



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS -
PPGCA**

**IMOBILIZAÇÃO DE METAIS PRESENTES NO LODO DE
ESGOTO A PARTIR DA VERMICOMPOSTAGEM E
PRODUÇÃO DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)**

Lilian Patrícia de Ramos

Toledo – Paraná – Brasil

2022



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS -
PPGCA**

**IMOBILIZAÇÃO DE METAIS PRESENTES NO LODO DE
ESGOTO A PARTIR DA VERMICOMPOSTAGEM E
PRODUÇÃO DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)**

Lilian Patrícia de Ramos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste/*Campus* Toledo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien

Toledo – Paraná – Brasil

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ramos, Lilian Patrícia de
Imobilização de metais presentes no lodo de esgoto a partir da vermicompostagem e produção de alface (*Lactuca Sativa*). Lilian Patrícia de Ramos - Toledo, 2022
43 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo

Orientador: Nyamien Yahaut Sebastien

1.Vermicompostagem. 2. Lodo de esgoto. 3. Fitotoxicidade. I. Título. II. Sebastien, Nyamien. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

LILIAN PATRÍCIA DE RAMOS

**IMOBILIZAÇÃO DE METAIS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO A
PARTIR DA VERMICOMPOSTAGEM E PRODUÇÃO DE ALFACE (*LACTUCA
SATIVA*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus Toledo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien

BANCA EXAMINADORA:

Nyamien Yahaut Sebastien
Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Orientador

Pitágoras Augusto Piana
Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE
Examinador

Plínio Emanuel Rodrigues Silva
Doutor, Universidade Paranaense – UNIPAR
Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus que é soberano em minha vida. Obrigada pela minha existência e por me permitir concluir mais uma etapa tão importante e desejada.

A minha família, sendo meu esposo Giovani, que sempre me apoiou e me ajudou, tanto com palavras quanto com atitude no preparo de cada etapa do experimento, sempre estando ao meu lado. Aos meus filhos João Matheus e Júlia, que sempre acreditaram em mim, me dizendo que eu era capaz. Aos meus pais João e Maria Lúcia e minha irmã Mônica, pessoas que entenderam minha ausência em alguns momentos familiares e me ensinam a cada dia o valor e a importância da humildade e dignidade na vida humana. Pelas orações a mim tantas vezes dedicadas, por cada um deles, para que Deus continuasse a me fortalecer e me dar sabedoria.

Ao meu orientador, Nyamien Sebastien, por todo incentivo, paciência, insistência e pelos momentos de sabedoria e conhecimentos transmitidos a mim. Por sempre me apoiar a nunca desistir e dar o melhor de mim. Por tantas conversas distraídas que tivemos ao longo desta caminhada enquanto preparávamos nosso experimento, dando também, exemplo de vida e superação.

Ao diretor da Unioeste Campus Cascavel, Aníbal Mantovani Diniz, pelo consentimento da coleta das minhocas do minhocário da instituição, e seus colaboradores Edite Pinheiro e Sr. Cássio pela disposição em me auxiliar com as coletas. Com certeza, ajudas extremamente valiosas.

A Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, por ter cedido uma porção do lodo da estação de tratamento de esgoto – ETE, unidade Sul da cidade de Toledo – PR, para que essa pesquisa se tornasse possível.

Ao Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental – InPaa na pessoa do professor Dr. Nyamien Yahaut Sebastien, pelo acesso irrestrito ao local para desenvolver todo o experimento que faz parte desta pesquisa.

Ao A3Q Laboratórios LTDA, por autorizar minhas ausências do trabalho para participação das aulas e desenvolvimento de toda a pesquisa. Pela ajuda prestada na realização dos ensaios e por disponibilizar todas as informações pertinentes e necessárias para o tratamento dos resultados obtidos e exposição dos mesmos.

A minha colega de trabalho, companheira de turma e viagem, amiga para a vida, Roberta Cechetti, testemunha dos meus momentos estressantes e calorosos durante esta jornada. Muito obrigada por sua presença, por seus conselhos e paciência. Nossa parceria fez toda a diferença.

Aos meus queridos amigos e colegas de trabalho que sempre me ajudaram na realização das análises necessárias à pesquisa, com toda a dedicação e comprometimento.

A cada um citado aqui e aqueles que nos bastidores se envolveram de alguma maneira, o meu: MUITO OBRIGADA!!! Sem vocês a jornada seria mais longa. DEUS abençoe a vida de cada um!

“Da mesma forma o Espírito de Deus nos ajuda em nossa fraqueza, pois não sabemos como orar, mas o próprio Espírito intercede por nós com gemidos inexprimíveis.”

Romanos 8:26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO GERAL	17
2.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Coleta e Caracterização do Lodo	17
3.1.1	Variáveis analisadas	18
3.2	Caracterização do Substrato Comercial	19
3.3	Teste de Qualidade do Resíduo	20
3.3.1	Testes preliminares e montagem do experimento	20
3.4	Monitoramento	22
3.5	Resultados da Caracterização do Lodo e do Substrato Comercial.....	23
3.6	Resultados da ecotoxicidade.....	24
3.7	Resultados do Teste Preliminar da Vermicompostagem	25
3.8	Resultados dos testes preliminares de fitotoxicidade	25
3.9	Montagem dos Testes Definitivos.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1	Avaliação do Vermicomposto	28
4.2	Avaliação dos Testes de Fitotoxicidade com as Alfaces.....	30
4.3	Contribuição Sócio Ambiental do Resíduo	34
5.	CONCLUSÕES	35
6.	REFERÊNCIAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mudas de alface (<i>Lactuca sativa</i>) com cultivo entre 18 e 20 dias.....	22
Figura 02: Tratamentos com as mudas de alface plantadas.....	22
Figura 03: Teste de toxicidade.....	24
Figura 04: Teste T2, T3, T4 e T5.....	25
Figura 05: T0 mudas de alface.....	25
Figura 06: T1 mudas de alface.....	25
Figura 07: Mudas de alface plantadas com 22 dias de crescimento.....	26
Figura 08: Antes da vermicompostagem.....	29
Figura 09: Depois da vermicompostagem.....	29
Figura 10: Filhote de minhoca.....	30
Figura 11: Casulos fecundados com óvulos.....	30
Figura 12: Regressão da concentração de metal em cada parte da alface em diferentes proporções de substrato. (a) As/Raiz, (b) Cr/Raiz, (c) Cr/Folha, (d) As/Composto, (e) Ba/Composto, (f) Cd/Composto, (g) Cr/Composto e (h) Ni/Composto.....	33
Figura 13: Plantas de alface do tratamento mais concentrado (LE) esquerda, para o menos concentrado.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros químicos avaliados no lodo de esgoto e suas respectivas metodologias.....	18
Tabela 2: Parâmetros químicos avaliados no substrato comercial e suas respectivas metodologias.....	19
Tabela 3: Percentuais de lodo de esgoto nos tratamentos.....	21
Tabela 4: Resultados das análises químicas realizadas no LE e SC.....	23
Tabela 5: Percentuais de lodo de esgoto – Vermicomposto.....	26
Tabela 6: Percentuais de lodo de esgoto – Fitotoxicidade.....	27
Tabela 7: Teores dos metais pesados no composto (LE/SC) e valores de referência.....	27
Tabela 08: Correlação entre a concentração dos metais nos materiais e o resultado final do vermicomposto nos tratamentos definitivos.....	29

RESUMO

IMOBILIZAÇÃO DE METAIS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO A PARTIR DA VERMICOMPOSTAGEM E PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa*)

Devido à complexidade de alguns metais pesados, sua presença em lodos de esgoto, tornam a viabilidade de uso desse material um tanto restritiva, pois as dificuldades em eliminar esses elementos, causam preocupação quando se trata de sua finalidade e/ou uso de forma adequada e segura na agricultura. O estudo em questão teve por objetivo tratar o lodo da estação de tratamento de esgoto para os metais As, Ba, Cd, Cr e Ni, através da técnica de vermicompostagem, com as concentrações de 30, 20, 15, 12,5, 10, 7,5 e 5 % de lodo de esgoto, para verificar a possível redução ou eliminação desses elementos pela ação das minhocas e avaliar se houve ou não transferência dos metais para as partes da alface, após serem plantadas em material com proporções de 15, 12,5, 10, 7,5 e 5% de lodo de esgoto. Os materiais foram preparados com uma mistura de substrato comercial. Ao final do experimento concluiu-se que as minhocas tiveram a capacidade de reduzir os elementos Ba, Cd, Cr e Ni do material preparado, contudo para o As a técnica da vermicompostagem não teve êxito. Já para as mudas de alface plantadas com doses de lodo, identificou-se acúmulo nas raízes somente para os metais As e Cr, sendo que o Cr também foi encontrado nas folhas. Evidenciando que há baixa mobilidade dos metais de interesse nas plantas.

