



**Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei***  
Toxicity Assessment of Latosols and Chernossols Amended With Sewage Sludge Using Bioassays With *Eisenia andrei* Earthworms

Ricardo Gonçalves Cesar<sup>1,2</sup>; Silvia Gonçalves Egler<sup>1</sup>; Renata de Carvalho Jimenez Alamino<sup>2</sup>; Helena Polivanov<sup>2</sup>; Raphael Corrêa da Silva<sup>1</sup>; Zuleica Carmen Castilhos<sup>1</sup> & Patricia Correa Araujo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCT. Serviço de Desenvolvimento Sustentável, Laboratório de Ecotoxicologia Aplicado à Indústria Minerometalúrgica. Av. Pedro Calmon, 900. Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. CCMN-Instituto de Geociências. Depto. de Geologia, Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental. Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ.

E-mails: geo\_ricardocesar@yahoo.com.br; segler@cetem.gov.br; r\_alamino@yahoo.com.br; hpolivanov@gmail.com; rcsilva@cetem.gov.br; zcastilhos@cetem.gov.br; paraujo@cetem.gov.br

Recebido em: 27/06/2008 Aprovado em: 10/08/2008

### Resumo

O lodo de esgoto (LE) tem sido largamente utilizado na agricultura visando o melhoramento das características físicas e químicas dos solos. No entanto, este composto comumente contém elevados teores de metais tóxicos e microorganismos patogênicos, capazes de causar sérios danos à biota e à saúde humana. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial tóxico de latossolos e chernossolos acrescidos de LE, utilizando oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*. Para tanto, os testes de toxicidade aguda e de comportamento foram realizados de acordo com os procedimentos propostos por ASTM (2004) e ISO (2002), respectivamente. A determinação de metais pesados foi efetuada por Absorção Atômica, e a caracterização mineralógica por difratometria de Raios-X. A perda de biomassa dos oligoquetas foi avaliada considerando o peso médio individual dos organismos. A determinação de mercúrio, chumbo, zinco e cobre no LE *in natura* e nos solos acrescidos de LE revelaram valores acima daqueles recomendados pela Cesteb (2001). A caracterização mineralógica apontou gibbsita, goethita e caulinita para o latossolo, e caulinita, ilita e argilas expansivas (interestratificado ilita-esmectita e vermiculita) para o chernossolo. A adição de LE aos solos não causou mortalidade aos organismos testados, enquanto o LE *in natura* provocou efeitos letais a 100% dos oligoquetas. O latossolo *in natura* demonstrou maior grau de mortalidade dos organismos em comparação ao chernossolo *in natura*. O teste de comportamento revelou que 98,3 % e 96,43% dos organismos evitaram o LE *in natura* e o latossolo com LE, respectivamente. Entretanto, somente 31% dos organismos testados evitaram o chernossolo acrescido de LE, sugerindo menor “limitação para função de habitat” em comparação ao latossolo. Possivelmente as propriedades naturais dos solos estudados (fertilidade, matéria orgânica, mineralogia das argilas, entre outras) desempenharam papel fundamental no comportamento de fuga dos organismos. Os resultados ainda revelaram que a adição de LE diminuiu a perda de peso dos organismos, e as perdas de biomassa foram maiores para o latossolo do que para o chernossolo. Por fim, espera-se que estes resultados possam ser empregados em análises de risco ecológico e à saúde humana, bem como no re-condicionamento sustentável de solos agricultáveis, subsidiando a tomada de decisão em medidas de controle ambiental e em programas de saúde pública.

**Palavras-chave:** Risco ambiental; oligoquetas; lodo de esgoto; metais tóxicos; solos

### Abstract:

Sewage Sludge (SEL) has been used in agricultural activities to improve physical and chemical properties of soils. However, this compound also contains very high levels of heavy metals and pathogenic microorganisms, which can cause serious negative effects on biota and human health. This paper aims to assess potential toxicity of latosols and chernossols amended with SEL, using *Eisenia andrei* earthworms. Acute toxicity and behavioral tests were performed according to ASMT (2004) and ISO (2002) procedures, respectively. Heavy metals determination was made by Atomic Absorption, and mineralogical characterization by Ray-X Diffractometry. Biomass loss was evaluated considering average individual weight. Mercury, lead, zinc and cooper determination in SEL *in natura* and soils amended with SEL revealed values higher than that recommended by Brazilian legislation. SEL addition to the soils caused no mortality to the organisms, while SEL *in natura* provoked lethal effects on 100% of the earthworms. Latosol *in natura* demonstrated higher mortality in comparison to chernosol *in natura*. Behavioral tests indicated that 98,3% and 96,43% of the organisms avoided SEL *in natura* and latosol with SEL, respectively. However, only 31% of the organisms avoided chernosol with SEL, suggesting a lower level of toxicity in comparison to latosol. Possibly the natural properties of the studied soils (fertility, organic matter content, clay mineralogy, etc.) played an important role in the avoidance behavior of the organisms. Probably expansive clays presence in chernosol stimulates ions adsorption and their concentrations decreasing in soil solution; consequently contaminants bioavailability also tends to decrease. Biomass loss results revealed that the SEL addition decreased the weight loss of the tested organisms, and biomass losses were higher for latosol than for chernosol. In conclusion, it is expected that these results can be used in human health and ecological risk assessment, as well as in sustainable reconditioning of tillable soils, facilitating decision actions in environmental control and public health programs.

