

HELDER JEFFERSON DE CARVALHO

**Toxicidade subcrônica da associação entre lodo de curtume,
esterco bovino e latossolo vermelho sob *Eisenia fetida***

URUTAÍ, GO

2020

HELDER JEFFERSON DE CARVALHO

**Toxicidade subcrônica da associação entre lodo de curtume,
esterco bovino e latossolo vermelho sob *Eisenia fetida***

Trabalho de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Me. Amaury Walbert de Carvalho

Coorientador: Prof. Me. Dieferson da Costa Estrela

URUTAÍ, GO

2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C331t Carvalho, Helder Jefferson de
Toxicidade subcrônica da associação entre lodo de
curtume, esterco bovino e latossolo vermelho sob
Eisenia fetida / Helder Jefferson de
Carvalho; orientador Amaury Walbert de Carvalho ; co-
orientador Dieferson da Costa Estrela. -- Urutaí,
2020.
33 p.

Monografia (em LICENCIATURA EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS) -- Instituto Federal Goiano, Campus
Urutaí, 2020.

1. Vermicompostagem. 2. Cromo. 3. Fitorremediação.
4. Bioacumulação. 5. Biofortificação. I. Walbert de
Carvalho , Amaury, orient. II. da Costa Estrela,
Dieferson , co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Heelder Jefferson de Carvalho
Matrícula: 2017101220530443
Título do Trabalho: Toxicidade subcrônica da associação entre lodo de curtume, Uterio bovino e látex do bromélio sob Eúsmia fetida.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Heelder 21.1.2022
Local Data

Heelder Jefferson de Carvalho
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Amaraiz Valbert de Carvalho
Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DE APRESENTAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Às 20 horas do dia 21 de FEVEREIRO de 2020, reuniu-se na sala nº — do Prédio NÚCLEO DE INFORMÁTICA do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Urutaí, a Banca Examinadora do Trabalho de Curso intitulado "TOXICIDADE SUB CRÔNICA DA ASSOCIAÇÃO ENTRE LODO DE CURTUME, ESTERCO BOVINO E LATOSSOLO VERMELHO SOB EISENIA FETIDA."

composta pelos professores AMAURY WALBERT DE CARVALHO, BRUNA DE OLIVEIRA MENDES, JOYCE MOREIRA DE SOUZA,

para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito parcial para a obtenção do Grau de Licenciado em Ciências Biológicas. Abrindo a sessão o(a) orientador(a) e Presidente da Banca Examinadora, Prof. AMAURY WALBERT DE CARVALHO, após dar a conhecer aos presentes a dinâmica da presente defesa, passou a palavra ao(a) licenciando(a) HELDER JEFFERSON DE CARVALHO para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da Banca Examinadora e respectiva defesa do(a) licenciando(a). Nesta ocasião, foram solicitadas algumas correções no texto escrito, as quais foram acatadas de imediato. Logo após, a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença do(a) licenciando(a) e do público, para julgamento e expedição do resultado final. O(A) aluno(a) foi considerado(a) APROVADO (APROVADO ou NÃO APROVADO), por unanimidade, pelos membros da Banca Examinadora, tendo sido atribuído a nota (87) ao seu trabalho. O resultado foi então comunicado publicamente ao(a) licenciando(a) pelo(a) Presidente da Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar, o(a) Presidente da Banca Examinadora deu por encerrado o julgamento que tem por conteúdo o teor desta ata que, após lida será assinada por todos os membros da Banca Examinadora para fins de produção de seus efeitos legais.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora	Notas
1. <u>Amury Walbert de Carvalho</u>	<u>86</u>
2. <u>Bruna de O. M. Mendes</u>	<u>82</u>
3. <u>Joyce Moreira de Souza</u>	<u>92</u>
Média final:	<u>87</u>

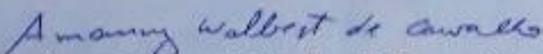
Urutaí GO, 21 de FEVEREIRO de 2020.

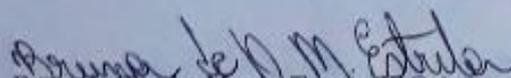
HELDER JEFFERSON DE CARVALHO

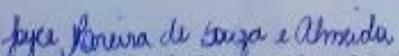
Toxicidade subcrônica da associação entre lodo de curtume, esterco bovino e latossolo vermelho sob *Eisenia fétida*.

Defendido e aprovado em 21/02/2020

Trabalho de Curso aprovado como requisito parcial para a conclusão do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Urutaí, pela comissão examinadora formada pelos membros a seguir:


Prof. Me. Amaury Walbert de Carvalho (IF Goiano – Campus Urutaí)
(Orientador e presidente da banca examinadora)


Me. Bruna de Oliveira Mendes Estrela (IF Goiano – Campus Urutaí)
(Membro Titular da Banca Examinadora)


Profa. Me. Joyce Moreira de Souza e Almeida (SEDUCE Goiás)
(Membro Titular da Banca Examinadora)

Dedico a presente monografia a Deus pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada. À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim. A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena. Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me concedido saúde, força, sabedoria e disposição para fazer a faculdade e o trabalho de conclusão de curso e por ter me iluminar meu caminho durante a realização desta pesquisa.

Agradeço aos meus pais, Gerson e Rosângela, minha irmã Solange, pelo apoio e amor incondicional para que a realização desse sonho fosse possível. Vocês que sempre foram meus maiores exemplos de luta e determinação. Agradeço também aos meus primos que sempre me deram apoio durante minha trajetória acadêmica.

A todos meus amigos e colegas em especial ao meu amigo e professor Me. Dieferson da Costa Estrela o meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, vocês que nunca negaram uma palavra de apoio força ao longo dessa etapa em minha vida por isso merecem a minha eterna gratidão e agradecimento.

Agradeço a todos meus professores por me proporcionarem o conhecimento e todo suporte com suas correções e incentivos. E em especial aos professores Me. Amaury Walbert de Carvalho e Me. Dieferson da Costa Estrela pela disponibilidade de serem meu orientador e coorientador deste trabalho.

Sou grato ao Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, que ao longo da minha formação ofereceu um ambiente de estudo agradável e repleto de oportunidades. Agradeço à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

RESUMO

A preocupação com o potencial poluidor dos resíduos produzidos pelos Curtumes tem fomentado duas linhas de pesquisa que buscam descarte ambientalmente correto associado à adubação de solos. A primeira realiza a deposição dos resíduos in natura diretamente no solo, e a segunda estabiliza os resíduos por meio da vermicompostagem antes de incorporar ao solo. Ambas apresentam resultados interessantes individualmente, contudo nenhum estudo analisou até o momento o efeito do lodo in natura no solo sobre as minhocas deste, que podem realizar a vermicompostagem no próprio solo. Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar a toxicidade subcrônica de diferentes doses de lodo de curtume depositados no solo sob minhocas da espécie *Eisenia fetida*. Foram avaliadas diferentes concentrações de lodo de curtume (0%, 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%) associadas a 20% de esterco bovino curtido e Latossolo Vermelho. Os tratamentos continham sete repetições cada em um delineamento inteiramente casualizado (N= 63), com 20 minhocas em cada unidade e umidade mantida entre 40% e 60%. Os tratamentos entre 10% e 60% foram letais a todas as minhocas nas primeiras 24 h. O Grupo 5% foi equivalente a Concentração Letal 50 (CL₅₀), no qual 50% dos indivíduos morreram. Em relação ao número de minhocas no fim do estudo, massa conjunta e massa individual das minhocas o grupo 5% apresentou estatisticamente menores valores que os grupos Controle e 1%, que por sua vez foram iguais estatisticamente, apresentando ganho de massa em relação ao início do estudo. Concluiu-se que concentrações elevadas de lodo in natura, com estas características, depositadas no solo podem ser letais às minhocas, prejudicando o importante papel que estas realizam no solo, mas a deposição de concentrações de 1% (20 t ha⁻¹) é promissora como descarte de lodo e adubação do solo sem ocasionar a morte das minhocas estudadas.

Palavras-chaves: Vermicompostagem, Cromo, Fitorremediação, Bioacumulação, Biofortificação.

ABSTRACT

Concern about the polluting potential of waste produced by Tanneries has fostered two lines of research that seek environmentally correct disposal associated with soil fertilization. The first performs the deposition of waste in natura directly on the soil, and the second stabilizes the waste by means of vermicomposting, before incorporating it into the soil. Both present interesting results individually, however no study has yet analyzed the effect of fresh sludge on the soil on earthworms, which can carry out vermicomposting on the soil itself. Thus, the objective of this study is to evaluate the subchronic toxicity of different doses of tannery sludge deposited in the soil under earthworms of the species *Eisenia fetida*. Different concentrations of tannery sludge (0%, 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%) associated with 20% of tanned cattle manure and Red Latosol were evaluated. The treatments contained seven replicates each in a completely randomized design (N= 63), with 20 earthworms in each unit and humidity maintained between 40% and 60%. Treatments between 10% and 60% were lethal to all worms in the first 24 h. Group 5% was equivalent to Lethal Concentration 50 (LC₅₀), in which 50% of individuals died. Regarding the number of earthworms at the end of the study, joint mass and individual mass of the earthworms, the 5% group showed statistically lower values than the Control group and 1%, which in turn were statistically equal, showing mass gain compared to the beginning of the study. It was concluded that high concentrations of sludge in natura, with these characteristics, deposited in the soil can be lethal to earthworms, harming the important role they play in the soil, but the deposition of concentrations of 1% (20 t ha⁻¹) is promising as sludge disposal and soil fertilization without causing the death of the studied worms.