Palavras-chave: Metais pesados; lodo de esgoto; vermicompostagem.

IMMOBILIZATION OF METALS PRESENT IN SEWAGE SLUDGE FROM VERMICOMPOSTING AND LETTUCE PRODUCTION (*Lactuca sativa*)

Due to the complexity of some heavy metals, their presence in sewage sludge, make the feasibility of using this material somewhat restrictive, as the difficulties in eliminating these elements cause concern when it comes to its purpose and/or use in an adequate and safe in agriculture. The study in question aimed to treat the sludge from the sewage treatment plant for metals As, Ba, Cd, Cr and Ni, through the vermicomposting technique, with concentrations of 30, 20, 15, 12.5, 10, 7.5 and 5% of sewage sludge, to verify the possible reduction or elimination of these elements by the action of the earthworms and to evaluate whether or not there was transfer of metals to the lettuce parts, after being planted in material with proportions of 15, 12.5, 10, 7.5 and 5% sewage sludge. The materials were prepared with a commercial substrate mix. At the end of the experiment, it was concluded that the earthworms had the ability to reduce the Ba, Cd, Cr and Ni elements of the prepared material, however, for As, the vermicomposting technique was unsuccessful. As for the lettuce seedlings planted with doses of sludge, accumulation in the roots was identified only for the metals As and Cr, and Cr was also found in the leaves. Showing that there is low mobility of metals of interest in plants.

Keywords: Heavy metals; sewage sludge; vermicomposting.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos é um problema mundial e está se tornando cada vez mais complicado devido ao aumento da população, da industrialização e de mudanças no estilo de vida das pessoas (SINGH, 2011). De acordo com Barros (2022) até recentemente, o lodo produzido nas ETEs era simplesmente considerado um resíduo na visão dos gestores, cujo gerenciamento representava apenas custos, notadamente com o seu tratamento, transporte e disposição final. Esse entendimento ainda predomina na grande maioria das ETEs brasileiras, mas um grande esforço vem sendo feito nos últimos anos no sentido de melhor entender (e explorar) as várias possibilidades de valoração desse subproduto do tratamento de esgoto, tendo em vista sua constituição bastante favorável em termos de nutrientes e matéria orgânica.

O sistema de coleta e tratamento de esgotos domésticos é um dos pressupostos básicos para um ambiente saudável, garantindo qualidade de vida e preservação do meio ambiente (LOPES et al., 2005). Contudo, o lodo gerado a partir das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), tem se tornado um grande problema ambiental devido à sua disposição final.

No Paraná, a empresa de saneamento – Sanepar, órgão do estado responsável pela distribuição da água e tratamento do esgoto, vem investindo em processos e tecnologia de ponta para o tratamento de efluentes. Uma das estações instaladas na cidade de Toledo é a Estação de Tratamento Sul – ETE sul, que recolhe todo o esgoto dessa região com uma vazão total de 100 l/s. Em 2021, a Sanepar destinou gratuitamente para a agricultura 14.370 toneladas de lodo que foram aplicadas em 2.655 hectares. Foram beneficiados 89 produtores de 52 municípios. Além do benefício financeiro – o valor desse volume equivale a cerca de R\$ 2,15 milhões – há um ganho ambiental e de produtividade. E a Sanepar também deixa de destinar esse material para aterros sanitários.

O tratamento de resíduos seja sólido ou líquido é uma prioridade dos governos devido a suas inúmeras consequências sobre a saúde humana. De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (2022) os resíduos podem ter diversas origens, por exemplo, domiciliar e da limpeza urbana (restos de alimentos, de jardinagem, podas etc.), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia,

indústria madeireira, frigoríficos etc.) e de saneamento básico (lodo de estações de tratamento de esgoto).

De acordo com o Brasil (2022), considerando a coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil e a composição gravimétrica já apresentada, em 2018 a fração orgânica correspondeu a cerca de 37 milhões de toneladas (SNIS-RS, 2019). Desse montante, apenas 127.498 toneladas foram valorizadas em unidades de compostagem. O restante da matéria orgânica gerada nas cidades brasileiras foi encaminhado para disposição em aterros sanitários ou, de maneira inadequada, para aterros controlados e lixões (SNIS-RS, 2019). O aterro sanitário ainda figura no país como principal forma de destinação final ambientalmente adequada. Embora seja uma alternativa para eliminar as formas de disposição final inadequadas (lixões e aterros controlados), é essencial implementar políticas de redução, reciclagem e valorização dos resíduos orgânicos para ampliar a vida útil dos aterros sanitários, mitigar as emissões de gases de efeito estufa e reduzir os custos com a manutenção de tais unidades.

Com isso, na prática, os desafios estão no aproveitamento, na recuperação dos materiais descartados e na eliminação das práticas de destinação inadequada que causam impactos negativos à saúde de milhões de brasileiros e ao meio ambiente (GOUVEIA, 2012). Sendo assim, uma das soluções encontradas é o tratamento adequado dos efluentes.

O tratamento de esgoto sanitário produz uma variedade de subprodutos que, caso não sejam adequadamente gerenciados, podem causar uma série de problemas, como geração de odores, atratividade de vetores entre eles mosquitos, formigas, baratas, ratos, e impactos de diferentes graus de magnitude sobre o meio ambiente e a saúde pública (ABES, 2021). Além de gerar custos adicionais para seu armazenamento em aterro sanitário, os resíduos sólidos ameaçam o tempo útil dos aterros devido a quantidade gerada no tratamento.

O lodo de esgoto (LE) é um material que se apresenta em estado semissólido ou líquido pastoso e que concentra boa parte dos poluentes e contaminantes que são removidos durante o tratamento (BARROS et al. 2021). Contudo, segundo Silva P. (2010) o lodo é um resíduo rico em matéria orgânica, sendo esta, fundamental para a manutenção do potencial produtivo do solo. Exercendo também um importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade (NASCIMENTO et al., 2014).

Em concordância, Berttiol (2006), afirma que entre as diversas alternativas existentes para a disposição final do lodo de esgoto, a para fins agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes, devido ao alto teor de matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, sendo recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante.

Para diminuir os riscos de contaminação, além dos processos biológicos para estabilização do lodo de esgoto, existem os processos químicos de transformação, que consistem em adicionar produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, onde a cal é misturada ao lodo, elevando seu pH e inativando a maior parte dos microrganismos patogênicos presentes. Também podem ser utilizados outros produtos químicos como cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e permanganato de potássio (SILVA et al., 2011). No entanto, apesar dessa etapa de estabilização, o biossólido pode continuar gerando algum tipo de impacto ambiental devido à sua disposição ou destino final em decorrência de sua qualidade.

Sendo assim, a possibilidade de contaminação do solo é motivo de preocupação quando este resíduo é usado na agricultura, pois alguns dos principais contaminantes presentes em sua composição são os metais pesados, tais como chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), zinco (Zn) e organismos patogênicos como bactérias, protozoários e vírus (NASCIMENTO et al., 2014).

Ao contrário dos compostos orgânicos, os metais pesados não podem ser degradados e sua redução requer imobilização, redução de toxicidade ou remoção. Alguns metais pesados são micronutrientes essenciais para as plantas em baixas doses, mas em altas doses podem causar distúrbios metabólicos e inibição do crescimento na maioria das espécies vegetais (SINHA et al. 2005).

Embora os metais tenham se tornado elementos bastante importantes no desenvolvimento econômico e tecnológico, muitos são considerados perigosos para os organismos (RIBEIRO, 2015). Sendo assim, as fontes de contaminação por metais podem ser inúmeras, principalmente quando se trata das antropogênicas.