**Keywords:** Environmental risk; earthworms; sewage sludge; toxic metals; soils

## 1 Introdução

A crescente população dos centros urbanos tem desempenhado papel fundamental na produção de resíduos, os quais comumente são dispostos de maneira inadequada ou não recebem um tratamento que possibilite sua reciclagem ou reaproveitamento. Desde a década de 70, com o advento da questão ambiental, autoridades governamentais, empresas e sociedade têm buscado soluções sustentáveis visando a minimização dos impactos ambientais sobre os ecossistemas. Neste contexto, a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) aparece como uma alternativa interessante no tratamento de efluentes provenientes de cidades e indústrias. No entanto, o referido tratamento gera, além de uma fração líquida, considerável quantidade de resíduo sólido - denominado lodo de esgoto (LE) - e que demanda por disposição final adequada (Alamino *et al.*, 2007).

O esgoto é composto por uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%). Do total de sólidos (que dizem respeito ao LE), 70% correspondem a compostos orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (substâncias minerais e metais pesados) (Fernandes, 2000 *apud* Alamino *et al.*, 2007).

O emprego do LE em atividades agrícolas tem demonstrado resultados promissores (Souza *et al.*, 2005). O elevado conteúdo de carbono orgânico, associado à alta concentração de nutrientes, parece otimizar propriedades físicas (porosidade, permeabilidade e agregabilidade) e químicas (fertilidade) dos solos (Epstein *et al.*, 1975 *apud* Souza *et al.*, 2005), possibilitando o cultivo de gêneros agrícolas não adaptados às condições ambientais originais.

Alguns autores têm também demonstrado o potencial da aplicação do LE como fertilizante em diversas condições de solo, clima e cultivos, dentre os quais se destacam a soja, o trigo, o milho e o feijão de girassol (Deschamps & Favareto, 1997 *apud* Nascimento *et al.*, 2004). Barros *et al.* (2002 *apud* Nascimento *et al.*, 2004) verificaram uma tendência de aumento dos teores de nitrogênio em plantas cultivadas em solos acrescidos de LE. De acordo com estes autores, as concentrações de nitrogênio foram diretamente proporcionais ao aumento das doses de LE. Silva *et al.* (2002 *apud* Nascimento *et*

*al.*, 2004) ainda comprovaram que a aplicação do LE estimulou o aumento de 25% da produção de potássio em comparação à aplicação de superfosfato triplo (composto químico comumente empregado na agricultura) em solos cultivados com milho.

A presença de microorganismos patogênicos e de metais tóxicos [tais como zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg)] constitui a principal restrição ao uso do LE na agricultura. De maneira geral, os teores de metais pesados no LE são extremamente altos quando comparados às concentrações naturalmente encontradas nos solos (Borges & Coutinho, 2004). Sendo assim, o acúmulo de metais pesados em solos acrescidos de LE pode causar severos danos à biota e à saúde humana.

A absorção e/ou acumulação de metais pelas plantas e pela macro-pedofauna favorece a inserção dos contaminantes na cadeia trófica, prejudicando a saúde dos ecossistemas. A transposição de contaminantes para a flora pode inviabilizar o consumo humano dos vegetais cultivados (Mohamed *et al.*, 2003; Egler *et al.*, 2006; Rangel *et al.*, 2006), e a inserção de microorganismos patogênicos no ambiente pode modificar a atividade microbiana do solo, bem como causar sérios efeitos negativos à saúde humana. Além disso, a lixiviação química dos solos, promovida pela ação da água pluvial, pode disseminar a contaminação para aquíferos e sistemas fluviais vizinhos (Rodrigues-Filho & Maddock, 1997 *apud* Yallouz *et al.*, 2008), alterando o funcionamento ótimo destes ecossistemas.

