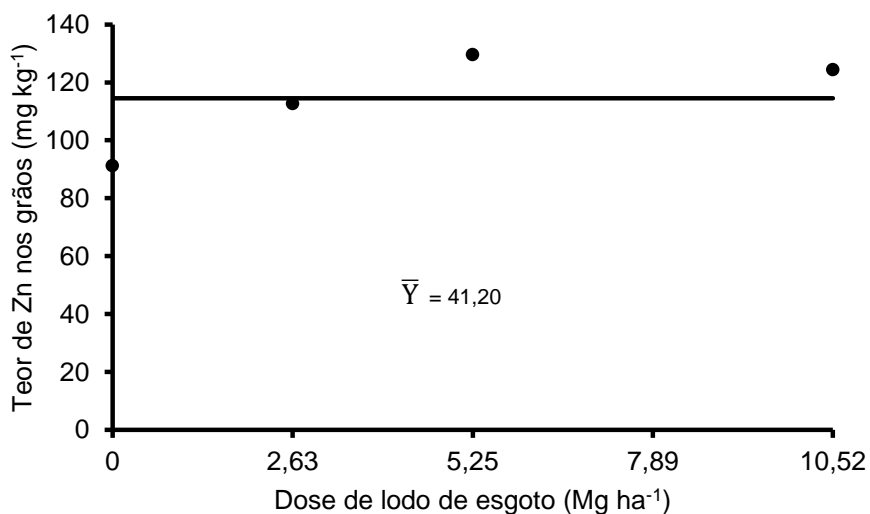


Figura 3. Teor nos grãos e quantidade de Zn exportadas nos grãos de mamona em função das doses de lodo de esgoto aplicadas.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de lodo de esgoto na adubação de mamoneira não causa elevação dos teores de Cd, Cr, Ba, Se, Hg, Zn, Cu, Pb e Ni no solo e na planta em níveis prejudiciais ao meio ambiente e não difere da adubação química.

A aplicação de lodo de esgoto aumenta os teores Zn e Cu no solo, porém, não influencia os teores destes elementos na folha e nos grãos de mamona.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C.; FALCÃO, A. de A. Protocolos de análises químicas. In: ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. (Eds). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Instituto Agronômico: Campinas, p.121-158, 2006.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. **Ed. Blackie Academic & Professional**. New York, John Wiley & Sons, 1990.p. 1-39.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. Piracicaba, São Paulo. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999.

ANDREOLI, C. V.; LARA A I de; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, E. S.; A Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n.24, setembro, 1998.

ARAUJO, J. C. T. de; NASCIMENTO, C. W. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 29, n. 6, p.977-985, 2005.

ARAÚJO, J.B.S; PINTO FILHO, J.L.O.; Identificação de fontes poluidoras de metais pesados nos solos da bacia hidrográfica do rio APODI-MOSSORÓ/RN, na área urbana de MOSSORÓ-RN. **Revista Verde** v.5, n.2, p.80 - 94, abril/junho de 2010.

BACKES, C.; LIMA, C.P.; FERNANDES, D.M.; GODOY, L.J.G; KIIHL, T.A.M.; VILLAS BÔAS, R.L.. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e

desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience. J.**,Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98, Jan./Feb. 2009.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002.

BELTRÃO, N.E.M.; SILVA, L.C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e Óleos**, Campina Grande, n. 31, p. 7, 1999.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica. p. 37-61, 2001.

BELTRÃO, N. E. de M. **Crescimento e desenvolvimento da mamoneira(*Ricinuscommunis*L.)**. Campina Grande: Embrapa Algodão. 4 p. (Comunicado Técnico, 146). 2003.

BETTIOL,W.; CAMARGO, O.A., ed. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 312p. 2000.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido: II., disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 557-568, maio/jun. 2004.

BRAMRYD, T. Long-term effects of sewage sludge application on the heavy metal concentrations in acid pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in a climatic gradient in Sweden. **Forest Ecology and Management**. v. 289, p. 434–444, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Análises de corretivos, fertilizantes e inoculantes** – Métodos oficiais. Brasília: Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV)/ Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 1983. 104p.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em 12 de março de 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília, 2006. Disponível em: http://www.fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506 >. Acesso em: 15 de abril de 2013.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A. de; OLIVEIRA, C. de; LAVORENTI, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canal tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 3, p. 701-709, 2009.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II., fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, mar./abr. 2008.

COOKER, E.G., MATTHEWS, P.J. (1983). Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. **Water Sci. Technol.**, v.15, p.209-225.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2013. **Dados agrícolas de 2012**. Disponível em: <

<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 18 set. 2013.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo De esgoto na agricultura**. Companhia de Saneamento do Paraná –SANEPAR; Programa de Pesquisa em Saneamento Básico –PROSAB. Curitiba. 98p 1999.

FERREIRA, G.B.; BELTRÃO, N.E.M.; SEVERINO, L.S.; GONDIM, T.M.S.; PEDROSA, M.S. **A cultura da Mamona no cerrado: Riscos e oportunidades**. Embrapa, documentos 149. 72p. 2006.

FETTER, C.W.. Contaminant Hydrogeology. **Macmillan Publishing Company**, New York. 1993. 458p.

FREITAS, E. V. DE S. ; NASCIMENTO, C. W. A. ; GOULART, D. F. ; SILVA, J. P. S. Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1899-1907, 2009.