Buscando uma maior clareza dessas possíveis fontes foi esplanada algumas informações a respeito de alguns metais.

O arsênio ocorre natural e amplamente em diversos tipos de minerais constituintes dos solos e em outros compartimentos do ecossistema. Apresenta

diferentes formas químicas, incluindo espécies orgânicas e inorgânicas, como resultado de sua participação em complexos biológicos, processos químicos e algumas aplicações industriais, como na produção de vidros, materiais semicondutores e fotocondutores, na composição de tintas, inseticidas, herbicidas, combustíveis fósseis e, principalmente, como preservantes de madeiras e subproduto de usinas metalúrgicas (PULGAS, 2016).

Os compostos de bário são usados na indústria da borracha, têxtil, cerâmica, farmacêutica, entre outras. Ocorre naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais (CETESB, 2016). O bário é ainda um metal pouco estudado em solos tratados com lodo de esgoto, mas na natureza ele normalmente ocorre associado a outros elementos e as principais formas existentes são o sulfato e o carbonato de Ba. (USEPA, 2005a).

O cádmio é liberado ao ambiente por efluentes industriais, principalmente, de galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local. (CETESB, 2016)

O elemento cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos. Na forma trivalente, é essencial ao metabolismo humano e sua carência causa doenças. Na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno.

O níquel e seus compostos são utilizados em galvanoplastia, na fabricação de aço inoxidável, manufatura de baterias Ni-Cd, moedas, pigmentos, entre outros usos. A maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é a queima de combustíveis, além da mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, industriais de eletrodeposição, fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados. (CETESB, 2016)

Sendo assim, os sistemas produtivos, tanto agropecuários quanto industriais e até as atividades domésticas, dão origem a resíduos orgânicos, que após os devidos tratamentos nas ETEs, geram os biossólidos que, manejados corretamente, podem ser fonte de nutrientes para produção de alimentos, além de proporcionar melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, porém, quando inadequadamente manuseados, podem constituir-se em fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente (SILVA, C. et al 2002).

Neste contexto ao aplicar o biossólido no solo, uma das principais preocupações é a de que os metais pesados podem se acumular nas plantas pelo processo de bioacumulação, e posteriormente serem transferidos para os animais através da cadeia alimentar por biomagnificação (HAYNES et al., 2009). Contudo, segundo Silva P. (2010), um tratamento adequado poderá tornar este resíduo em oportunidade como substrato orgânico para horticultura, floricultura e em agricultura, proporcionando fonte de nutriente para as plantas.

A oportunidade de uso do biossólido, sem os tratamentos adequados no cultivo de hortaliças, traz preocupação, principalmente nas culturas consumidas livremente pela população e que são de fácil produção. Como exemplo temos as Alfaces (*Lactuca sativa*), hortaliça folhosa com cerca de 75 cultivares comerciais no Brasil, consumida, com maior frequência, em saladas cruas e sanduiches. É considerada uma planta de propriedades tranquilizantes, com alto conteúdo de vitaminas A, B e C, além de outros minerais como cálcio, fósforo e potássio. Tem ótimo cultivo em solos ricos em matéria orgânica e nutrientes (LOPES, 2005).

Também seu uso poderá eventualmente reduzir os custos de produção destas culturas proporcionando maior margem de lucro e fonte de renda para as populações mais carentes. Para isso é indispensável tratamentos complementares para tornar o substrato em produto de qualidade oferecendo estas oportunidades.

Desta maneira, para a utilização agrícola faz-se necessária uma estabilização, podendo ser utilizados métodos como, por exemplo, caleação, onde ocorre a elevação da temperatura e do pH do resíduo; a compostagem que é uma técnica de reciclagem dos resíduos orgânicos que permite a transformação de restos orgânicos em adubo, sendo um processo biológico que acelera a decomposição desse material, tendo como produto final o composto orgânico; e a vermicompostagem que é o processo de transformação de matéria orgânica recente em matéria orgânica estabilizada, através da ação das minhocas junto com a microflora do seu trato digestivo. (NASCIMENTO et al., 2014; BRASIL, 2022; SILVA, P. 2010).

Neste processo as minhocas ingerem rapidamente a MO, transformando-a em um composto de melhor qualidade do que os produzidos pelo método tradicional de compostagem (COTTA et al., 2015), pois o coprólito gerado a partir dessa digestão juntamente com as secreções intestinais, a ação das enzimas do tubo digestivo e a atividade de microorganismos nele existentes como bactérias e fungos, proporciona uma produção acelerada de ácidos húmicos que contem nutrientes em maior

concentração (MARTINEZ, 1995; OTHMAN et al., 2012). Embora as minhocas possam transferir resíduos orgânicos para um vermicomposto estabilizado, elas acumulam uma certa quantidade de metais tóxicos em seus tecidos o que pode ser prejudicar a biodiversidade (SUTHAR, 2008). Ainda nos processos de digestão das minhocas o solo é misturado com muco, que ajuda na agregação de partículas, e a deposição de bolotas fecais, que contém grandes concentrações de nutrientes, ajuda na formação do húmus e na fertilidade do solo (SHIPITALO; BAYON, 2004).

As minhocas (*Crassiclitelata*) são oligoquetas terrestres que geralmente vivem no solo. Esses invertebrados constituem a maior biomassa animal na maioria dos ecossistemas temperados, onde influenciam fortemente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Diferentes espécies de minhocas têm diferentes estratégias de vida e ocupam diferentes nichos ecológicos. Assim, as minhocas foram classificadas com base em seus hábitos alimentares e na parte do perfil do solo que habitam em três categorias ecológicas principais: epigéicas, anéicas e endogéicas. As minhocas epigéicas vivem mais perto da superfície do solo, se alimentam principalmente de matéria orgânica em decomposição, têm altas taxas metabólicas e reprodutivas e alta digestão e assimilação de matéria orgânica. Entre as minhocas epigéicas, *Eisenia fetida* e *Eisenia andrei* são as espécies mais utilizadas em instalações de vermicompostagem e vermicultura em todo o mundo (DOMINGUEZ, 2018).

De acordo com Cotta et al. (2015), uma minhoca tem a capacidade de ingerir a quantidade de resíduos por dia equivalente ao seu peso. Sendo ainda, a espécie *Eisenia fetida* a que tem a habilidade de converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado. Já outras espécies precisam de material em estágio mais avançado de decomposição.

A partir da revisão sistemática da literatura, constatou-se que existem vários trabalhos abrangendo as questões da técnica de vermicompostagem, presença de metais nos resíduos das estações de tratamento de esgoto e o uso agrícola do bio sólido, contudo, nenhum trabalho específico foi encontrado, neste sentido, sobre as estações de tratamento de esgoto da companhia de saneamento do estado do Paraná.

Sendo assim, o presente trabalho, propõe avaliar o efeito da vermicompostagem na redução de metais pesados para transformar o resíduo sólido da ETE, buscando a produção de um composto de valor agregado, seja, pelo seu

possível uso como adubo orgânico, substrato ou biofertilizante e a fitotoxicidade para verificar se há transferência desses metais para as demais partes da hortalixa.

2 OBJETIVO GERAL

- Caracterizar os resíduos sólidos de estação de tratamento de efluente de uma (ETE) avaliando sua importância sócio ambiental como produto de oportunidade para reuso.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar o resíduo de forma geral quanto a seu aspecto químico, determinando os parâmetros de maior impacto;
- Realizar os testes de toxicidade do produto;
- Realizar o teste preliminar para determinar as concentrações permitidas para a ação das minhocas e sobrevivência dos vegetais;
- Realizar um tratamento biológico complementar através da vermicompostagem e a fitotoxicidade;
- Avaliar a qualidade dos produtos tratados e um dos agentes tratadores (alface);
- Identificar possíveis destinações do resíduo que possam ter contribuições sócio ambientais e econômicas para a população.

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta e Caracterização do Lodo

O resíduo sólido foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, na unidade Sul, localizada no município de Toledo – PR em saco plástico. Em laboratório este material foi armazenado em geladeira a uma temperatura de 2° C até sua utilização nos testes laboratoriais e no experimento.