A análise química do contaminante em amostras geo-ambientais trata somente da concentração do elemento ou substância tóxica, e não reflete a sua real biodisponibilidade (Cesar *et al.*, 2008). Para tanto, são realizados testes de toxicidade, que se baseiam na análise dos efeitos adversos (letais e sub-letais) provocados a bioindicadores expostos à contaminação em experimentos controlados de laboratório (Lanno *et al.*, 2003).

Alguns autores vêm utilizando oligoquetas na avaliação do potencial tóxico de contaminantes em ecossistemas terrestres (Neuhauser *et al.*, 1985; Straalen *et al.*, 2005; Cesar *et al.*, 2008). O largo emprego dos oligoquetas na avaliação da toxicidade decorre da sua importância na macro-fauna do solo, já que servem de alimento para diversas espécies

de animais. Além disso, os oligoquetas possuem a capacidade de modificar características físicas e químicas do ambiente, ingerem uma considerável quantidade de solo, constituem a maior parte da biomassa do solo (quando presentes), e seu tecido de preenchimento (celoma) possui elevado potencial de complexação de metais pesados (Liu *et al.*, 2005).

## 2 Objetivos

Avaliar a toxicidade de latossolos e chernossolos acrescidos de LE, utilizando oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*, através da observação e do monitoramento de efeitos letais, comportamentais e de perda de biomassa.

## 3 Materiais e Métodos

### 3.1 Amostragem

O LE utilizado para este trabalho foi coletado na ETE da Ilha do Governador, no Rio de Janeiro (RJ). A amostra do horizonte B do latossolo foi coletada próxima à rodovia Washington Luiz, km 111, no município de Duque de Caxias (RJ), e a do chernossolo próxima à Avenida Brasil (Rua Caminho Rodrigues, Vila Kennedy), na cidade do Rio de Janeiro (RJ).

A escolha do horizonte B se deve ao fato de que o Horizonte A comumente sofre intenso processo de erosão em áreas de manejo inadequado. Em decorrência disso, muitos agricultores são obrigados a plantar no horizonte subjacente (horizonte B). Optou-se por trabalhar com latossolo, visto que esta classe possui ampla distribuição geográfica no Brasil e é largamente utilizada na agricultura deste país. O chernossolo não possui expressão espacial significativa no Brasil, mas é intensamente utilizado na agricultura de lavouras intensivas, principalmente nos Estados Unidos e Argentina (Lepsch, 2002), devido à sua elevada fertilidade.

### 3.2 Determinação do Carbono Orgânico

A determinação do teor de carbono orgânico total (COT) foi realizada com a pesagem de 0,25g de amostra em barquinha de porcelana, seguido de lixiviação com HCl 50% por 15 horas (visando

a eliminação do carbono não orgânico). Após a remoção da solução ácida, o resíduo obtido foi lavado com água destilada e deixado sob banho de luz (para secagem) por 15 horas. Por fim, o referido resíduo foi queimado em forno a 1500 °C, com o uso do equipamento Leco SNS-2000, para determinação do teor de carbono. A quantificação da matéria orgânica foi realizada através da multiplicação entre o valor de COT e o fator de 1,724 (Embrapa, 1997).

### 3.3 Análise Química Total e Comparação com a Legislação Brasileira

A determinação de Fe, Al, Zn, Cu e Pb total foi efetuada através da solubilização de 1g de amostra em mistura ácida composta por ácido fluorídrico (HF), ácido clorídrico (HCl) e ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) (2:1:1), e posterior medição em absorção atômica (marca Varian, modelo Spectra 55b). A análise de Hg total foi efetuada através da pirólise da amostra, e subsequente determinação no equipamento LUMEX (RA - 915+, Zeeman mercury spectrometer), uma absorção atômica acoplada à técnica de termodessorção.

A magnitude da contaminação dos solos acrescidos de LE foi avaliada através da comparação com os valores orientadores de referência estipulados pela CETESB (2001) (Tabela 1). A avaliação do teor de metais pesados no LE foi efetuada através da comparação dos resultados obtidos em laboratório com os valores recomendados pelo CONAMA (2006) (Tabela 1), único documento legal brasileiro que define as concentrações-limite de metais (dados em base seca) em LEs para fins de utilização agrícola.

VALORES ORIENTADORES DE METAIS PESADOS			
Para Qualidade de Solos (CETESB, 2001)			Presentes em LEs (CONAMA, 2006)
Poluentes	Referência de qualidade (mg/kg)	Prevenção (mg/kg)	Limite crítico em base seca (mg/kg)
Cobre (Cu)	35	60	1500
Chumbo (Pb)	17	72	300
Mercúrio (Hg)	0,05	0,5	17
Zinco (Zn)	60	300	2800

Fonte: Adaptado de CETESB (2001) e CONAMA (2006).