GALDOS, M. V; MARIA, I. C. de.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.569-577,2004.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUZA, D. M. G.; LOBADO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: **EMBRAPA Informação Tecnológica**, 2004. cap. 8, p. 185-226.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A.; Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1689-1695, nov-dez, 2006.

GONÇALVES, V. C.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P.; CARVALHO, S. A.; SANTOS NETO, O. A. Biodisponibilidade de Cádmio em Fertilizantes

Fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, Número Especial p.2871-2875, 2008.

GUILHERME.L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L. MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: VIDAL-TORRADO, P.; Alleoni.L.R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E.J. Tópicos de Ciência do Solo, vol.4. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, .345-390, 2005.

HAYNES, R. J.; MURTAZA, G.; NAIDU, R. Inorganic and organic constituents and contaminants of biosolids: Implications for Land Application. **Advances in Agronomy**, v.104, p.165-237, 2009.

KIDD, P. S.; DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, M. J.; DÍEZ, J.; MONTERROSO, C. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. **Chemosphere**, Oxford, v. 66, n. 8, p. 1458-1467, Jan. 2007.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil/**Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - Rio de Janeiro v.26 n.3 p.1-86, 2013.

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

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa Nº 27, de 5 de junho de 2006**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/legislacao>.

MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, T. A. Metais pesados em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n.1, p. 46-56, 2006.

MARQUES, M.O.; NOGUEIRA, T.A.R.; FONSECA, I.M.; MARQUES, T.A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Revista de biologia e ciências da terra**. v. 7, n. 1, 1. Semestre 2007.

MARTINS, G.R.; MAGALHÃES, W.; SILVA, A.T.; CASTRO, J.R.V.; CARVALHO, R.F.; MOURA, E. **O cultivo da mamona – Recomendações técnicas para agricultura familiar**. Instituto Brasil de estudos, pesquisa e gestão estratégica de competências, 2010. 34p.

MATOS, A.T. **Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG**. Viçosa, MG: UFV. 1995. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

MAZZANI, B. Euforbiáceas oleaginosas, tártago. In: MAZZANI, B. **Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas**. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuárias. p. 277-360.1983.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: _____. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

MELO, W. J. de; MELO, G. M. P. de; MELO, V. P. A resolução CONAMA 375 e os metais pesados. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto - Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 113-136.

MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MELO, W.J.; **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. Ambientenet. Consultoria e análises. 2004. Disponível em: <http://www.ambientenet.eng.br/>. Acesso em: 01 de abr. 2013.

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

MILANEZ, B. **Coincinação de resíduos industriais em fornos de cimento: Problemas e desafios**. IX ENGEMA - ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, Curitiba, 2007. Disponível em <<http://pgamb.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0152.pdf>>. Acesso em março de 2013.

NASCENTES, R. **Estudo da mobilidade de metais pesados em um solo residual compactado**. Viçosa, MG. 2006.174p. Tese (Doutorado em engenharia civil)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; ZUBA JUNIO, G. R. FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 145-151, out.-dez. 2011.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NASCIMENTO, M. S. **Marcha de absorção de nutrientes em dois híbridos de mamona de porte baixo**. 2009. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L.R.; MELO, W.J.; FONSECA, I.M.; MELO, G.M.P.; Valéria Peruca de MELO; MARQUES, M.O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v 32,p.2195-2207, 2008.

NOGUEIRA, T. A. R.; FRANCO, A.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P.; ABREU-JUNIOR, C. H. short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v.114, p.168-177, 2013.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G.; LOBADO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. cap. 10, p. 245-255.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia agrícola**. v.58 n.4 Piracicaba Oct./Dec. 2001.

OLIVEIRA, K. W.; MELO, W. J. de; PEREIRA, G. T.; ME LO, V. P. de; MELO, G. M. P. de. Heavy metals in Oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia Agrícola** , Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 381-388, jul./ago. 2005.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G.; LOBADO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. cap. 10, p. 245-255.

PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. **Soil and Environmental Quality**,p.331-361, 2005.

PIRES, A.M.M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Embrapa: meio ambiente. Jaguariuma,. 4p..

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J.F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.28, n.1, p. 15-23, 2004.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. **Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes Minerais**. Piracicaba –SP, 2000. 26p.

SANTI, A. M. M. & SEVÁ FILHO, A. O. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações**. In: II ENCONTRO NACIONAL DE PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, Campinas, ANPPAS p. 1-18, 2004.

SANTOS, H. O. dos. **Conservação de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.)**. Lavras, MG. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com o lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS/UFV, 1995. p.2279-2287.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. **Chemosphere**. V. 67 p. 2229–2240, 2007.

SOUTO, L.S. **Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto**. Botucatu, SP. 2007. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007.

STEVENS, J. L.; NORTHCOTT, G. L.; STERN, G. A.; TOM Y, G. T.; JONES, K. C. PAHs PCBs PCNs organochlorine pesticides synthetic musks and polychlorinated n-alkanes in UK sewage sludge: survey results and implications. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 37, n. 3, p. 462-467, 2003.

TSUTIYA, M.T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos.** In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., ed. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p.69-105. 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Title 40 CFR: part 503: final rules standards for the use for disposal of sewage sludge. **Federal registes.** 58 -9387 -9415. 1999.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. Diagnóstico e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: REUNIÃO TEMÁTICA MATÉRIAS-PRIMAS OLEAGINOSAS NO BRASIL: diagnostico, perspectivas e prioridades de pesquisa, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa. p. 139-150. 1997

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; SANTOS, G. B.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. de S.; FERNANDES, L. A. Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1082–1088, 2011.