A caracterização do material foi realizada através de parâmetros físicos e químicos no Laboratório A3Q LTDA na cidade de Cascavel - Pr, onde uma porção do

produto passou pelo processo de secagem, para determinação da umidade e análises dos parâmetros estabelecidos.

3.1.1 Variáveis analisadas

Para a caracterização do lodo foram utilizadas metodologias específicas em cada parâmetro, assim como, para a quantificação dos metais foi utilizada a extração nítrico-perclórica seguida de leitura em um Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES – Shimadzu 9000).

Todos os parâmetros foram analisados a partir do material seco. Processo este realizado em estufa de secagem a 60°C por 16 horas para o ensaio de pH e a 105°C por 8 horas para todos os demais. (EMBRAPA, 2017; EPA SW-846 Method 3050B)

Tabela 1: Parâmetros químicos avaliados no lodo de esgoto e suas respectivas metodologias.

Parâmetros	Unidade	Método
Arsênio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Bário	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cádmio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Carbono orgânico	g/kg	EMBRAPA (2017)
Chumbo	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cobre	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cromo	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Enxofre total	g/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Fósforo total	g/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Fosfato	g/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Magnésio total	g/mg	EPA SW-846 Method 3050B
Matéria Orgânica	g/kg	EMBRAPA (2017)
Mercúrio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B

Níquel	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Nitrogênio Kjeldahl (Total)	g/kg	EMBRAPA (2017)
pH em água (1:10)	uH	Colorimétrico
Potássio total	g/mg	EPA SW-846 Method 3050B
Sódio	mg/Kg	EPA SW-846 Method 3050B
Selênio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Sulfato	g/mg	EPA SW-846 Method 3050B
Umidade	%	EMBRAPA (2017)
Zinco	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B

3.2 Caracterização do Substrato Comercial

O substrato, para uso nas misturas das proporções dos testes realizados, foi adquirido em casa agropecuária e avaliado de forma a mensurar os metais de interesse no trabalho e proporcionar uma melhor quantificação dos resultados finais.

Tabela 2: Parâmetros químicos avaliados no substrato comercial e suas respectivas metodologias.

Parâmetros	Unidade	Método
Arsênio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Bário	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cádmio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Chumbo	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cobre	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Cromo	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Mercúrio	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
Níquel	mg/kg	EPA SW-846 Method 3050B
pH em água (1:10)	uH	Colorimétrico
Potássio total	g/mg	EPA SW-846 Method 3050B

Sódio	mg/Kg	EPA SW-846 Method 3050B
Umidade	%	EMBRAPA (2017)

Para as avaliações dos parâmetros no substrato comercial, foram utilizadas as mesmas metodologias e procedimentos para o lodo de esgoto.

3.3 Teste de Qualidade do Resíduo

3.3.1 Testes preliminares e montagem do experimento

a) Teste preliminar de vermicompostagem

Para determinar a qualidade do resíduo e definir a concentração que permite seu tratamento, geralmente são realizados os testes ecotoxicológicos de fuga conforme ABNT NBR 17512-1(2011). Esse teste visa avaliar se um solo contaminado ou se um contaminante adicionado ao solo pode causar um comportamento de fuga/rejeição dos organismos. Considera-se como comportamento de fuga o ato de um organismo evitar o solo-teste, com preferência pelo solo controle (EMBRAPA, 2019). O solo teste e o solo controle são colocados dentro do recipiente teste e as minhocas podem escolher entre o solo teste e o solo controle. A função de habitat é considerada limitada se a média das minhocas encontradas no solo controle for superior a 80% (ABNT NBR 17512/2011).

Os ensaios ecotoxicológicos em diferentes sistemas, organismos e compartimentos ambientais são fundamentais para avaliação da segurança ambiental (COSTA et al., 2015). Tratando-se de material sólido, é mais adequado a realização do teste de fuga. Sendo assim, os ensaios de fuga com minhocas das espécies *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida*, são utilizados como métodos alternativos que ajudam a identificar os níveis de toxicidade do ambiente, para medidas de controle, avaliação e gestão ambiental (NUNES; ESPÍNDOLA, 2012).

Contudo, mesmo antes de expor as minhocas no alojamento do teste de fuga, observou-se a fuga das minhocas já no primeiro contato com o resíduo, se afugentando para direções opostas mostrando assim que a influência de diversos elementos presentes no lodo não permite a atratividade desses organismos, mesmo sendo rico em matéria orgânica.

Para definir as melhores porcentagens e dar andamento no experimento, foram realizados tratamentos em triplicata, constituídos do lodo de esgoto (LE) adicionado com substrato comercial (SC) para cultivo de plantas (composto por areia, casca de pinus e terra vegetal, adquirido em loja agropecuária), nas proporções de 0%, 20, 40, 60, 80 e 100% (Tabela 3). De acordo com Maia (1999) o lodo de esgoto não deve ser utilizado na forma pura, pois trata de um material que possui baixa porosidade, sendo assim, misturas, como a utilização de cascas melhoram essa porosidade e a aeração do substrato.

Tabela 3: Percentuais de lodo de esgoto utilizados nos tratamentos.

Tratamentos	Lodo de esgoto (g)	Substrato (g)	Concentração (%)
T0	100	0	100
T1	80	20	80
T2	60	40	60
T3	40	60	40
T4	20	80	20
T5	0	100 (controle)	0

Os materiais LE e SC foram pesados separadamente e suas misturas foram dispostas em recipientes plásticos com 3 ou 4 minhocas. As minhocas utilizadas no trabalho foram cedidas pelo Minhocário da UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná Campus Cascavel.

Para realização do processo de vermicompostagem, foram utilizadas minhocas das espécies *Eisenia fetida* e *Eisenia andrei* que foram inseridas nos recipientes de teste com as proporções estabelecidas para cada tratamento.

O experimento foi conduzido no Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental – InPAA na cidade de Toledo-Pr entre os meses de abril e agosto.

b) Teste preliminar de fitotoxicidade com alface (*Lactuca sativa*)

Para a realização do teste de fitotoxicidade foram utilizadas mudas da Alface (*Lactuca sativa*) (Figura 01) desenvolvidas com aproximadamente 20 dias adquiridas em casa agropecuária. Sendo plantas comestíveis, permitiram avaliar se houve ou não bioacumulação dos metais em suas folhas, conferindo assim, um perigo para a saúde humana. Para isso, os mesmos percentuais definidos nos tratamentos para o

lodo e o substrato na técnica de vermicompostagem, foram também utilizados para cultivar as mudas de alface que foram plantadas em recipientes plásticos e irrigadas com água (Figura 02).



Figura 01: Mudas de alface (Lactuca sativa) com cultivo entre 18 e 20 dias



Figura 02: Tratamentos com as mudas de alface plantadas

3.4 Monitoramento

O sistema foi monitorado a cada 3 ou 4 dias, para observação dos testes e anotações das condições atípicas ao esperado. O teste foi conduzido por um período de 30 a 60 dias, sendo ao final, avaliados os elementos de interesse pré-definidos

para o experimento a fim de determinar a eficiência dos tratamentos, de realizar uma projeção do tratamento e reaproveitamento dos resíduos da estação.

O experimento foi realizado em uma sala onde possibilitasse uma temperatura e luminosidade favoráveis para a atividade das minhocas. Segundo a ISO 11268-2:1998 (ISO, 1998) é recomendado que se utilize a temperatura entre 28 ± 2 °C, que são mais próximas da realidade de regiões com clima tropical e também mais próximas do ótimo para ambas as espécies de *Eisenia*. Para o tempo de luminosidade foi utilizado como parâmetro os tempos sugeridos pela ABNT 2011, que indica entre 12 e 16 horas de luminosidade. As mesmas condições foram estabelecidas para o tratamento com as alfices.

As minhocas não foram alimentadas durante o teste e as mudas de alface foram regadas conforme observada as condições de umidade do solo preparado.

3.5 Resultados da Caracterização do Lodo e do Substrato Comercial

Após a realização das análises previamente definidas, foram obtidos os resultados (Tabela 4) para os parâmetros químicos avaliados no lodo de esgoto e no substrato comercial.

Tabela 4: Resultados das análises químicas.