Tabela 1 Valores orientadores de metais pesados para qualidade de solos e LEs.

**Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei***

Ricardo Gonçalves Cesar; Silvia Gonçalves Egler; Renata de Carvalho Jimenez Alaminos; Helena Polivanov; Raphael Corrêa da Silva; Zuleica Carmen Castilhos & Patricia Correa Araujo

### 3.4 Caracterização Mineralógica

A identificação das fases minerais presentes na fração argila foi obtida por difratometria de Raios-X (DRX), nas seguintes condições de operação: difratômetro Rigaku – Termoflex, com velocidade de 1o/min, ddp de 40kV, 30mA (contendo um contador proporcional), filtro de níquel e tubo de cobre. Foram confeccionadas lâminas orientadas pelo método do esfregaço (Theisen & Harward, 1962): amostragem (sem tratamento prévio); amostra saturada com magnésio e glicolada (objetivando determinar minerais expansivos) e amostra saturada com potássio e aquecida a 550 °C em forno tipo mufla (objetivando investigar colapso e/ou destruição da estrutura dos argilominerais).

### 3.5 Teste de Toxicidade Aguda com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*

O teste de toxicidade aguda com oligoquetas da espécie *Eisenia andrei* (Minhoca Vermelha da Califórnia) foi realizado de acordo com as recomendações de ASTM (2004). Sendo assim, o teste foi conduzido com três réplicas de 200g de solo, sendo o pH e a umidade ajustados para 7 e 45%, com o emprego de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e água destilada, respectivamente. O pH foi determinado em água, conforme preconizado por Embrapa (1997), e a umidade por gravimetria (24 horas em estufa a 105°C). Durante os 14 dias de experimento, os indivíduos testados foram mantidos à temperatura de 22°C e iluminação constante. Antes de serem introduzidos no solo, os oligoquetas foram deixados sobre papel de filtro umedecido com água destilada, durante 24 horas, para o purgamento do conteúdo intestinal.

O ensaio de toxicidade aguda foi realizado com o LE *in natura*, latossolo acrescido de LE, latossolo *in natura*, chernossolo acrescido de LE e chernossolo *in natura*. As doses utilizadas para crescer os solos de LE seguiram as recomendações de Tsutiya (2000), que adota a proporção de 112 ton lodo/ha (com base nas massas específicas de cada solo) para fins de recuperação de áreas de degradadas. Sendo assim, o latossolo foi acrescido de 6,66% de LE, e o chernossolo de 6,58%.

Para o controle, foi utilizado solo artificial modificado de OECD (1984), composto por 70% de areia, 20% de caulim e 10% de pó de casca de coco (em substituição à turfa de musgo *Sphagnum*). A perda de peso dos oligoquetas sobreviventes foi avaliada considerando o peso individual médio de cada organismo, pesados antes e depois do ensaio.

### 3.6 Teste de Comportamento com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*

O teste de comportamento ou fuga (“*avoidance test*”) foi realizado conforme o procedimento proposto por ISO (2002). Em virtude da massa disponível para a realização deste ensaio, somente as amostras LE *in natura*, latossolo acrescido de LE e chernossolo acrescido de LE foram testadas, além de solo artificial como controle (modificado de OECD, 1984). Para a execução do experimento, foram utilizados 600g de solo-teste e de solo artificial, que foram dispostos em um único recipiente de plástico com o auxílio de um divisor (Figura 1), a fim de avaliar o comportamento de fuga dos oligoquetas. Antes de introduzir o total de 10 indivíduos em cada réplica (três réplicas), os oligoquetas foram condicionados por 24 horas em solo artificial. Durante as 48 horas de teste, os oligoquetas foram mantidos sob temperatura de 22°C em incubadora, com ciclos de luz e escuridão de 12 horas. Ao final do ensaio, verificou-se a porcentagem de oligoquetas presentes no solo-teste e no solo controle (artificial). Quando menos de 20% dos organismos eram encontrados no solo teste, considerava-se que o solo tinha “*função de habitat limitada*” (ISO, 2002).

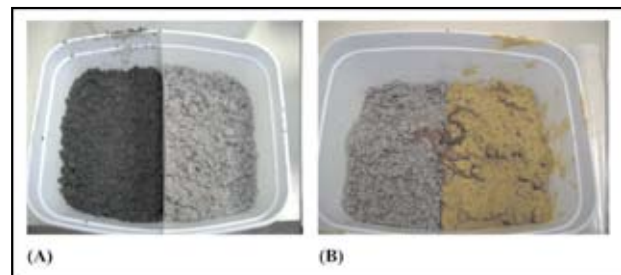


Figura 1 Teste de comportamento (fuga) com oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*: experimento com LE e solo artificial (A); experimento com solo artificial e chernossolo acrescido de LE (B).

**Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei***

Ricardo Gonçalves Cesar; Silvia Gonçalves Egler; Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov; Raphael Corrêa da Silva; Zuleica Carmen Castilhos & Patricia Correa Araujo

**4 Resultados e Discussões**

**4.1 Análise Química Total**

Como esperado, o LE apresentou elevadíssimo teor de matéria orgânica, conforme apresentado na Tabela 2. No LE *in natura*, as concentrações de Zn e Cu revelaram valores acima do limite de intervenção agrícola proposto por CETESB (2001) (Tabela 1), enquanto Hg e Pb foram enquadrados acima do valor de prevenção. No entanto, a comparação com os valores propostos por CONAMA (2006) revelou que os teores dos metais estudados no LE *in natura* estavam em concordância com os limites críticos recomendados para o uso do material na agricultura.

Nos solos *in natura*, somente o latossolo acusou valor ligeiramente acima da referência para Hg (Tabela 2), em comparação ao valor estipulado pela CETESB (2001). Porém, a adição de LE nestes solos provocou o aumento substancial dos metais estudados (Tabela 1 e 2). Sendo assim, o latossolo e o chernossolo acrescidos de LE acusaram valores acima da referência para Hg, Pb e Zn, e no chernossolo o teor de Cu margeou o limite de referência proposto pela CETESB (2001).

Amostra	Hg	Pb	Zn	Cu	M.O.	Al	Fe
	(mg/kg)				(% )		
Latossolo	0,097*	10	34,2	10,0	0,22	11,1	4,4
Chernossolo	0,019	10	57	21,8	0,34	9,2	7,8
LE	2,2***	129**	800***	203***	30,5	4,8	2,3
LE + Latossolo	0,234*	17,85*	84,8*	22,7	2,33	DI	DI
LE + Chernossolo	0,16*	17,83*	106,5*	33,73	2,21	DI	DI

Notas: \* Acima da Referência; \*\* Acima da Prevenção; \*\*\*Acima da Intervenção; DI: Dado Indisponível.

Tabela 2 Concentrações totais de Hg, Pb, Zn, Cu, Al, Fe e matéria orgânica (M.O.) no LE, solos *in natura* e solos acrescidos de LE, incluindo a comparação com CETESB (2001) e CONAMA (2006).

**4.2 Mineralogia**

A caracterização mineralógica do latossolo revelou como fases minerais majoritárias: goethita, caulinita e gibbsita. A presença abundante de gibbsita e caulinita era esperada, já que se trata de uma classe de solo submetida a intenso intemperismo. Ainda, o alto valor obtido para Al total (Tabela 2) também pode ser explicado pela abundância de gibbsita.

Na amostra de chernossolo (Figura 2) foram identificadas caulinita, ilita e argilas expansivas de elevado potencial de adsorção e troca de cátions (interestratificado ilita-esmectita e vermiculita). A caracterização mineralógica do LE indicou a presença de ilita, caulinita, goethita e traços de vermiculita (Figura 3).

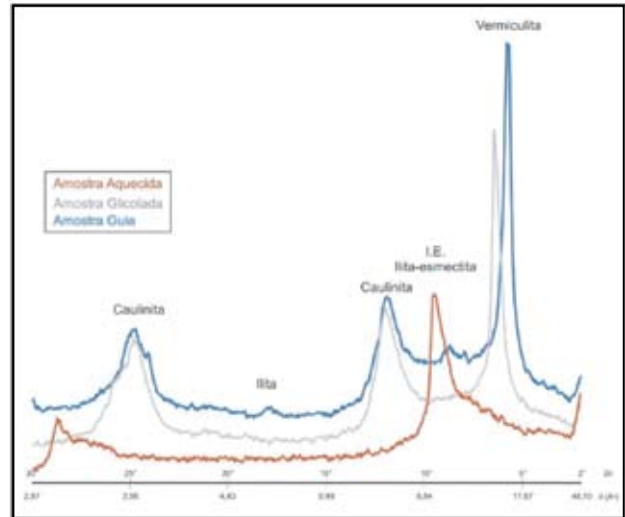


Figura 2 Difratograma referente à fração argila do horizonte B do chernossolo de Vila Kennedy, Município do Rio de Janeiro (RJ).