Keywords: Vermicomposting, Chrome, Phytoremediation, Bioaccumulation, Biofortification.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	08
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4. CONCLUSÃO.....	26
5. REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

O constante avanço tecnológico, o desenvolvimento econômico em expansão, o crescimento populacional, bem como as práticas consumistas, fazem com que as indústrias produzam em grande escala para atender a demanda em todos os setores, seja alimentícia, vestuário, fármacos, fertilizantes, dentre outros (Lima et. al 2015). Deste modo, a quantidade de resíduos e substâncias liberadas, oriundas desses processos industriais, e lançadas no ambiente alcançou grandes proporções e pode gerar inúmeros efeitos impactantes nos solos, águas superficiais e subterrâneas causando degradação ambiental e ameaçando a saúde e a qualidade de vida atual (Moysés 2010, Silva et al. 2012, Domingos & Boeira 2015).

Sabe-se que o processamento da pele bovina é uma das atividades antropogênicas mais poluidoras, que segundo trabalhos como os de Tare et al. (2003) e Prabakaran et al. (2007), constitui problema comum principalmente em países em desenvolvimento como Brasil, China, Paquistão e Índia. De acordo com o WRI - World Resources Institute (2014) o Brasil está entre os 10 países que mais poluem no mundo, gerando uma grande quantidade de resíduos, efluentes e gases.

Conforme dados do IEMI (2013) e CICB (2016), atualmente o Brasil possui 310 unidades produtivas em atividade e industrializa em torno de 44,5 milhões de couros e peles dos quais mais de 60% tem destinos como China/Hong Kong, Itália e Estados Unidos. Segundo estes autores o faturamento total registra cerca de US\$ 155,8 milhões em exportações e o estado de Goiás ocupa a terceira colocação das UF's exportadoras, o que em termos econômicos, gera resultados significativos para a indústria de curtumes.

O efetivo de bovinos em 2015 foi de 215,20 milhões de cabeças, do qual o Centro-Oeste apresentou o maior número de bovinos entre as Grandes Regiões, com 33,8% da participação nacional (IBGE 2015). Goiás registrou o terceiro maior efetivo de animais com 10,2% e com isso tem impulsionado as grandes plantas frigoríficas com o abate de bovinos em larga escala (IBGE 2015), cuja produção representa aproximadamente 1% do produto interno bruto (PIB) brasileiro (Stevens 2015), e emprega cerca de 40 mil trabalhadores (Obregon 2015).

A preparação do couro se dá através de diversos processos químicos e mecânicos, compreendendo, geralmente três grandes etapas: a operação de ribeira, o curtimento e o acabamento (Pacheco 2005). O autor ainda define curtimento como um processo que consiste na transformação das peles, pré-tratadas, em materiais estáveis e imputrescíveis,

ou seja, a transformação das peles em couros. Por todos esses processos, feitos em via úmida, que a pele passa até chegar no produto final, são adicionadas grandes quantidades de produtos químicos, e nas diferentes etapas do processo originam-se banhos residuais contendo diversos tipos de contaminantes químicos (Pacheco 2005).

Os impactos gerados pelas indústrias de curtumes têm colocado em risco o meio ambiente e a saúde humana (Kraemer 2006). Esta atividade é considerada altamente poluente, pois liberam grandes quantidades de resíduos sólidos como lodo de curtume, efluentes e gases (Ganem 2007, Godecke, Rodrigues, Naime 2012, Francisco et al. 2014, Araujo et al. 2016). Estes resíduos possuem elevados níveis de elementos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos como óleos, cloreto de sódio, ácidos, fenóis, sulfatos, sulfuretos sais, albumina, resíduos de tintas, resinas e cromo (Silva & Santos 2016, Rodrigues et al. 2016).

A alta taxa de toxicidade dos resíduos gerados pelos curtumes é atribuída principalmente pelos processos operacionais realizados, reforçando a necessidade destes terem destino e tratamento adequados (Stevens 2015). Importantes formas de reduzir os impactos são as práticas de reuso e reciclo dos efluentes que diminuem os volumes de água captada e de efluentes lançados, para que estes sejam lançados em corpos d'água ou em redes coletoras de esgotos nas indústrias de curtumes que possuem e operam as ETE - Estações de Tratamento de Efluentes (CETESB 2015).

Outro resíduo gerado pelos curtumes são os resíduos sólidos, chamados de lodos, gerados pelo processo industrial do couro e das peles de animais, da limpeza de tanques, e da decantação primária e secundária na ETE (CETESB 2015). Possuindo um grande potencial poluente por meio de elementos tóxicos como os metais pesados cromo e níquel (Batista & Alovisi 2010, Stevens 2015).

Frente a este potencial poluidor muitas linhas de pesquisa objetivam um correto descarte e/ou reuso dos efluentes e lodos gerados pela indústria curtumeira (Malafaia et al. 2013). Mais especificamente sobre os lodos de curtume, duas linhas ligadas à agricultura têm volumes consideráveis de produções científicas. Uma visa descartar o lodo in natura no solo e cultivar utilizando o lodo como fonte de nutrientes (Castilhos et al. 1999, Rani et al. 2017; Singh et al. 2019). Já a segunda, busca inicialmente a estabilização do lodo por meio da vermicompostagem com minhocas, e em seguida, a adubação do solo com o vermicomposto (Vig et al. 2011, Malafaia et al. 2015^a, Choudhary et al. 2019).

Dentre os estudos destas duas linhas, a biorremediação de metais pesados como Cromo e Níquel é conhecida por meio de diversas cultivares e associações simbióticas,

como pode ser visto nas diversas referências do Quadro 1. Do mesmo modo, a bioacumulação em minhocas utilizadas na vermicompostagem também é consolidada (Shahmansouri et al. 2005, Gondek 2008). Em acréscimo, a bioacumulação em *E. fetida* reduz com o passar do tempo de vermicompostagem (Shahmansouri et al. 2005). Tanto em plantas como em minhocas é observada forte correlação positiva entre as concentrações de metais pesados no lodo e bioacumulados nos organismos em contato com o lodo (Gondek 2008, Gupta et al. 2010, Rani et al. 2017).

Quadro 1. Estudos que cultivaram diferentes espécies sobre solo acrescido de lodo de curtume in natura, com diferentes concentrações e objetivos.

Nome popular	Espécie	Estudo	Objetivos
Milho	<i>Zea mays</i> ,	Singh et al. 2019	Fitorremediação em solo contendo lodo de curtume auxiliada por fungos micorrízicos arbusculares (<i>Rhizophagus fasciculatus</i> , <i>intraradices de Rhizophagus</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> e <i>Glomus aggregatum</i>)
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	Rani et al. 2017	Fitorremediação em solo contendo lodo de curtume
Mostarda-castanha	<i>Brassica juncea</i>	Rani et al. 2017	Fitorremediação em solo contendo lodo de curtume
Oleandro	<i>Nerium oleander</i>	Rani et al. 2017	Fitorremediação em solo contendo lodo de curtume
Palmarosa	<i>Cymbopogon martinii</i>	Pandey et al. 2015	Fitorremediação em solo contendo lodo de curtume
Feno-grego	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Sinha et al. 2007, Allué et al. 2014	Bioacumulação e Biofortificação de cromo no feno para melhoria em sua característica antidiabética
Mostarda	<i>Brassica campestris</i>	Gupta et al. 2010	Crescimento e bioacumulação de metais pesados
Trigo	<i>Triticum spp.</i>	López-Luna et al. 2009	Toxicidade de solos alterados com Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺ e lodo de curtume
Aveia	<i>Avena sativa</i>	López-Luna et al. 2009	Toxicidade de solos alterados com Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺ e lodo de curtume
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	López-Luna et al. 2009	Toxicidade de solos alterados com Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺ e lodo de curtume
Fedegoso	<i>Chenopodium album</i>	Gupta & Sinha 2007	Fitoextração em solo contendo lodo de curtume

Em relação à absorção e translocação de Cromo e Níquel por plantas cultivadas em solos com lodo in natura, foram observados diferentes comportamentos de acordo com a espécie vegetal estudada. Em *Brassica campestris*, *Ricinus communis*, *Brassica juncea* e *Nerium oleander* foi verificada pequena translocação para parte aérea, em plantas cultivadas em concentrações menores de lodo de curtume, sendo que o metal ficou predominantemente acumulado nas raízes (Gupta et al. 2010, Rani et al. 2017). Já em *Chenopodium album* a acumulação de cromo na parte aérea da planta foi maior que nas raízes (Gupta & Sinha 2007). Em relação ao níquel, observou-se alta translocação para a parte aérea em *Brassica campestris* e *Chenopodium album* (Gupta & Sinha 2007, Gupta et al. 2010).

Na linha de estabilização do lodo por meio de compostagem e vermicompostagem é reconhecida a eficiência em reduzir as cargas de metais pesados biodisponíveis no vermicomposto além de melhorar características de interesse agrônomo como relação C/N, Capacidade de troca catiônica, matéria orgânica (CTC), nitrogênio orgânico, potássio, dentre outros (Haroun et al. 2007^a, Haroun et al. 2007^b, Haroun et al. 2009, Malafaia et al. 2015^a, Malafaia et al. 2015^b).