Parâmetro	Resultado LE	Resultado SC	Unidade
Arsênio	2,37	7,98	mg/kg
Bário	92,55	61,92	mg/kg
Cádmio	4,08	1,65	mg/kg
Carbono orgânico	118,62	–	g/dm ³
Chumbo	<0,01	<0,01	mg/kg
Cobre	193,28	24,82	mg/kg
Cromo	58,13	24,3	mg/kg
Enxofre total	8.257,10	–	mg/kg
Fósforo total	18.678,00	–	mg/kg
Fosfato	57.266,70	–	mg/kg
Magnésio total	2.056,20	–	mg/Kg
Matéria Orgânica	204,49	–	g/kg
Mercúrio	0,28	1,01	mg/kg
Níquel	29,01	16,52	mg/kg
Nitrogênio Kjeldahl (Total)	37,5	–	g/kg
pH em água (1:10)	5,78	–	–

Potássio total	1.138,60	2.734,35	mg/Kg
Selênio	0,146	–	mg/kg
Sulfato	24.738,40	–	mg/Kg
Umidade	77,19	–	%
Zinco	5.619,70	–	mg/kg

Obtidos os resultados da caracterização para o bioossólido, definiu-se que os metais a serem investigados seriam o Arsênio, Bário, Cádmio, Cromo e Níquel.

3.6 Resultados da ecotoxicidade



Figura 03: Teste de toxicidade

Os resultados do teste de toxicidade, foram observados a partir do tratamento To (100% LE) e T1 (80% LE e 20% SC), onde ao adicionar as minhocas nos recipientes respectivos a esses tratamentos, pode-se constatar que as mesmas tinham comportamento de se afastar do material com bastante rapidez. Com isso os dois tratamentos foram descartados da avaliação de transformação do bioossólido e sobrevivência dos organismos, visto que nenhuma minhoca permaneceu no material.

3.7 Resultados do Teste Preliminar da Vermicompostagem



Figura 04: Teste T2, T3, T4 e T5

Os testes dos tratamentos T2, T3, T4 e T5 foram armazenados para observação e posterior avaliação.

Passados três dias pôde-se constatar que as minhocas dos tratamentos T2 e T3 estavam mortas dentro da mistura do material e fora dos recipientes. Ficando evidenciado que em concentrações acima de 40% de biossólido as minhocas têm letalidade. Sendo assim, outros testes foram montados com novas concentrações.

3.8 Resultados dos testes preliminares de fitotoxicidade

Após dois dias do início do teste com as alfaces, pode-se verificar que nos tratamentos T0 e T1 as mudas não demonstraram boa adaptação e estavam morrendo. Nos demais as mudas ainda estavam se mantendo vivas.



Figura 05: T0 mudas de alface



Figura 06: T1 mudas de alface

Pode-se observar que para os demais tratamentos as mudas de alface tiveram um crescimento médio de 39,32 mm, em 22 dias após plantadas, demonstrando assim que alguns nutrientes presentes no produto permitiram o desenvolvimento da hortaliça. (Figuras 07)



Figura 07: Mudanças de alface plantadas com 22 dias de crescimento.

3.9 Montagem dos Testes Definitivos

Para avaliação de substâncias químicas potencialmente tóxicas, um ensaio preliminar pode ser realizado para estabelecer um intervalo de concentrações-teste a ser utilizado no ensaio definitivo (EMBRAPA, 2019). Observado que concentrações acima de 30% tem efeito letal sobre as minhocas e acima de 15% não há boa adaptação e desenvolvimento das mudas de alface, foram definidas novas proporções para as misturas dos testes para dar continuidade ao experimento.

Para os novos testes foram definidas as concentrações de 30, 20, 15, 12,5, 10, 7,5, 5 e 0% para o LE (Tabela 05) e as novas definições para os tratamentos.

Tabela 05: Percentuais de lodo de esgoto - Vermicompostagem.

Tratamentos	Lodo de esgoto (g)	Substrato (g)	Concentração (%)
T1	30	70	30
T2	20	80	20
T3	15	85	15
T4	12,5	87,5	12,5
T5	10	90	10
T6	7,5	92,5	7,5
T7	5	95	5
T8	0	100	0

As porções de cada material foram misturadas manualmente, com ajuda de espátulas, para obtenção de um material homogêneo, em recipientes plásticos transparentes com tampas perfuradas (Figura 01) para permitir as trocas gasosas entre o material e a atmosfera, permitindo assim, também o acesso de luz para a técnica de vermicompostagem (EMBRAPA, 2019). Foram adicionadas no compartimento juntamente ao material de 6 a 7 minhocas.

Para o tratamento de fitotoxicidade foram definidas as concentrações de 15, 12,5, 10, 7,5, 5 e 0% (Tabela 06) para o LE.

Tabela 06: Percentuais de lodo de esgoto - Fitotoxicidade.

Tratamentos	Lodo de esgoto (g)	Substrato (g)	Concentração (%)
T1	15	85	15
T2	12,5	87,5	12,5
T3	10	90	10
T4	7,5	92,5	7,5
T5	5	95	5

Um novo tratamento com controle (100% substrato) não foi realizado, devido evidência anterior de que, devido à falta de nutrientes, a muda não teve um desenvolvimento adequado.

Considerando os resultados obtidos nas caracterizações dos metais presentes no LE e SC (Tabela 4) e as concentrações definitivas para dar continuidade ao experimento calculou-se os valores (Tabela 7) para cada metal de interesse nas misturas, realizando também uma comparação com algumas normas de referência.

Tabela 7: Teores dos metais pesados no composto (LE/SC) e valores de referência.

Metal	LE/SC (%)								Referências	
	30/70	20/80	15/85	12,5/87,5	10/90	7,5/92,5	5/95	0/100	Conama n° 498	SANEPAR
Arsênio	6,30	6,86	7,14	7,28	7,42	7,56	7,70	7,98	41	-
Bário	71,11	68,05	66,51	65,75	64,98	64,22	63,45	61,92	1300	-
Cádmio	2,38	2,14	2,01	1,95	1,89	1,83	1,77	1,65	39	20
Cromo	34,45	31,06	29,37	28,52	27,68	26,83	25,99	24,30	1000	1000
Níquel	20,27	19,02	18,39	18,08	17,77	17,45	17,14	16,52	420	300

De acordo com a CONAMA n° 498/2020 e os valores de referência da SANEPAR, as quantidades de metais não ultrapassaram os valores máximos permitidos para inserção desse tipo de material ao solo para agricultura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação do Vermicomposto

Após 60 dias, o material vermicompostado foi recolhido e enviado para análise em laboratório para determinação dos metais a partir das metodologias específicas.

O vermicomposto final apresentou redução dos teores de alguns metais em relação ao material inicial. Estatisticamente (ANOVA) e pela regressão linear realizada para cada elemento, houve diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de Ba, Cd, Cr e Ni (Tabela 08). Assim como no experimento de Silva (2002), onde foram observadas diferenças significativas para o Cd entre os tratamentos e os valores decrescentes encontrados, que acompanharam as proporções de LE/SC no material do vermicomposto. O declínio de Cd, em relação as concentrações de LE nos tratamentos, também foi observado por Wu et al. (2018) no material vermicompostado. Para o Cr, as reduções, também foram observadas de acordo com a proporção de LE nos tratamentos de Silva (2002) assim como, no resultado obtido por Azizi (2013), onde foi evidenciado redução do Cr no composto final. Em relação as reduções desse metal em comparação com as concentrações iniciais no material, o tratamento também foi significativo. Ao contrário do experimento realizado por Hashemimajd (2011), houve efeito significativo no vermicomposto para o Ni. Lock & Janssen (2002) verificaram uma sensibilidade das minhocas para toxicidade crônica ao níquel, o que pode evidenciar o fato de alguns organismos oligoquetas não degradarem tal elemento.

Já para o As (Tabela 08), os resultados não foram significativos, não sendo possível verificar no material final decréscimo desses elementos a medida em que a relação da concentração de lodo foi reduzida. Para o As também não houve efeito significativo, o que evidencia o exposto por Langdon et al. (1999) de que algumas espécies de minhocas podem desenvolver resistência ao As, e que isto é notável até por reações comportamentais como: enrolamento, rejeição e fuga.