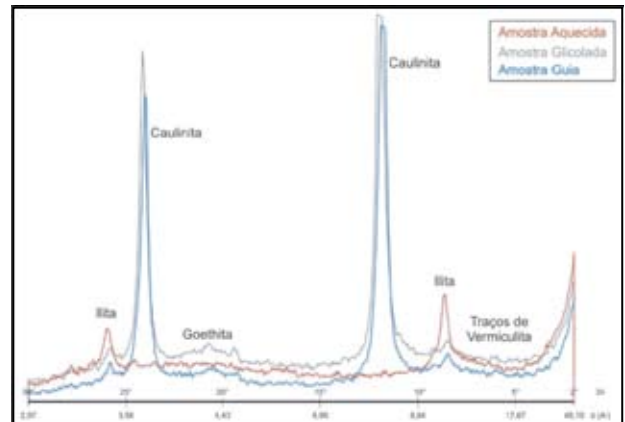


Figura 3 Difratograma da fração argila do LE da Estação de Tratamento de Esgoto da Ilha do Governador (Rio de Janeiro, RJ).

**4.3 Teste de Toxicidade Aguda**

Os resultados referentes ao teste de toxicidade aguda revelaram que o LE *in natura* foi letal a 100%

## Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*

Ricardo Gonçalves Cesar; Silvia Gonçalves Egler; Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov; Raphael Corrêa da Silva; Zuleica Carmen Castilhos & Patricia Correa Araujo

dos organismos testados (Figura 4). O latossolo *in natura* apresentou maior porcentagem de mortalidade do que o chernossolo *in natura*. Provavelmente, os maiores teores de nutrientes e de carbono orgânico do chernossolo desempenharam papel importante na sobrevivência dos organismos neste solo.

Não houve diferença significativa de mortalidade entre as amostras latossolo *in natura* (23 indivíduos) e latossolo acrescido de LE (22 indivíduos), e entre as amostras chernossolo *in natura* (dois indivíduos) e chernossolo acrescido de LE (um indivíduo) (Figura 4). Estas constatações sugerem que a dose de LE aplicada aos solos não foi capaz de provocar efeitos letais aos oligoquetas testados. No entanto, a ausência de efeitos letais não descarta a possibilidade dos organismos estarem submetidos a uma situação de *stress* ambiental. Pietz *et al.* (1984) e Kruse & Barret (1985) detectaram, em distintos biomonitoramentos, elevadas concentrações de Zn, Cu, Pb e Cd em oligoquetas presentes em solos acrescidos de LE, sugerindo possíveis efeitos subletais (mudanças citogenéticas e fisiológicas) nos organismos estudados.

A avaliação da perda de peso dos oligoquetas (Figura 5) sugere que a adição de LE às duas classes de solo testadas diminuiu a perda de biomassa dos

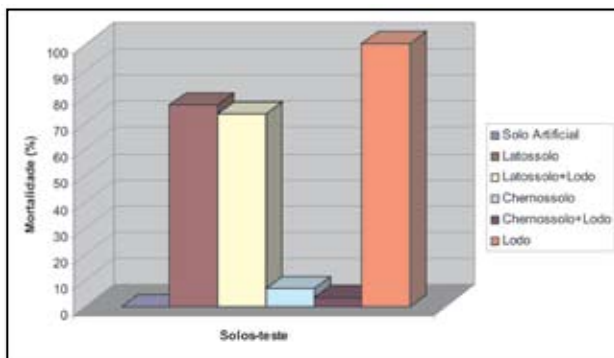


Figura 4 Porcentagem de mortalidade dos organismos testados durante o teste de toxicidade aguda após 14 dias de exposição.

organismos (em comparação às amostras sem adição de LE). Foi constatada uma perda de peso maior no latossolo do que no chernossolo, tanto em amostras sem LE, bem como nas amostras acrescidas de LE (Figura 5). Estas observações sugerem que as propriedades químicas naturais dos materiais testados desempenharam papel fundamental na sobrevivência

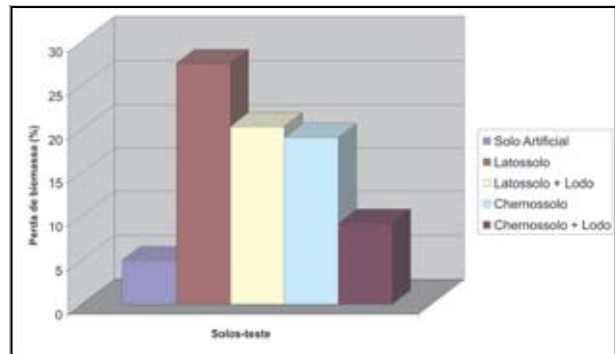


Figura 5 Perda de peso (biomassa) dos organismos testados após 14 dias de exposição no teste de toxicidade aguda.

dos organismos, independente do acréscimo de LE. Além disso, a dose de LE empregada parece melhorar o condicionamento físico e químico dos solos para a pedofauna, possibilitando a diminuição da perda de peso dos oligoquetas.