A vermicompostagem de lodo de curtume é feita predominantemente em associação com esterco bovino em concentrações que variam de 10% a 50% de lodo (Vig et al. 2011, Cunha et al. 2015, Malafaia et al. 2015^a, Malafaia et al. 2015^b). Contudo, outros estudos já avaliaram uma série de substratos, como lixo orgânico urbano (Bidone & Povinelli 1995), cama de frango, casca de arroz e cinza de cana-de-açúcar (Cunha et al. 2015) e palha de trigo (Contreras-Ramos et al. 2004), sendo que em ambos os estudos também houve a utilização de esterco bovino.

Ao se observar estas duas linhas de pesquisa no descarte adequado de lodo de curtume é evidente que ambas têm pontos positivos, podem ser viabilizadas, mas também despertam questionamentos. Na vermicompostagem a logística necessária para produzir toneladas de vermicomposto para cada hectare, o tempo necessário para o processo ocorrer, seu transporte e deposição no solo é um desafio.

Por outro lado, a deposição do lodo in natura no solo tem uma logística simplificada, entretanto não existem estudos avaliando a toxicidade desta prática sob os seres vivos que ali se encontram. Não foram avaliadas doses que possam ser aplicadas no solo e não ocasionem a morte de espécies como as minhocas que têm papel importantíssimo para a manutenção da qualidade do solo e podem realizar a estabilização do lodo no solo.

Apenas dois estudos até o momento avaliaram a vermicompostagem de lodo de curtume associado ao solo, Stevens (2014) e Hoehne et al. (2017). No primeiro a autora testou diferentes concentrações de lodo associado a um Argissolo que foram vermicompostadas por três espécies de minhocas (*Ensenia andrei*, *Eudrilus eugeniae* e *Perionyx excavatus*), e em seguida, realizou o cultivo de Cebolinha (*Allium fistulosum*). No segundo também foram utilizados lodo e Argissolo e a espécie *E. andrei*, sendo o vermicomposto utilizado na produção de Rúculas (*Eruca vesicaria*). Contudo, devido aos vários objetivos dos trabalhos foi dada pouca atenção aos parâmetros biológicos das minhocas no estudo, sendo considerada apenas preferência por substrato e mortalidade para definição de concentrações adequadas à vermicompostagem.

Diante desta necessidade de se avaliar a toxicidade de lodo in natura depositado no solo sobre as minhocas que podem vermicompostar tal resíduo no próprio solo, o objetivo deste estudo é avaliar a toxicidade subcrônica de diferentes doses de lodo de curtume depositados no solo sob minhocas da espécie *Eisenia fetida*. O estudo parte da premissa que a união entre a disposição do lodo in natura no solo, que possui uma logística mais viável, e a vermicompostagem deste resíduo no próprio solo por minhocas ali presentes, pode ser uma metodologia melhor que ambas isoladamente. Contudo, esta disposição no solo não pode ocasionar a morte das minhocas, bem como outros organismos não abordados neste estudo, sendo fundamental estabelecer doses toleráveis a estes organismos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Delineamento experimental

O presente estudo foi desenvolvido nas instalações do Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, Urutaí, Goiás, Brasil (IF Goiano – Câmpus Urutaí). As unidades experimentais consistiram de vasilhas plásticas com dimensões de 20x20x10 cm, cobertas com telas para evitar a fuga das minhocas (Figuras 1 e 2), e foram mantidas em sala escura, com umidade controlada (entre 40% e 60%) durante todo o estudo. Diariamente foram avaliadas a umidade e temperatura ambiente, que variou entre 21 °C e 26 °C com aferições no período vespertino.

O substrato formulado com diferentes concentrações dos três componentes testados foi preparado ao longo de três meses anteriores ao experimento. O solo utilizado foi obtido de uma área degradada, entre as profundidades de 0 a 20 cm. Em seguida, foi homogeneizado e secado durante dez dias de exposição ao sol sob lonas plásticas. O esterco bovino utilizado é proveniente da unidade de bovinocultura do IF Goiano – Câmpus Urutaí. O mesmo foi curtido durante um mês até estar estabilizado, e em seguida desidratado seguindo o mesmo processo empregado no solo.

O lodo de curtume do tipo *Wet Blue* utilizado neste estudo foi fornecido pela empresa Centrocouros Inhumas LTDA localizada na zona rural da cidade de Inhumas, Goiás, Brasil. O lodo foi coletado na estação de tratamento de efluentes da empresa, na etapa de decantação, ainda com grande teor de hidratação e consistência pastosa. O material foi transportado para o IF Goiano – Câmpus Urutaí, onde foi exposto ao sol durante 30 dias consecutivos, sob lonas plásticas para ser desidratado como os demais componentes.

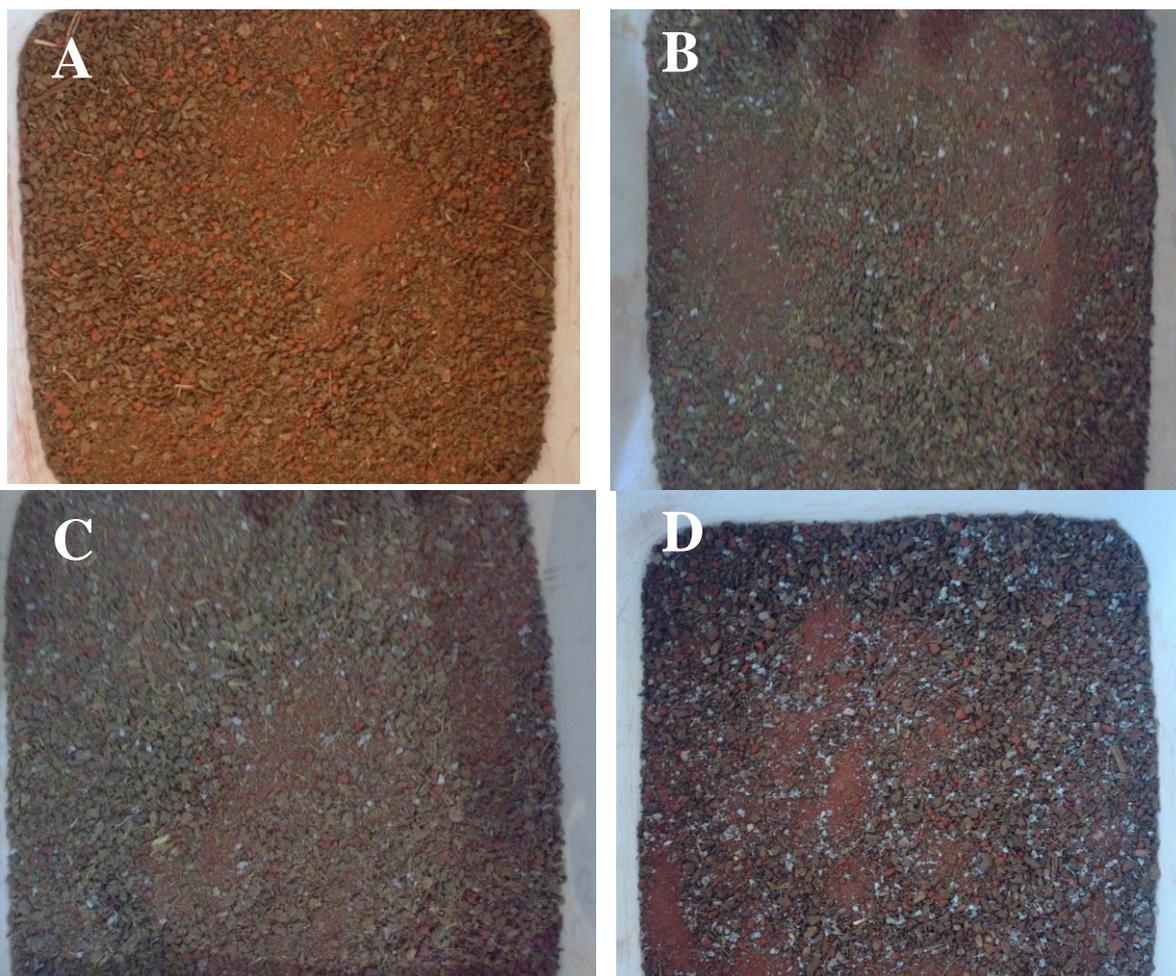
Após a obtenção dos três componentes do substrato em estado desidratado, procedeu-se com a passagem dos mesmos por peneira de malha metálica com 3mm de espessura, com o intuito de homogeneizar os materiais e retirar qualquer impureza que pudesse estar presente. Na sequência, as diferentes proporções de cada tratamento foram pesadas em balança digital com precisão de quatro casas decimais e cada mistura homogeneizada como pode ser observado na Figura 1.

O substrato proposto neste estudo visou recriar a estrutura de um solo do tipo Latossolo Vermelho com no mínimo 45 g/Kg de matéria orgânica e diferentes concentrações de lodo de curtume. Esta concentração de matéria orgânica é observada em solos de grande qualidade, como os de vegetação nativa do Cerrado e os utilizados em

sistemas de plantio direto, e é um atributo essencial para a sobrevivência e prosperidade da espécie de minhoca *Eisenia fetida* (Guareschi et al. 2013, Reineck & Viljoen 1991).

Devido à baixa concentração de matéria orgânica originalmente presente no solo (Tabela 1) o mesmo foi suplementado com 20% de esterco bovino em todos os tratamentos. Dessa forma, todos os tratamentos possuíam 20% de esterco bovino e variadas concentrações de solo e lodo de curtume, totalizando em todas as unidades experimentais 1 Kg de massa seca.