Tabela 08: Correlação entre a concentração dos metais nos materiais e o resultado final do vermicomposto nos tratamentos definitivos.

Tratam. (%)	As		Ba		Cd		Cr		Ni	
	LE+SC	Vermic.	LE+SC	Vermic.	LE+SC	Vermic.	LE+SC	Vermic.	LE+SC	Vermic.
30	6,30	9,02	71,11	40,161	2,38	2,86	34,45	40,99	20,27	20,98
20	6,86	9,68	68,05	28,444	2,14	2,34	31,06	39,84	19,02	21,73
15	7,14	10,75	66,51	0,0008	2,01	2,02	29,37	37,93	18,39	19,61
12,5	7,28	9,09	65,75	0,0008	1,95	2,41	28,52	33,63	18,08	16,96
10	7,42	9,09	64,98	0,0008	1,89	2,2	27,68	31,29	17,77	14,34
7,5	7,56	7,93	64,21	0,0008	1,83	2,26	26,83	28,57	17,46	11,96
5	7,70	9,6	63,45	0,0008	1,77	1,75	25,99	35,25	17,14	13,84
0	7,98	9,56	61,92	0,0008	1,65	0,841	24,30	32,21	16,52	14,89

*Valores expressos em mg/Kg.

Nos tratamentos com porcentagem maior de LE pode-se observar que as minhocas tiveram um desenvolvimento expressivo (Figura 08 e 09), visto pela sua estrutura corporal. Na medida em que o percentual foi reduzido, essa característica não foi tão evidente. Também se observou que houve um número expressivo de filhotes (Figura 10) e muitos casulos (Figura 11) em todos os tratamentos, a desconsiderar o T6 (0% LE) onde o alimento possivelmente se tornou um fator limitante para o desenvolvimento das minhocas, como descrito por Singh (2011).



Figura 08: Antes da vermicompostagem.



Figura 09: Depois da vermicompostagem



Figura 10: Filhote de minhoca.



Figura 11: Casulos fecundados com óvulos.

4.2 Avaliação dos Testes de Fitotoxicidade com as Alfices

As alfaces foram coletadas 40 dias após o plantio. Houve a separação das raízes e partes aéreas do substrato. Ambas passaram por lavagem manual com água

destilada e armazenadas em sacos de papel para posterior secagem e análise. O substrato de plantio foi coletado em sacos plásticos também para envio para análises. As metodologias para preparo e quantificação das amostras foram as indicadas pela EPA SW-846 Method 3050B e Embrapa (2017).

Os valores quantificados para os metais As, Ba, Cd, Cr e Ni nos substratos dos cultivos das alfaces, se mantiveram no material (LE+SC). Para o Ba ($F=25,06$; $p=0,02$) [Fig. 12(e)], Cd ($F=44,23$; $p=0,006$) [Fig. 12(f)] e Ni ($F=53,81$; $p=0,005$) [Fig. 12(h)] houve efeito significativo nas reduções dos metais conforme as concentrações reduzidas de LE nos tratamentos. Nas raízes, para o As ($F=2,15$; $p=0,24$) [Fig. 12(a)] e o Cr ($F=3,00$; $p=0,18$) [Fig. 12(b)], não foi observado efeito significativo de reduções conforme os percentuais também foram reduzidos, contudo, o As ($F=7,14$; $p=0,08$) [Fig. 12(d)] e o Cr ($F=9,88$; $p=0,05$) [Fig. 12(g)] tiveram efeito significativo, assumindo uma tendência de decréscimo das concentrações na medida em que as porcentagens foram reduzidas no material de cultivo. No caso do Ni, o resultado se mostra contrário ao experimento de Camargo (2010), onde plantas de pinhão manso absorveram o metal do bio-sólido proporcionalmente as doses crescentes dos tratamentos. Contudo, o resultado encontrado neste experimento é respectivo ao observado por Lopes (2005), em que o teor de Ni na planta não foi significativo. Ainda no experimento de Camargo (2010), também não houve absorção do Cd do bio-sólido para as partes da alface, mantendo-se o elemento no substrato. O mesmo foi evidenciado no trabalho de Lopes (2005) em que o resultado de Cd não foi significativo na transferência desse metal para a planta. Devido a mobilidade reduzida do elemento Ba (Merlino et al. 2010), quando há presença de outros metais, e também, reação com sais insolúveis como sulfatos e carbonatos, observou-se que esse metal se manteve no composto, sem sofrer transferência para as raízes e folhas das plantas, confirmando o que foi encontrado também por Merlino (2010) onde não houve concentração de Ba nas partes da planta de milho.

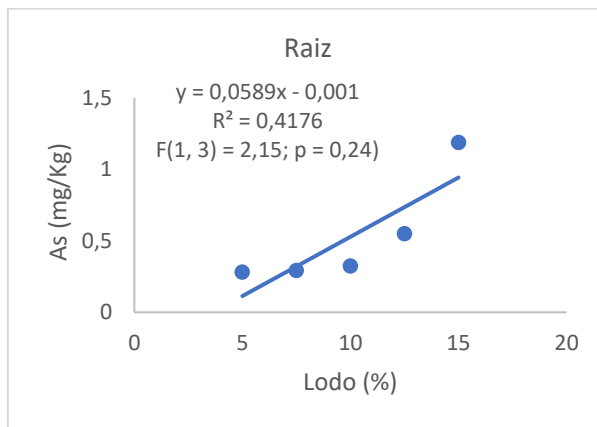
Para o As e Cr verificou-se uma quantidade deles nas raízes em todos os tratamentos e para as folhas somente do Cr. O que também foi apresentado por Nascimento (2014) quando teores de Cr foram quantificados nas folhas e pecíolos das plantas de girassol.

Nas folhas houve efeito significativo para Cr ($F=13,06$; $p=0,04$) [Fig. 12(c)], onde a medida em que as proporções de LE foram reduzidas nos tratamentos, as concentrações desse metal também se tornaram reduzida.

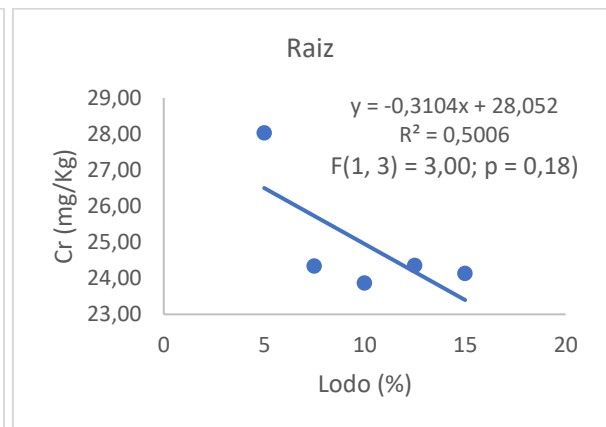
Apesar de presentes no lodo de esgoto e no substrato comercial, as quantidades dos metais em estudo no material estiveram abaixo dos valores indicados como seguros na resolução CONAMA n°498/2020.

Considerando as características de crescimento, visualmente as mudas produzidas com as maiores proporções de LE apresentaram desenvolvimento superior as que continham maiores concentrações de SC (Figura 13).

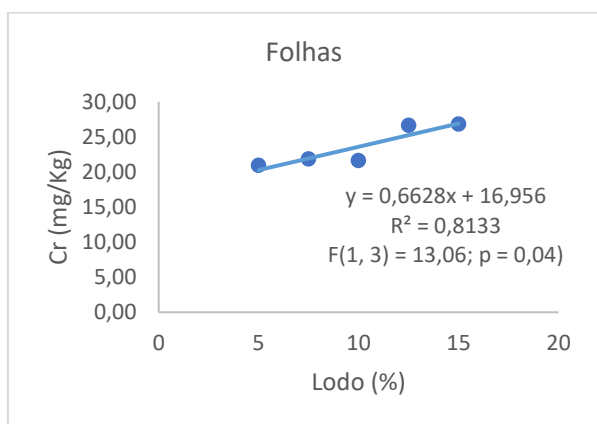
Apesar de estarem presentes no lodo de esgoto e também no substrato comercial, os elementos Ba, Cd e Ni, estiveram abaixo dos limites de quantificação, para as raízes e folhas, pelo método analítico utilizado. Demonstrando assim, que não houve absorção ou transferência desses elementos para essas partes das plantas.