### 4.4 Teste de Comportamento

Os resultados referentes ao teste de comportamento revelaram que as amostras de latossolo acrescido de LE e LE *in natura* demonstraram “função de habitat limitada”, já que apenas 3,57% e 1,6% dos organismos, respectivamente, foram encontrados nestes solos-teste (Figura 6). No chernossolo acrescido de LE, foram encontrados 68,96% dos indivíduos testados (Figura 6). Esta observação sugere que o latossolo acrescido de LE, de fato, apresenta maior potencial para “limitação de habitat” em comparação ao chernossolo acrescido de LE.

Seguramente as características naturais desses materiais (fertilidade, mineralogia das argilas, teor de matéria orgânica, entre outras) novamente desempenharam papel fundamental no comportamento dos oligoquetas e na biodisponibilidade dos contaminantes para a pedofauna. No caso do chernossolo, a presença de argilominerais, com maior potencial de adsorção catiônica (vide item 4.2), tende a estimular a diminuição do aporte dos contaminantes para a solução do solo. Este aspecto é de suma importância na interpretação dos mecanismos de biodisponibilidade de metais pesados para os oligoquetas, já que estes

## Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*

Ricardo Gonçalves Cesar; Silvia Gonçalves Egler; Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov; Raphael Corrêa da Silva; Zuleica Carmen Castilhos & Patricia Correa Araujo

organismos absorvem o contaminante não somente via ingestão de solo, mas principalmente via cutânea (Vijver *et al.*, 2003), pois a epiderme está constantemente exposta à contaminação.

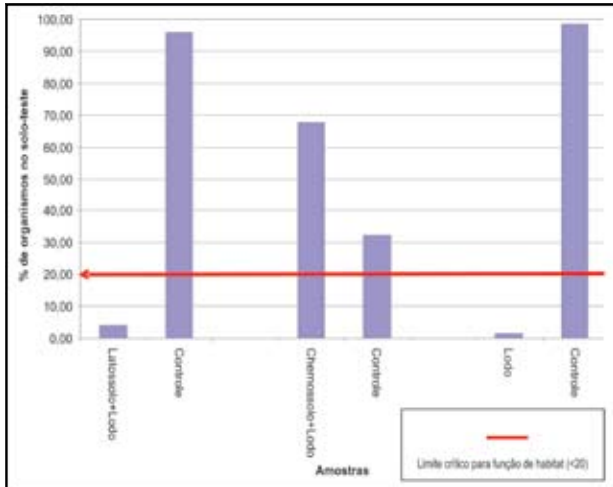


Figura 6 Teste de fuga: porcentagem de organismos nos solos-testes e nos seus respectivos controles (controle latossolo; controle chernossolo; controle LE). Nota: controle = solo artificial.

## 5 Conclusão

A análise química dos solos acrescidos de LE indicou um aumento substancial do teor de metais pesados em comparação às matrizes *in natura*. Entretanto, no LE *in natura*, as concentrações dos metais tóxicos estudados estavam em concordância com os limites críticos em base seca para a utilização do material na agricultura.

O LE *in natura* causou 100% de mortalidade dos indivíduos e ainda estimulou a fuga de 98,3% dos organismos testados. A dose de LE utilizada para crescer os solos demonstrou não provocar efeitos letais aos oligoquetas testadas, e observou-se maior afinidade dos oligoquetas ao chernossolo acrescido de LE em relação ao latossolo acrescido de LE. Em trabalhos futuros, será investigada a dose de LE capaz de causar 50% de letalidade dos organismos (CL50), bem como será determinada a concentração de metais nos oligoquetas, a fim de avaliar a absorção e/ou acumulação preferencial de metais nestes organismos.