As concentrações de lodo de curtume no substrato variaram entre 1% e 60%. Associados ao esterco bovino e solo foram testados os seguintes tratamentos: **Grupo Controle** – composto por 80% de solo + 20% de esterco, sem lodo de curtume; **Grupo 1%** – contendo 1% de lodo; **Grupo 5%** – contendo 5% de lodo; **Grupo 10%** – contendo 10% de lodo; **Grupo 20%** – contendo 20% de lodo; **Grupo 30%** – contendo 30% de lodo; **Grupo 40%** – contendo 40% de lodo; **Grupo 50%** – contendo 50% de lodo; **Grupo 60%** – contendo 60% de lodo (Figura 1).



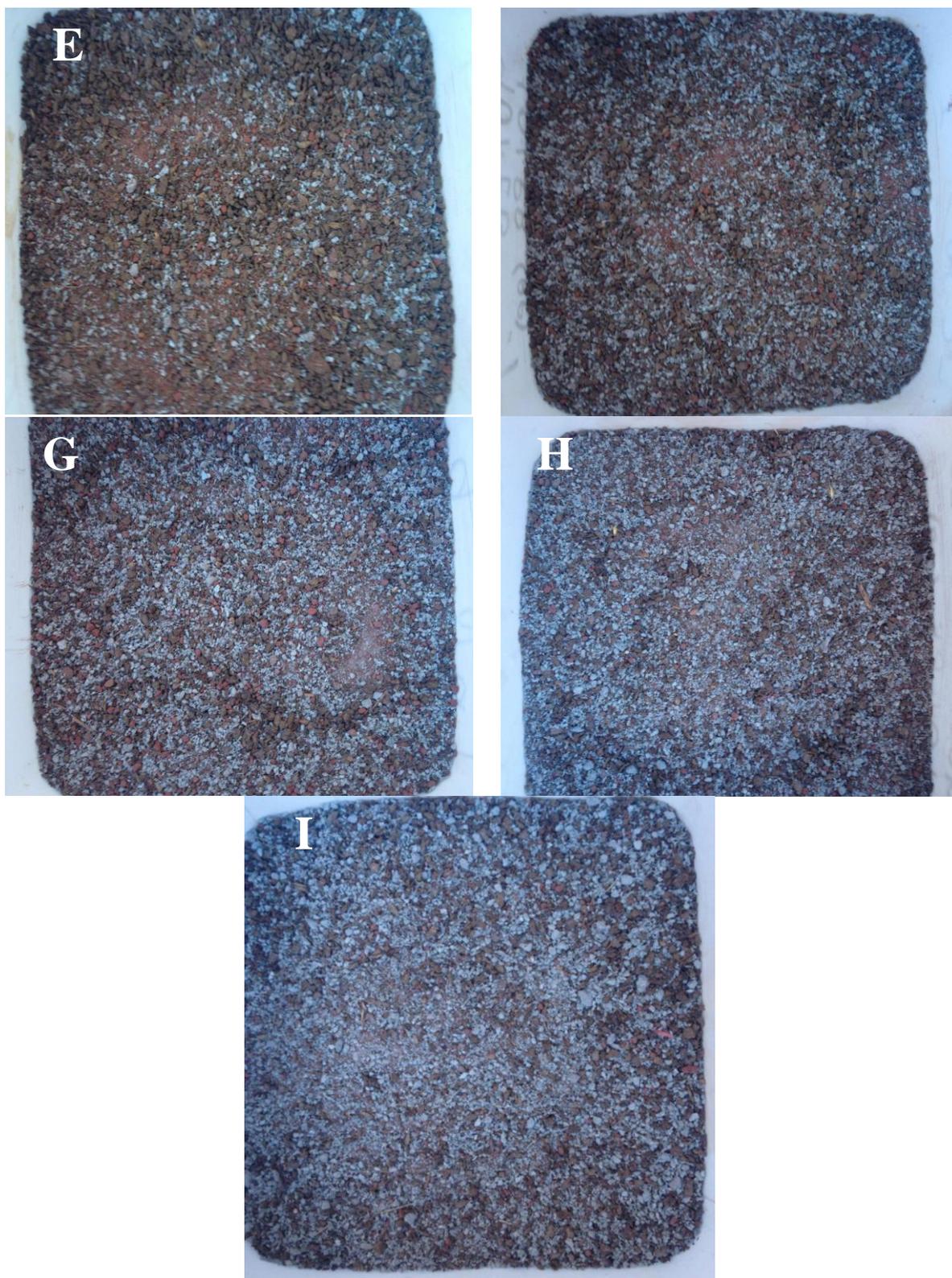


Figura 1. Substratos obtidos a partir de diferentes proporções de solo (Latosolo Vermelho), esterco bovino e lodo de curtume (*Wet Blue*) utilizados no presente estudo. São apresentados os aspectos visuais das misturas correspondentes a diferentes concentrações de lodo de curtume: **A** – Grupo Controle sem lodo de curtume; **B** – Grupo 1% de lodo; **C** – 5% de lodo; **D** – 10% de lodo; **E** – 20% de lodo; **F** – 30% de lodo; **G** – 40% de lodo; **H** – 50% de lodo; **I** – 60% de lodo.

Após a formulação do substrato foram inoculadas 20 minhocas da espécie *Eisenia fetida* em cada unidade experimental, sendo que foram nove tratamentos com sete repetições cada. O período experimental teve duração de 14 dias, tido como período subcrônico de exposição. Nas primeiras 48 h foram realizadas verificações das repetições a cada três horas ao longo do dia, a fim de identificar minhocas mortas devido a toxicidade do substrato. Os indivíduos mortos foram retirados e quantificados. A distribuição das unidades amostrais pode ser observada na Figura 2.



Figura 2. Arranjo espacial das unidades experimentais contendo substratos obtidos a partir de diferentes proporções de solo (Latosolo Vermelho), esterco bovino e lodo de curtume (*Wet Blue*) utilizados no presente estudo. Em cada unidade foram inoculadas 20 minhocas da espécie *Eisenia fetida*.

2.2. Caracterização química dos substratos

Após coleta, desidratação e limpeza por meio do processo de peneira, como descritos na sessão 2.1., os três componentes do substrato utilizado foram devidamente homogeneizados e amostras foram coletadas para realização de caracterização química. Todas as amostras foram analisadas no laboratório comercial Terra Análises Para Agropecuária LTDA, localizado na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil. Os resultados das análises se encontram na Tabela 1, na qual é possível comparar as concentrações de cada elemento nos três substratos isoladamente.

Tabela 1. Caracterização química de lodo de curtume do tipo *wet blue*, esterco bovino e Latossolo Vermelho utilizados no estudo

	Solo	Esterco	Lodo de curtume	Unidade
pH(CaCl₂)	5,4	7,5	7,9	Un.
Ca	1,6	5	9,8	molc/dm ³
Mg	0,4	4	3,2	cmolc/dm ³
Ca+Mg	2	9	13	cmolc/dm ³
Al	0	0	0	cmolc/dm ³
H+Al	1,6	1	0,7	cmolc/dm ³
CTC	3,8	10,43	14,11	cmolc/dm ³
P (Melich I)	1	360	18	mg/dm ³
K	0,205	0,435	0,409	cmolc/dm ³
K	80	170	160	mg/dm ³
Mat. Org.	0,7	20	13,5	%
Mat. Org.	7	200	135	g/kg
Sat. Al (M%)	0	0	0	%
Sat. Base (V%)	58	91	95	%
Ca/Mg	4	1,3	3,1	.
Ca/CTC	42,1	48,1	69,5	%
Mg/CTC	10,5	38,5	22,7	%
(H+Al)/CTC	42,1	9,6	5	%
K/CTC	5,4	4,2	2,9	%
N	0,04	1	0,68	%
Cd	1	1	1	ppm
Cr	1	1	48333,33	ppm
Ni	1	1	75	ppm
Pb	1	1	1	ppm

2.3. Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de pressupostos por meio do teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de Levene, seguidos por análise de variância (ANOVA de Medida Repetida) e teste Tukey com 5% de significância. Todas as análises foram conduzidas utilizando o Software R versão 3.5.3 (R Core Team 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Parâmetros biológicos e toxicológicos da aplicação de lodo de curtume in natura no solo seguido de vermicompostagem

Os resultados deste estudo demonstraram alta letalidade dos substratos com maiores concentrações de vermicomposto. Os tratamentos com concentrações de 10% a 60% resultaram na morte de todas as minhocas nas primeiras 24 h, sendo altamente tóxicos a espécie *Eisenia fetida* nas condições experimentais (Figura 3). Esta letalidade pode estar relacionada a grande concentração de cromo no lodo de curtume, como observado na Tabela 1, o lodo utilizado neste estudo possuía $48.333,33 \text{ mg kg}^{-1}$, dose 967 vezes maior que o limite máximo de 500 mg kg^{-1} estabelecido no Brasil (Rodrigues et al., 1993).

Resultado parecido foi observado no estudo de Stevens (2014) que também conduziu vermicompostagem de lodo de curtume associado a Argissolo. A autora observou letalidade total em doses acima de 20% de lodo. Entretanto a concentração de cromo no lodo utilizado no estudo é aproximadamente cinco vezes menos que o utilizado no presente estudo, além de outros compostos que contribuem para a toxicidade do lodo.