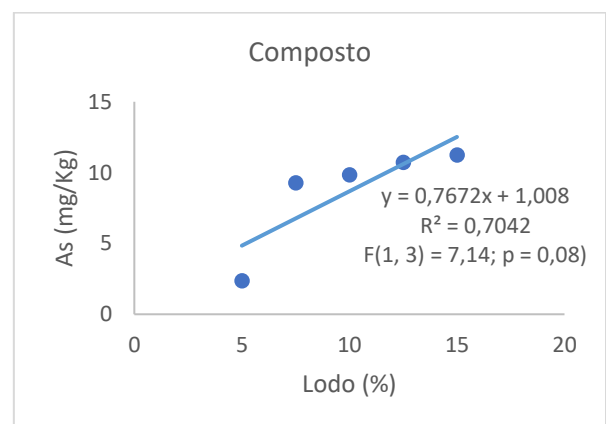
(a)



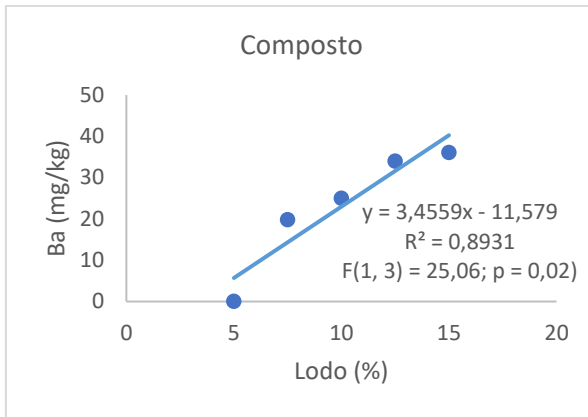
(b)



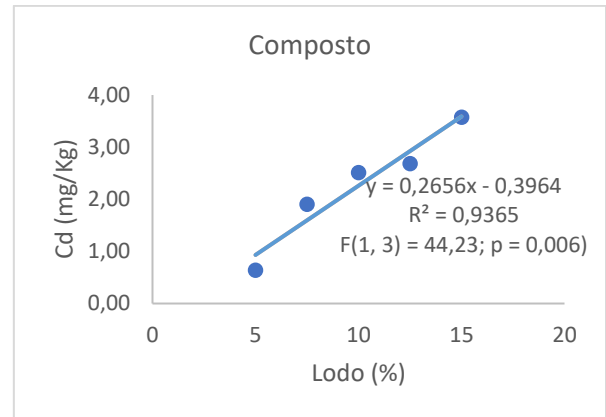
(c)



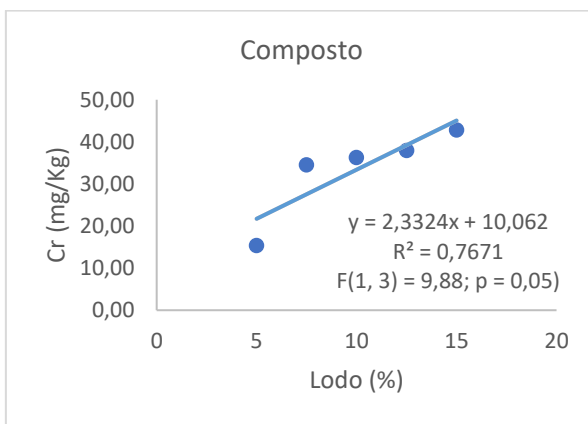
(d)



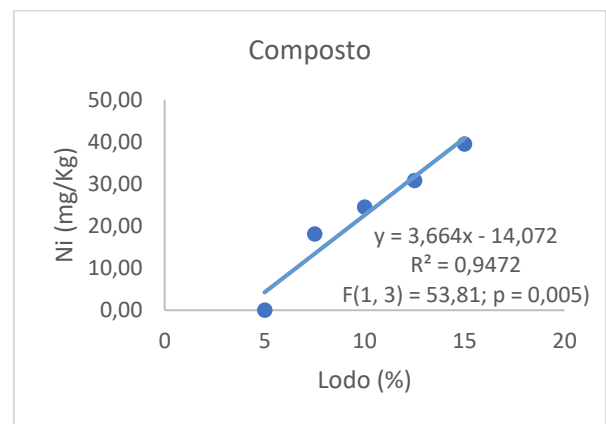
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 12: Regressão da concentração de metal em cada parte da alface em diferentes proporções de substrato. (a) As/Raiz, (b) Cr/Raiz, (c) Cr/Folha, (d) As/Composto, (e) Ba/Composto, (f) Cd/Composto, (g) Cr/Composto e (h) Ni/Composto.



Figura 13: Plantas de alface do tratamento mais concentrado (15%) de LE (esquerda), para o menos concentrado (5%).

4.3 Contribuição Sócio Ambiental do Resíduo

O emprego de fertilizantes e defensivos químicos em hortaliças é uma prática agrícola que traz resultados satisfatórios, porém, deve-se levar em consideração a qualidade do produto, pois sabe-se que o uso desordenado desses insumos pode vir a prejudicar a saúde dos consumidores, além de onerar o custo de produção (Medeiros, 2007).

O uso de produtos alternativos como os biofertilizantes vem crescendo em todo o Brasil. Na busca por insumos menos agressivos ao ambiente e que possibilitem o desenvolvimento de uma agricultura menos dependente de produtos industrializados (Medeiros, 2007).

De acordo com Quintana (2011), o uso do LE pode ser capaz de reduzir a utilização de fertilizantes industriais e diminuir os custos de adubação. Contudo, sua reciclagem agrícola deve obedecer às regras que definem as exigências de qualidade do material, além de outros aspectos, como: limitações ambientais e edáficas, taxa de aplicação e cultura agrícola recomendada.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2022), divulgou técnicas e métodos para tentar ajudar os países a lidar com a escassez de fertilizantes resultante da guerra na Ucrânia. Onde especialistas e autoridades do Brasil, Chile, Peru e países do Caribe compartilharam suas experiências sobre o uso de biofertilizantes, adubos e técnicas como rotação de culturas e uso de leguminosas, que permitem substituir ou complementar os fertilizantes químicos. Tais como a fixação biológica de nitrogênio com bactérias, aplicação de estrume de galinhas, resíduos orgânicos de leiteiras, adubo e húmus de minhoca, misturas de fungos, bactérias e leveduras, que permitem reduzir os custos de fertilização e aumentar os rendimentos produtivos, sendo alguns entre 5 e 20%.

Essas iniciativas visam apoiar alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) como Objetivo 2 “Fome zero e Agricultura sustentável” onde, alguns dos itens visam, até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares; visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, implementando práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a

produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos.

ODS 12 – “Consumo e produção sustentáveis”, onde visa alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente; reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso; garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.

Nestes contextos, se faz evidente que, após um tratamento adequado e que utilizado em concentrações testadas e aprovadas, o bio sólido pode se tornar uma fonte alternativa segura e menos agressiva ao meio ambiente, podendo atender vários dos pontos citados nas metas da ODS, e inclusive na produção de vários tipos de plantas, pois, revisada a instrução normativa 61/2020, do Ministério da Agricultura, o fertilizante orgânico produzido a partir de lodo de esgoto, passou a não ter mais nenhuma restrição, e ser permitido na produção de hortaliças, flores e plantas ornamentais (Revista Globo Rural, 2021), desde que se enquadrem nas classes expostas na referida normativa e também tenha os requisitos mínimos das especificações tanto de nutrientes como de contaminantes.

Tal ação, também visa reduzir a liberação de gases de efeito estufa como o gás carbônico (CO₂) e também do óxido nitroso (N₂O) gerado a partir dos fertilizantes sintéticos, dois grandes vilões para o meio ambiente (BBC KANTER, 2021).