## 6 Referências

- Alamino, R.C.J.; Polivanov, H.; Campos, T.M.P.C.; Silva, V.H.G.; Santos, L.V. & Mendes, J.C. 2007. Biodisponibilidade de Cádmio em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto. *Anuário do Instituto de Geociências*, 30 (2): 45-54.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity or Bioaccumulation Tests with the Lumbricid Earthworm *Eisenia fetida* and the Enchytraeid Potworm *Enchytraeus albidus*.
- Borges, M.R. & Coutinho, E.L.M. 2004. Metais Pesados do Solo após Aplicação de Biossólido II - Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 557-568.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acessado em: Março/2008.
- Cesar, R.G.; Egler, S.G.; Polivanov, H.; Castilhos, Z.C.; Rodrigues, A.P.C. & Araújo, P.A. 2008. Biodisponibilidade de Mercúrio, Zinco e Cobre em Distintas Frações Granulométricas de Solo Contaminado Utilizando Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*. *Anuário do Instituto de Geociências*, 31(2): 33-41.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. 6p.
- Egler, S.G.; Rodrigues-Filho, S.; Villas-Bôas, R. & Beinhoff, C. 2006. Evaluation of Mercury Pollution in Cultivated and Wild Plants from Two Small Communities of the Tapajós Gold Mining Reserve, Pará State, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368: 424-433.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISES DE SOLO. Rio de Janeiro, RJ, 212p.
- ISO - International Organization for Standardization. 2002. Draft. Avoidance Test for Testing the Quality of Soils and the Toxicity of Chemicals - Part 1: Test with Earthworms (*Eisenia foetida*). Geneva, ISO.
- Kruse, E.A. & Barret, G.W. 1985. Effects of Municipal Sludge and Fertilizer on Heavy Metal

**Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei***

Ricardo Gonçalves Cesar; Silvia Gonçalves Egler; Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov; Raphael Corrêa da Silva; Zuleica Carmen Castilhos & Patricia Correa Araujo

- Accumulation in Earthworms. *Environmental Pollution (Series A)*, 38: 235-244.
- Lanno, R.; Wells, J.; Conder, J.; Bradham, K. & Basta, N. 2003. Bioavailability of Chemicals in Soil for Earthworms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 57: 39-47.
- Lepsch, I. F. 2002. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, p. 101-103.
- Liu, X.; Chengxiao, H. & Zhang, S. 2005. Effects on Earthworm Activity on Fertility and Heavy Metals Bioavailability in Sewage Sludge. *Environment International*, 31: 874-879.
- Mohamed, A.E.; Rashed, M.N. & Mofty, A. 2003. Assessment of Essential and Toxic Elements in Some Kinds of Vegetables. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55: 251-260.
- Nascimento, C.W.A.; Barros, D.A.S.; Melo, E.E.C. & Oliveira, A.B. 2004. Alterações Químicas em Solos e Crescimento de Milho e Feijoeiro após Aplicação de Lodo de Esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 385-392.
- Neuhauser, E.F.; Loehr, R.C.; Milligan, D.L. & Malecki, M.R. 1985. Toxicity of Metals to the Earthworms *Eisenia foetida*. *Biology and Fertility of Soils*, Springer-Verlag 1: 149-152.
- OECD - Organization for Economic Development. 1984. OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 207. Earthworm Acute Toxicity Test. Paris.
- Pietz, R.I.; Peterson, J.R.; Prater, J.E. & Zenz, D.R. 1984. Metal Concentrations in Earthworms From Sewage Sludge-Amended Soils at a Strip Mine Reclamation Site. *Journal of Environmental Quality*, 13: 651-654.
- Rangel, O.J.P.; Silva, C.A.; Bettiol, W. & Dynia, J.F. 2006. Efeito de Aplicações de Lodo de Esgoto sobre os Teores de Metais Pesados em Folhas e Grãos de Milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 583-594.
- Souza, Z.M.; Beutler, A.N.; Melo, V.P. & Melo, W.J. 2005. Estabilidade de Agregados e Resistência à Penetração em Latossolos Adubados por Cinco Anos com Biossólido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 117-123.
- Straalen, N.M.; Donker, M.H.; Vijver, M.G. & Gestel, C.A.M. 2005. Bioavailability of Contaminants Estimated from Uptake Rates into Soil Invertebrates. *Environmental Pollution*, 136: 409-417.
- Theisen, A.A. & Harward, M.E. 1962. A Paste Method for Preparation of Slides for Clay Mineral Identification by X-Ray Diffraction. *Soil Science of American Proceedings*, 26: 90-91.
- Tsutsya, M.T. 2000. Alternativas de Disposição Final de Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgotos. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. (eds.). *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, p. 69-105.
- Vijver, M.G.; Vink, J.P.M.; Miermans, C.J.H. & Gestel, C.A.M. 2003. Oral Sealing Using Glue: a New Method to Distinguish between Intestinal and Dermal Uptake of Metals in Earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*, 35: 125-132.
- Yallouz, A.V.; Cesar, R.G. & Egler, S.G. 2008. Potential Application of a Semi-quantitative Method for Mercury Determination in Soils, Sediments and Gold Mining Residues. *Environmental Pollution*, 151: 420-433.