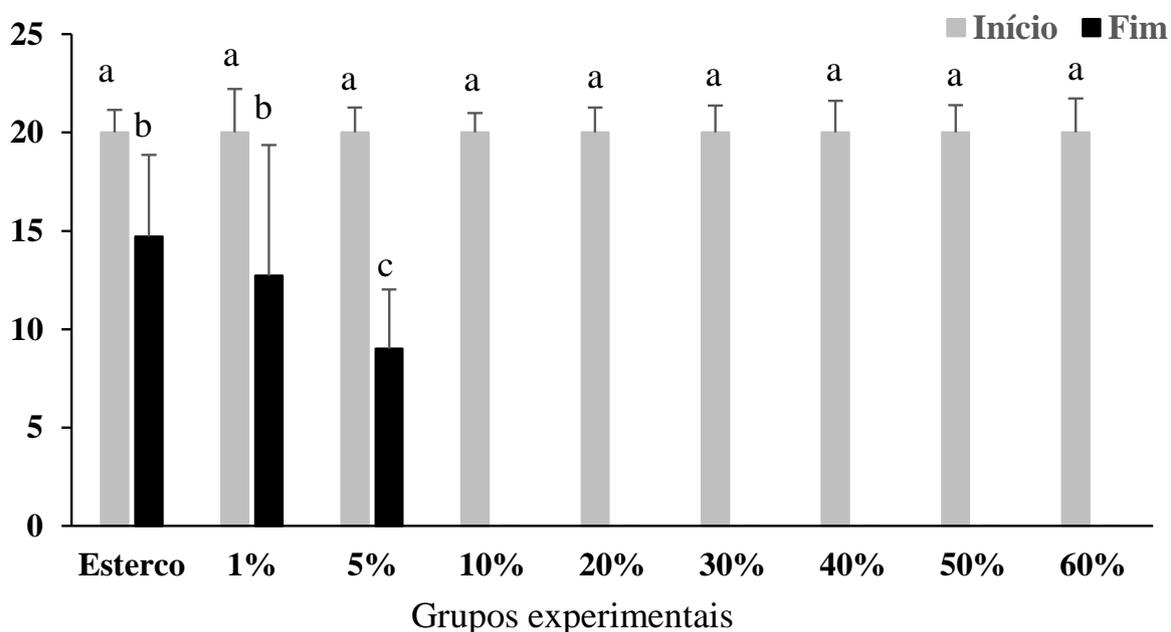


Figura 3. Número médio de minhocas vivas no início e fim do período experimental. Dados são expressos em média \pm desvio padrão do número total de indivíduos entre as sete repetições de cada grupo (N=63), em ambos os tempos. Letras indicam diferença estatística entre os grupos por meio dos testes Anova de Medida Repetida e Teste de Tukey, ambos a 5% de significância ($p < 0,05$).

Como pode ser observado na Figura 3, em todos os grupos com minhocas sobreviventes houve diminuição significativa do número de minhocas vivas ao fim do estudo, comparando ao início. Os grupos Esterco (0% de lodo) e 1% apresentaram comportamentos iguais estatisticamente, e ambos apresentaram mortalidade menor que o grupo 5%, no qual 55% dos indivíduos morreram, sendo equivalente aproximadamente à CL_{50} para as características do estudo. Desse modo, foi possível estabelecer doses totalmente letais, a CL_{50} e uma concentração de 1% (20 t ha^{-1}) que possa ser utilizada na deposição de lodo in natura no solo sem que haja incremento da mortalidade de minhocas desta espécie.

Outro dado importante sobre a condição fisiológica é o ganho de massa corporal, que apesar de não indicar saúde inequivocamente é um forte indicador do estado nutricional. Na Figura 4 está demonstrada a massa conjunta média, da soma de todas as minhocas vivas por tratamento, no início e fim do estudo. Como pode ser observado o tratamento 5% estabelecido aproximadamente como CL_{50} além de ocasionar a morte de 55% das minhocas resultou aparente perda significativa de massa corporal em relação ao início do estudo. Por outro lado, o grupo 1% apresentou ganho de massa igual estatisticamente ao grupo Esterco (0%), indicando ausência ou baixa toxicidade.

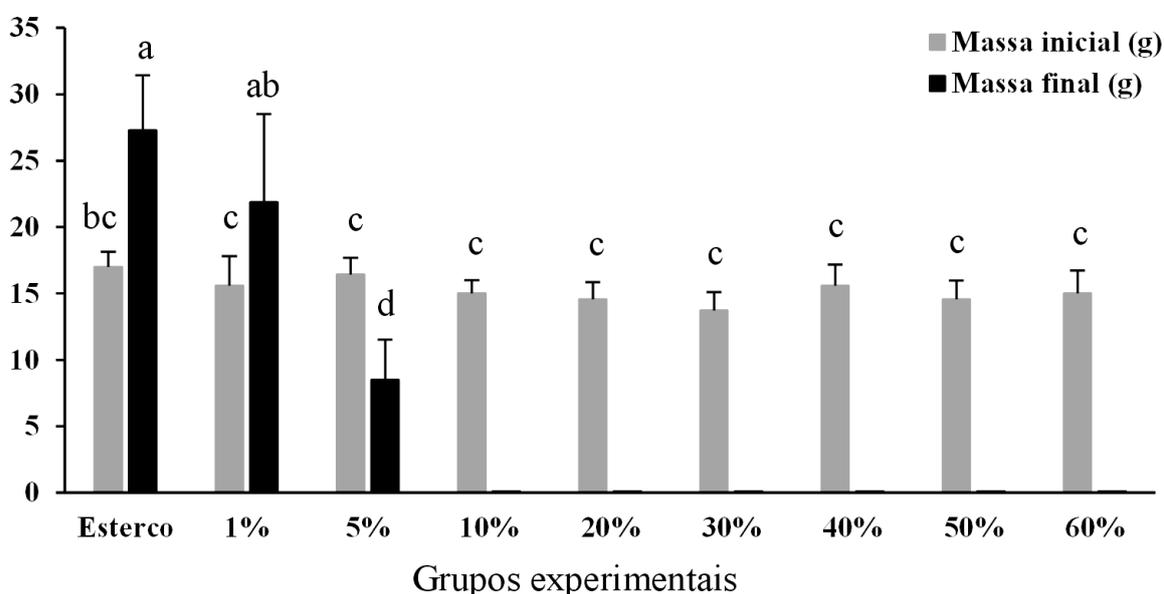


Figura 4. Massa corporal média dos grupos no início e fim do período experimental. Dados são expressos em média \pm desvio padrão dos conjuntos de minhocas dos grupos (N=63). Letras indicam diferença estatística entre os grupos por meio dos testes Anova de Medida Repetida e Teste de Tukey, ambos a 5% de significância ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes foram encontrados por Vig et al. (2011) e Malafaia et al. (2015^{ab}) em estudos de vermicompostagem de lodo de curtume com esterco bovino apenas, nos quais doses menores propiciaram ganho expressivo de massa corporal, enquanto doses elevadas ocasionaram perda de massa ao longo do estudo. Dessa forma, fica evidente que o estabelecimento da concentração utilizada deve levar em consideração métricas biológicas além do número de minhocas vivas como é realizado em grande parte dos estudos, pois doses sub-letais às minhocas podem ser tóxicas e ocasionar diversos distúrbios de saúde.

Além de se analisar a massa conjunta das minhocas é importante avaliar a massa média individual, de modo a corrigir os diferentes números de sobreviventes em cada grupo. Na Figura 5 é apresentado o ganho de massa médio por indivíduo, corrigindo a diferença entre quantidade de vivos por tratamento, e ao comparar à Figura 4 é possível notar diferenças que não seria notadas sem esta simples análise individualizada.

Fica evidente que as médias dos grupos 1% e Esterco são mais próximas que pareciam na Figura 4 e que não houve perda de peso real no grupo 5%, as minhocas que sobreviveram permaneceram com a mesma massa do início do estudo. Contudo, o fato de não ganharem peso no grupo 5% como nos outros dois grupos é suficiente para sugerir que esta concentração apresenta um toxicidade que não pode ser menosprezada ao definir doses a serem aplicadas, e sugere que outras condições de desequilíbrio fisiológico podem estar ocorrendo em minhocas *E. fetida*.

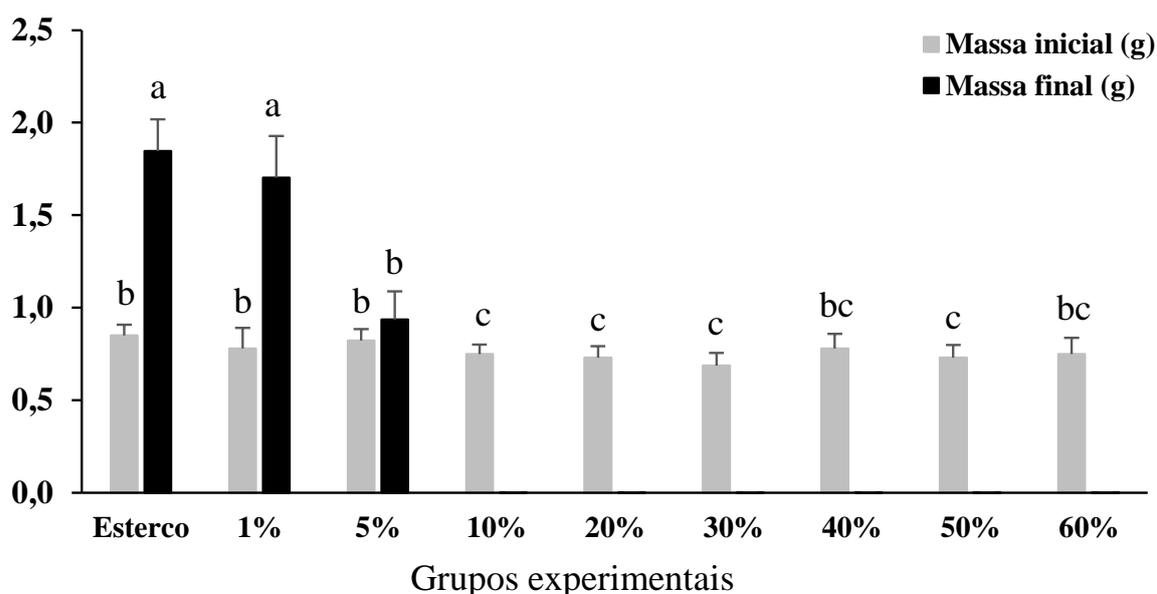


Figura 5. Massa corporal média por indivíduo dos grupos no início e fim do período experimental. Dados são expressos em média \pm desvio padrão da massa corporal de cada

indivíduo isoladamente entre os grupos (N=63). Letras indicam diferença estatística entre os grupos por meio dos testes Anova de Medida Repetida e Teste de Tukey, ambos a 5% de significância ($p < 0,05$).

Sobre a toxicidade do lodo os trabalhos de Stevens (2014) e Hoehne et al. (2017) realizaram vermicompostagem de lodo de curtume associada diretamente ao solo, como no presente estudo, sendo utilizadas três espécies distintas de minhocas *Ensenia andrei*, *Eudrilus eugeniae* e *Perionyx excavatus* no primeiro e *E. andrei* no segundo. Os resultados de Stevens (2014) demonstraram que a associação entre lodo de curtume e solo contendo $9.772,00 \text{ mg kg}^{-1}$ e $84,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de cromo, respectivamente, foi letal a todas as minhocas das três espécies em concentrações acima de 20%. Já Hoehne et al. (2017) obtiveram letalidade total com doses acima de 10%, com concentrações de cromo de 1070 mg kg^{-1} no lodo e 21 mg kg^{-1} no solo.

No presente estudo, com concentrações de cromo no lodo e solo de $48.333,33 \text{ mg kg}^{-1}$ e $< 1 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, as doses acima de 5% foram letais a todas as minhocas *Eisenia fetida*. A concentração aproximadamente 5 vezes maior de cromo que o estudo de Stevens (2014), mesmo se tratando de espécies de minhocas distintas, aponta para a correlação direta entre a concentração do metal pesado e a toxicidade deste. Comparando ao estudo de Hoehne et al. (2017) a concentração de cromo que foi letal às minhocas foi consideravelmente menor que no presente estudo e Stevens (2014). Contudo, os autores não dosaram outros metais pesados, como nos dois estudos citados, bem como outros compostos potencialmente tóxicos que pudessem explicar tal letalidade com concentrações expressivamente menores que os aqui comparados.

Como as concentrações de cromo nos lodos variam consideravelmente, é necessário buscar mais estudos a fim de compreender até quais doses deste elemento são suportáveis para as minhocas. Os resultados aqui apresentados demonstraram uma CL_{50} com a concentração de $2.410,00 \text{ mg kg}^{-1}$, dose aproximadamente 5 vezes maior que a dose máxima recomendada no Brasil de 500 mg kg^{-1} de cromo (Rodrigues et al., 1993). Além disso, é importante destacar que apesar do cromo ser indicado como principal causador da toxicidade do lodo de curtume, outros compostos orgânicos e inorgânicos também têm esse papel, tornando o estudo do lodo e efluente de curtume complexo e de difícil generalização (Malafaia et al. 2013).

A toxicidade do cromo aos seres vivos é conhecida, sendo o Cr^{6+} tido como mais preocupante e o Cr^{3+} reconhecido como pouco tóxico, a menos que esteja em grades

concentrações como as observadas nos lodos e efluentes de curtume (Castilhos et al. 1999, Hoehne et al. 2017). O lodo de curtume costuma apresentar o tipo Cr^{3+} e durante a vermicompostagem não foi observada transição para a forma Cr^{6+} (Castilhos et al. 1999, Hoehne et al. 2017). Tal transição também não foi observada na deposição de lodo in natura no solo (Castilhos et al. 1999).

No trabalho de Castilhos et al. (1999) os autores testaram a condição inversa, a redução de Cr^{6+} a Cr^{3+} adicionando o elemento isolado ou lodo de curtume ao solo do tipo Argissolo. Os autores concluíram que a redução do Cr^{6+} a Cr^{3+} é uma reação de ocorrência comum no solo, desde que a sua presença não ultrapasse a capacidade redutora do carbono orgânico, Fe^{2+} ou Mn^{2+} presentes, sendo fortemente correlacionada com a disponibilidade de matéria orgânica no solo.

Neste estudo, os autores também compararam a ação microbiana na redução de Cr^{6+} a Cr^{3+} por meio de amostras de Argissolo esterilizadas ou não, sendo que a matéria orgânica foi representada pela adição de esterco bovino, similar ao presente estudo. Os resultados destacaram que as amostras com micro-organismos vivos apresentaram redução 16% maior que as esterilizadas, um dia após a aplicação, semelhante aos resultados observados por De Leo & Ehrlich (1994), Wang & Shen (1995) e Losi et al. (1994). Por outro lado, ao fim do experimento de 42 dias, ambas as amostraram apresentaram redução total do Cr^{6+} aplicado, evidenciando que independente da microbiota a redução ocorre no solo, entretanto, de maneira mais lenta.

Dessa forma, pode-se inferir que tanto na disposição do lodo in natura no solo, como na vermicompostagem com posterior incorporação no solo o cromo presente tende a estar na forma Cr^{3+} ou ser rapidamente reduzida a esta. Os usos agrônômicos destas duas técnicas precisam estar focados na concentração de cromo no substrato e na quantidade aplicada por hectare, além de outros possíveis componentes tóxicos como já mencionado.

3.2. Bioacumulação de metais pesados

Na esteira de estudos que buscam diminuir a carga de metais pesados provenientes do lodo de curtume estão trabalhos envolvendo bioacumulação no lodo in natura depositado no solo, em suas diversas modalidades como apresentado no Quadro 1. Também são conhecidos estudos por meio do cultivo de plantas após incorporação de vermicomposto no solo. Já foram plantadas sob solo com vermicomposto Feijoeiro *Phaseolus Vulgaris*, Rabanete *Raphanus Sativus* e Rúcula *Eruca Sativa* (Barbosa 1996), Trigo *Triticum spp.* (Contreras-Ramos et al. 2004), Milho *Zea mays*, Girassol *Helianthus*

annuus e Aveia *Avena sativa* (Gondek & Filipek-Mazur 2003), Cebolinha *Allium schoenoprasum* (Stevens 2014), Rúcula *Eruca vesicaria* (Hoehne et al. 2017), Tomate Santa Cruz (Cunha et al. 2018), Couve-chinesa *Brassica rapa* e Alface *Lactuca sativa* (Haroun et al. 2009).

A fitoacumulação e translocação de Cromo e Níquel em plantas cultivadas sob solo com lodo in natura apresenta diferentes comportamentos de acordo com a espécie vegetal estudada. Em Mostarda *Brassica campestris*, Mamona *Ricinus communis*, Mostarde-castanha *Brassica juncea* e Oleandro *Nerium oleander* foi verificada pequena translocação para parte aérea, em plantas cultivadas em concentrações menores de lodo de curtume, sendo que o metal ficou predominantemente acumulado nas raízes (Gupta et al. 2010, Rani et al. 2017).

Por outro lado, em Fedegoso *Chenopodium album* a acumulação de cromo na parte aérea da planta foi maior que nas raízes (Gupta & Sinha 2007). Em relação ao níquel, observou-se alta translocação para a parte aérea em *B. campestris* e *C. album* (Gupta & Sinha 2007, Gupta et al. 2010). Cultivares como estas que apresentam grande translocação para a parte que é colhida gera preocupações no sentido da concentração destes metais afetar os consumidores. Contudo, quando se objetiva descontaminar um solo com excessos destes metais elas podem ser interessantes, pois os retiram do solo e a parte colhida da planta pode ser destinada a outra área retirando os elementos do solo contaminado.

Sobre o cultivo de plantas após incorporação de vermicomposto no solo os resultados ligados ao composto estabilizado em geral são positivos. Gondek & Filipek-Mazur (2003) avaliaram o cultivo de milho, girassol e aveia em solos adubados com vermicomposto de lodo de curtume, esterco bovino e adubação mineral e observaram que os tratamentos com vermicomposto e esterco bovino foram igualmente eficientes para as plantas, mas ambos inferiores à adubação mineral. Os autores evidenciaram menor acumulação de metais pesados no tratamento com vermicomposto, e o teor absorvido predominava no sistema radicular.

Resultado semelhante foi encontrado por Stevens (2014) que cultivou Cebolinha com diferentes doses de vermicomposto de lodo de curtume. Os teores de cromo na raiz e na folha da cebolinha diminuíram com o aumento das doses do composto aplicado. A autora defende que isso provavelmente ocorreu devido à presença de ácidos húmicos que podem ter complexado o metal, deixando-o menos biodisponível para as cebolinhas. Os resultados de Stevens (2014) apontam que o vermicomposto produzido a partir de 20% de lodo de curtume e a espécie *E. andrei* foi o melhor para a posterior cultura de cebolinha.

Sobre a fitotoxicidade do húmus produzido com lodo de curtume os resultados em geral apontam pouca toxicidade como Stevens (2014) e Haroun et al. (2009) no qual o índice de germinação para couve e alface chinesa foi de 97% após 60 dias de compostagem, mostrando que o composto final não era fitotóxico. Já o estudo de Contreras-Ramos et al. (2004) compostaram lodo de curtume associado a esterco bovino e palha de trigo por 90 dias. Ao fim, as características do composto indicaram que estava estabilizado, mas o índice de germinação para agrião foi menor que 50%, sugerindo a presença de algum elemento fitotóxico no composto, provavelmente a alta concentração de sal (Na) e não de metais como inicialmente se pressupõe.

Hoehne et al. (2017) realizaram uso de húmus em plantações de rúcula (*Eruca vesicaria*), o vermicomposto contribuiu para o crescimento da planta, podendo ser usado nas proporções de 25% (500 t ha⁻¹) de húmus e 75% de solo, sem apresentar diferença estatística em relação ao T1 (teste sem resíduo) na massa fresca e seca, no crescimento da parte aérea, na raiz e no número de folhas. O resíduo influenciou negativamente no crescimento da raiz, o que pode prejudicar na sustentação e na aquisição de minerais da planta do solo.

A utilização de vermicomposto para diferentes culturas já foi associada à água residuária doméstica, outro resíduo com potencial agrícola pouco explorado. Nos estudos de Cunha et al. (2016, 2018) foi cultivado Tomateiro Santa Cruz sendo obtidos bons resultados tanto na colheita como na congelação dos tomates por 120 dias sem perda da sua qualidade. Malafaia et al. (2015^c) cultivaram Milho e obtiveram maiores altura e diâmetro caulinar em plantas em solo adubado com vermicomposto e água residuária. Os três estudos concluíram que o cultivo utilizando o vermicomposto de lodo de curtume e água residuária doméstica pode ser utilizado como alternativa de descarte destes, sem ocasionar prejuízo às culturas, e em alguns parâmetros obtendo melhora significativa.

Dessa forma, observa-se um grande potencial nas mais diversas formas de se produzir e utilizar vermicomposto de lodo de curtume e deposição do lodo in natura no solo. Ambas as técnicas devem considerar a dosagem ideal do ponto de vista da toxicidade, enriquecimento agrônômico e também logístico. Este último ponto pode ser limitante na utilização real por parte das indústrias curtumeiras e agricultura, sendo discutido na sessão seguinte.

3.3. Logística e viabilidade da utilização agrônômica

Frente a possibilidade de usos agronômicos um critério importante é a logística de aplicação de tais substratos, contudo esta abordagem tem sido pouco levada em consideração nos estudos experimentais da área. No presente estudo a melhor concentração de lodo aplicada, que apresentou resultados similares ao solo enriquecido com esterco bovino foi a dose de 1%. Inicialmente este valor pode parecer uma dose pequena, contudo ela representa 20 t ha⁻¹, considerado a camada de 0-20 cm de profundidade amplamente utilizada na agricultura.

Esta condição já é muitas vezes superior a imensa maioria das aplicações com finalidade de adubação ou correções de pH com calcário. Por exemplo, em regiões de Cerrado Brasileiro, em um Latossolo Vermelho como o utilizado no presente estudo, é comum a utilização de 1 a 4 t ha⁻¹ de calcário para correção do pH do solo e 500 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8 para a cultura do milho *Zea mays* e 500 kg ha⁻¹ 0-20-20 para cultura da soja *Glycine max* (Miranda et al. 2005).

Nos estudos experimentais geralmente as doses são maiores que o 1% (20 t ha⁻¹) aqui proposto, o que representaria aplicar 200 t ha⁻¹ como na concentração 10% em Hoehne et al. (2017), 400 t ha⁻¹ na dose 20% no estudo de Stevens (2014), 500 t ha⁻¹ no grupo 25% de Malafaia et al. (2015^b), 1000 t ha⁻¹ na concentração 50% de Malafaia et al. (2015^a) ou 1500 t ha⁻¹ no tratamento 75% de Vig et al. (2011). Dessa forma, fica evidente que os bons resultados experimentais destes estudos são de difícil aplicação à risca em campo, e o fator logístico deve ser ponderado ao se vislumbrar uma técnica eficiente e que seja realmente utilizada na rotina de descarte de lodos de curtume.

Do ponto de vista nutricional, analisando os três principais macronutrientes N-P-K a adubação fornecida pela concentração de 1% (20 t ha⁻¹) seria de 13,6-0,36-3,2 kg ha⁻¹, respectivamente. Esta dose não seria suficiente para a cultura do milho por exemplo, com demandas superiores a esta, mas representaria uma diminuição considerável na quantidade de adubo mineral que seria necessária. Se agregada a ideia de que este descarte ambientalmente correto é extremamente importante, a prática de adubação de solos com lodo in natura nesta concentração pode ser bastante interessante.

O grande volume de lodo utilizado em cada hectare é equivalente a geração do processamento de muitas peles bovinas, de modo que não seriam necessárias áreas tão grandes para descartar adequadamente a produção de lodo de cada curtume. Outro ponto importante é a análise de qual o período necessário entre uma adubação e outra de lodo de curtume por ha, este dado não foi pesquisado ainda e é importante para traçar estratégias aplicação e reaplicação de lodo sem saturar o solo de elementos tóxicos e/ou indesejáveis.

4. CONCLUSÃO

A partir dos dados encontrados no presente estudo e condições utilizadas, pode-se concluir que a vermicompostagem de lodo de curtume in natura, depositado sobre o solo, pode ocorrer por meio das minhocas ali presentes, desde que as concentrações de lodo aplicadas sejam sub-letais, critério que deve ser valorizado e se tornar norteador da quantidade aplicada. Com base nos resultados foi possível estabelecer doses totalmente letais $\geq 10\%$, a CL_{50} de 5% de lodo de curtume e uma concentração de 1% (20 t ha^{-1}) de lodo depositado in natura no solo, que possa ser utilizada como estratégia de descarte ambientalmente correto, seja viável do ponto de vista logístico e contribua para a agricultura, sem que haja incremento da mortalidade de minhocas desta espécie.

Devido à grande variação na composição dos lodos de curtume observados e a complexidade de compostos nele presente, é importante avaliar concentrações alternativas dos principais elementos tóxicos presentes, além do cromo que é um pouco melhor estudado que os demais. A partir destes resultados, é importante realizar testes com estas doses em minhocas nativas de cada região do planeta em que se pretenda utilizar a técnica a fim de compreender a resistência destas ao lodo in natura. Também se faz importante avaliar a toxicidade para outros organismos presentes no solo, que possam ser impactados por doses menor ou iguais à proposta neste estudo.

5. REFERÊNCIAS

Allué J, Garcés AM, Bech J, Barcelo J, Poschenrieder C. (2014). Fractionation of chromium in tannery sludge-amended soil and its availability to fenugreek plants. *J Soils Sediments* 14: 697–702. Doi: 10.1007/s11368-013-0776-1

Barbosa RM. (1996). Absorção e Translocação de Cromo em Feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris*), Rabanete (*Raphanus Sativus*) e Rúcula (*Eruca Sativa*) Cultivados em Vermicomposto de Resíduos de Curtume. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo.

Batista MM, Alovise AMT. (2010). Alterações de atributos químicos do solo e rendimento da cana soca pela utilização de lodo de curtume. *Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente* 13(17): 387-396.

Bidone FRA, Povinelli J. (1995). Vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato.

Bidone, F. R. A., & Povinelli, J. (1995). *Vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato*. Universidade de São Paulo, São Carlos.

Castilhos DD, Vidor C, Tedesco MJ. (1999). Redução do Cromo em Solo Suprido com Lodo de Curtume e Cromo Hexavalente. *Revista Brasileira de AGROCIÊNCIA* 5(3): 228-232.

Centro das indústrias de curtume do brasil - CICB. (2016). *Exportações brasileiras de couros e peles*, p.1-7.

Choudhary RK, Swati A, Hait S. (2019). Vermicomposting of Primary Clarified Tannery Sludge Employing *Eisenia fetida*. In: Rathinasamy M, Chandramouli S, Phanindra K, Mahesh U. (eds) *Water Resources and Environmental Engineering II*. Springer, Singapore. Doi: 10.1007/978-981-13-2038-5_13

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. (2015). *Guia Técnico Ambiental de Curtumes*. São Paulo. 2ª. Edição.

Contreras-Ramos SM, Alvarez-Bernal D, Trujillo-Tapia N, Dendooven L. (2004). Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw. *Biores. Technol.* 94(2): 223–228. Doi: 10.1016 / j.biortech.2003.12.001

Cunha AHN, Fernandes EP, Araújo FG, Malafaia G, Vieira JA. (2015). Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. *Multi-Science Journal* 1(3):31-39.

Cunha AHN, Fernandes EP, Araújo FG. (2016). Cultivo do Tomateiro Santa Cruz irrigado com água residuária doméstica e adubado com vermicomposto de lodo de curtume. *Multi-Science Journal* 1(6).

Cunha AHN, Moura TR, Ferreira RB, Gomes FP. (2018). Caracterização físico-química de tomate Santa Cruz cultivado com água residuária e produzido com vermicomposto. *Gl. Sci Technol* 11(2): 12-22.

De Leo CP, Ehrlich HL. (1994). Reduction of hexavalent chromium by *Pseudomonas fluorescens* LB 300 in batch and continuous cultures. *Applied Microbiology Biotechnology* 30: 756-759.

Domingos DC, Boeira SL. (2015). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos domiciliares: análise do atual cenário no município de Florianópolis. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 4(3): 14-30.

Ganem RS. (2007). Curtumes: aspectos ambientais. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados/, 2007. 17p. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1281/curtumes_aspectos_senna.pdf?sequence=1>. Acesso em 20 nov. 2019.

Godecke MV, Rodrigues MAS, Naime RH. (2012). Resíduos de curtume: estudo das tendências de pesquisa. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 7(7): 1357-1378.

Gondek K, Filipek-Mazur B. (2003). Biomass yields of shoots and roots of plants cultivated in soil amended by vermicomposts based on tannery sludge and content of heavy metals in plant tissues. *Plant Soil Environ.* 49: 402-409. Doi: 10.17221/4144-PSE

Gondek K. (2008). Chromium bioaccumulation from composts and vermicomposts based on tannery sludges. *Journal of Central European Agriculture* 9(1): 129-139. Doi: 10.5513/jcea.v9i1.504

Guareschi RF, Pereira MG, Perin A. (2013). Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. *Semina: Ciências Agrárias* 34(6): 2615-2627. Doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p2615

Gupta AK, Mishra RK, Sinha S, Lee BK. (2010). Growth, metal accumulation and yield performance of *Brassica campestris* L. (cv. *Pusa Jaikisan*) grown on soil amended with

tannery sludge/fly ash mixture. *Ecological Engineering*, 36(8), 981–991. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.04.003

Gupta AK, Sinha S. (2007). Phytoextraction capacity of the *Chenopodium album* L: grown on soil amended with tannery sludge. *Biores. Technol.* 98: 442–446. Doi: 10.1016/j.biortech.2006.01.015

Haroun M, Idris A, Omar SRS. (2007^a). Characterisation and Composting of Tannery Sludge. *Malaysian Journal of Soil Science* 11: 71-80.

Haroun M, Idris A, Omar SRS. (2007^b). Physico-chemical characterization of compost of the industrial tannery sludge. *J. Eng. Sci. Technol.* 2(1): 81–94.

Haroun M, Idris A, Omar SRS. (2009). Analysis of heavy metals during composting of the tannery sludge using physicochemical and spectroscopic techniques. *J. Hazard. Mater.* 165(1–3): 111–119.

Hoehne L, Schmalz FR, Freitas EM, Kuhn D, Etgeton HP, Carlesso WM, Dallazen MC, Orlandi CR, Bruxel F, Santos RP, Picolotto A, Giovanella C, Ethur EM. (2017). Aplicação da vermicompostagem no resíduo tratado de indústria de curtume para cultivo de rúculas. *Destaques Acadêmicos* 9(4): 104-120. Doi: 10.22410/issn.2176-3070.v9i4a2017.1653

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2015). *Produção da pecuária municipal*. Rio de Janeiro 43: 1-49.

Instituto de Estudos e Marketing Industrial – IEMI. (2013). Estudo do Setor de Curtumes; p1-68.

Kraemer MEP. (2006). Resíduos industriais e a questão ambiental associada à contabilidade aplicada ao ambiente natural. *Revista Técnica do Conselho Regional de Contabilidade do Rio Grande do Sul* 7(30): 06-17.

Lima AFO, Sabiá RJ, Teixeira RNP, Junior FAVS. (2015). Gestão de resíduos eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental. *Latin American Journal of Business Management* 6(2): 109-126.

López-Luna J, González-Chávez MC, Esparza-García FJ, Rodríguez-Vázquez R. (2009). Toxicity assessment of soil amended with tannery sludge, trivalent chromium and hexavalent chromium, using wheat, oat and sorghum plants. *Journal of Hazardous Materials* 163(2-3): 829–834. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.034

Losi ME, Amrhein C, Frankenberger WT. (1994). Factors affecting chemical and biological reduction of hexavalent chromium in soil. *Environmental Toxicology and Chemistry* 13: 1727-1735.

Malafaia G, Estrela DC, Guimarães ATB, de Araújo FG, Leandro WM, Rodrigues ASL. (2015^a). Vermicomposting of different types of tanning sludge (liming and primary) mixed with cattle dung. *Ecological Engineering* 85: 301–306. Doi:10.1016/j.ecoleng.2015.10.010

Malafaia G, Jordão CR, Araújo FG, Leandro WM, Rodrigues ASL. (2015^b). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung using *Eisenia fetida*. *Eng Sanit Ambient* 20(4): 709-716. Doi: 10.1590/S1413-41522015020040134645

Malafaia G, Rodrigues ASL, Araújo FG, Leandro WM. (2015^c). Crescimento de plantas de milho em solo acrescido de vermicompostos de lodo de curtume e irrigado com água residuária de esgoto doméstico. *Rev. Ambient. Água* 10(4): 847-862. Doi: 10.4136/ambi-agua.1625

Malafaia G, Rodrigues ASL, Estrela DC, Leandro WM. (2013). Reaproveitamento de lodo de curtume e reuso de água residuária de origem doméstica na cultura do milho. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA* 9(17): 2268-2286.

Miranda LN, Miranda JCC, Rein TA, Gomes AC. (2005). Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. *Pesq. agropec. bras.* 40(6): 563-572.

Moysés FS. (2010). Rato como modelo animal para avaliação da toxicidade induzida pela exposição crônica a efluentes de curtumes: parâmetros comportamentais e bioquímicos. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Fisiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Obregon CGS. (2015). *A sustentável indústria do couro*. Guia Técnico Ambiental de Curtumes. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2^a. Edição. p. 12-13, São Paulo.

Pacheco JWF. (2005). Curtumes – Série P+L. São Paulo: CETESB/Secretaria de Meio Ambiente. 76p. Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

Pandey J, Chand S, Pandey S, Patra RDD. (2015). Palmarosa [*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats.] as a putative crop for phytoremediation, in tannery sludge polluted soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 122: 296-302. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.08.005

Prabakaran M, Binuramesh C, Steinhagen D, Michael RD. (2007). Immune response in the tilapia, *Oreochromis mossambicus* on exposure to tannery effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 68: 372-378.

R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 abr. 2019.

Rani P, Kumar A, Arya RC. (2017). Stabilization of tannery sludge amended soil using *Ricinus communis*, *Brassica juncea* and *Nerium oleander*. *J Soils Sediments* 17: 1449–1458. Doi:10.1007/s11368-016-1466-6

Reinecke AJ, Viljoen AS. (1991). A comparison of the biology of *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* (Oligochaeta). *Biol Fertil Soils* 11:295-300.

Rodrigues ALM, Anghinoni MCM, Tedesco MJ et al. Critérios técnicos para disposição no solo de resíduos sólidos de curtume. In: XXII Congresso da União Internacional dos Químicos e Técnicos da Indústria do Couro. Ed. Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 16 a 20 /11/1993, Porto Alegre.1993. 14p.

Rodrigues ASL, Araujo FG, Menezes IPP, Moreira DA, Souza JAR, Pereira CCO, Salomao LC, Silva AR, Malafaia G. (2016). Characteristic of an Oxisol post-cultivation of the corn using tannery sludge vermicompost and irrigation with domestic wastewater. *African Journal of Agricultural Research* 11(32): 2974-2982. Doi: 10.5897/AJAR2016.11399

Shahmansouri MR, Pourmoghadas H, Parvaresh AR, Alidadi H. (2005). Heavy Metals Bioaccumulation by Iranian and Australian Earthworms (*Eisenia fetida*) in the Sewage Sludge Vermicomposting. *Iranian J Env Health Sci Eng* 2(1): 28-32.

Silva TGN, Santos GR. (2016). Sistemas de Gestão Ambiental em Curtumes. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 10(1): 01-04.

Singh G, Pankaj U, Chand S, Verma RK. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Assisted Phytoextraction of Toxic Metals by *Zea mays* L. From Tannery Sludge, Soil and Sediment Contamination. *An International Journal* 28(8): 729-746. Doi: 10.1080/15320383.2019.1657381

Sinha S, Gupta AK, Bhatt K. (2007). Uptake and translocation of metals in fenugreek grown on soil amended with tannery sludge: Involvement of antioxidants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 67(2): 267-277. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2006.07.005

Stevens D. (2015). O uso da vermicompostagem para redução do cromo em lodo de curtume e após aplicação como fertilizante em cultivo de cebolinha (*Allium fistulosum* L.). Dissertação (Mestrado) – Curso de Biotecnologia, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 61 f.

Tare V, Gupta S, Bose P. (2003). Case Studies on Biological Treatment of Tannery Effluents in India. *Journal of Air & Waste Management Association* 53: 976-982. Doi: 10.1080/10473289.2003.10466250

Vig AP, Singh J, Wani SH, Dhaliwal SS. (2011). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bioresource Technology* 102(17): 7941-7945.

Wang YT, Shen H. (1995). Bacterial reduction of hexavalent chromium. *Journal of Industrial Microbiology* 14: 159-163.