Brockmann et al. (2018) ainda afirma que em uso agrícola, a emissão desses gases pode ser evitada pela substituição da fertilização nitrogenada mineral, pelo uso do lodo de esgoto. Pois o nitrogênio adicionado ao solo via composto ou LE bruto substitui o nitrogênio que seria adicionado a determinada cultura comumente obtido via fertilizante mineral. Assim, toda a emissão atrelada a produção e aplicação de fertilizante é considerada uma emissão evitada quando se substitui essa fonte.

5. CONCLUSÕES

Para os elementos Ba, Cd, Cr e Ni, ficou evidenciado que a ação das minhocas foi eficiente na redução desses metais nas concentrações 30, 20, 15, 12,5, 10, 7,5 e

5% preconizada para o experimento. Já para o arsênio, não houve transformação e nem redução. Para ele não foi possível verificar no material final nenhum decréscimo, indicando assim que as minhocas não conseguiram reduzir as quantidades desse elemento que haviam no composto.

No experimento com as alfaces, para Ba, Cd e Ni não foi observada transferência desses elementos para as raízes e as folhas, permanecendo no composto. Já para As e Cr verificou-se concentração desses metais nas raízes de todos os tratamentos, mesmo apresentando redução conforme as proporções reduzidas de lodo nos testes. Contudo, somente o Cr teve transferência para as folhas sendo observado em todas as proporções dos tratamentos.

Considerando tais resultados e que no presente experimento, foi observado concentrações do cromo nas folhas de alface, o bio-sólido pode ser uma alternativa para uso como biofertilizante no cultivo dessas e outras plantas, contudo merece uma atenção especial para investigação mais ampla do acúmulo desse elemento nas partes comestíveis das hortaliças e suas possíveis consequências. A utilização do LE na agricultura é uma alternativa promissora em virtude de sua sustentabilidade, desde que, sejam utilizadas proporções adequadas para a produção e desenvolvimento das plantas.

Aplicando a técnica de vermicompostagem, foi observada a transformação dos contaminantes Ba, Cd, Cr e Ni, permitindo a utilização do produto final, de forma a aproveitá-lo na cultura de plantas, pois a matéria orgânica gerada nessa produção, pode intensificar a vida do solo e contribuir para auxiliar a saúde do sistema de produção. Já para o As, a técnica merece atenção, e testes mais efetivos, de forma a confirmar que realmente as minhocas não conseguem reduzir ou eliminar tal elemento.

Comprovada a eficiência da tecnologia dos tratamentos, com outros testes para os metais As e Cr, pode-se retratar mais uma alternativa para destinação do resíduo sólido da estação de tratamento como solução econômica a benefício da comunidade e do meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS

ABES - Cadernos Técnico Engenharia Sanitária Ambiental. Coletânea de notas técnicas 2: Valoração e Gerenciamento dos Subprodutos Sólidos do Tratamento do Esgoto. V.2 n.1, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/RESA_NT_v2n1_compressed.pdf Acesso em 25 de abril de 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 17512-1/2011**: qualidade do solo: ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento: parte 1: ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). Rio de Janeiro, 2011.

Acid Digestion of Sediments, Sludges, And Soils. EPA SW-846 Method 3050B. Revisão 2. Dezembro de 1996.

Barros, K; Chernicharo, C; Andreoli, C; Chamhum-Silva, L; Bittencourt, S; Kato, M. Parte A: Higienização e uso de lodo de esgoto no solo Nota Técnica 1 – Tópicos de interesse. Cadernos Técnico Engenharia Sanitária Ambiental. Coletânea de notas técnicas 2: Valoração e Gerenciamento dos Subprodutos Sólidos do Tratamento do Esgoto. V.2 n.1, 2021. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/RESA_NT_v2n1_compressed.pdf acesso em 25 de abril de 2022.

Bettiol, W; Camargo, O. A. Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/7594-compostag>

[em.html](#)> Acesso em 17 de setembro de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria da Qualidade ambiental, 2022. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em 27 de novembro de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução N° 498 de 19 de agosto de 2020. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797 Acesso em 26 de novembro de 2022.

Brockmann D.; Pradel M.; Hélias, A. Agricultural use of organic residues in life cycle assessment: Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 133, 2018, Pages 50-62, ISSN 0921-3449. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.034>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491830034X>) Acesso em 01 dezembro de 202

Camargo, Reginaldo de et al. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-mansão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online]. 2010, v. 14, n. 12 [Acesso 26 novembro 2022], pp. 1304-1310. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200008>>. Epub 02 Dez 2010. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200008>.

Costa, Daniel G.; Campos, Tácio, Mauro P de, Cesar, Ricardo G; Castilhos, Zuleica C.; Rocha, Bianca C.R.C da. Ecotoxicidade do 2,4-D a oligoquetas em função do tipo de solo. *Rev. Bras. Herbic.* 2015; 14:248-255. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v14i3.423> Acesso em 12 de maio de 2022.

Cotta, Jussara Aparecida de Oliveira et al. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Eng. Sanit. Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 65-78, março 2015. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000100065&lng=en&nrm=iso Acesso em 13 de outubro de 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>.

Daoming Wu, Xiaoli Yu, Shuangshuang Chu, Douglass F. Jacobs, Xiaohua Wei, Cai Wang, Fengling Long, Xiaoyang Chen, Shucaï Zeng, Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter, *Science of The Total Environment*, Volume 633, 2018, Pages 71-80, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.167>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309264>) Acesso em 23 de maio de 2021.

EMBRAPA - Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília – DF, 1999. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

EMBRAPA - Ecotoxicologia terrestre: Métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas – Ensaio do comportamento de fuga. Brasília – DF, 2019. Cap. 13 págs. 199 - 208

Gouveia, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciênc. Saúde coletiva* 17 (6), Jun 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>> Acesso em 21 de maio de 2022.

Haynes, R. J.; Murtaza, G.; Naidu, R. Inorganic and organic constituents and contaminants of biosolids: Implications for Land Application. *Advances in Agronomy*. V. 104, p. 165-377, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222159282_Chapter_4_Inorganic_and_Organic_Constituents_and_Contaminants_of_Biosolids_Implications_for_Land_Application> Acesso em 17 de setembro de 2020.

Hashemimajd, Kazem and Jamaati-e-Somarin, Shahzad Contribution of organic bulking materials on chemical quality of sewage sludge vermicompost. *Ciência e Agrotecnologia* [online]. 2011, v. 35, n. 6, pp. 1077-1084. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600006>>. Epub 13 Jan 2012. ISSN 1981-1829. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600006>. Acesso em 09 de junho de 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. PNSB – 2000. Rio de Janeiro: IBGE 2002

Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em 30 de novembro de 2022.

ISO - International Organisation for Standardisation. ISO 11268-2: soil quality- effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*). Part 2: determination of effects on reproduction. Geneva, 1998.

Langdon, Caroline J., Pearce, Trevor G., Black, Stuart, Semple Kirk T. Resistance to arsenic-toxicity in a population of the earthworm *Lumbricus rubellus*, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 31, Issue 14, 1999, Pages 1963-1967, ISSN 0038-0717, [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00118-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00118-2). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071799001182>) Acesso em 25 de novembro de 2022.

Lopes, José Carlos; Ribeiro, Luiz G.; Araújo, Marcelo G. de; Beraldo, Marcela Regina B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, 23(1), 143-147, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362005000100030&lng=en&nrm=iso> Acesso em 29 de agosto de 2020.

Lock, Koen; Janssen, Colin R. Ecotoxicity of nickel to *Eisenia fetida*, *Enchytraeus albidus* and *Folsomia candida*, Chemosphere, Volume 46, Issue 2, 2002, Pages 197-200, ISSN 0045-6535, [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00112-6). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653501001126>) Acesso em 25 de novembro de 2022.

MARTINEZ, A. A. Manual prático do minhocultor. Jaboticabal: FUNEP, 1995.

Medeiros, Damiana Cleuma de *et al.* Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. Horticultura Brasileira [online]. 2007, v. 25, n. 3 [Acesso em 26 novembro 2022], pp. 433-436. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300021>>. Epub 11 Jan 2008. ISSN 1806-9991. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300021>.

Merlino, Luciana Cristina Souza et al. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]. 2010, v. 34, n. 6 [Acesso em: 7 dezembro 2022], pp. 2031-2039. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600027>>. Epub 28 Jan 2011. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600027>.

Nascimento, Altina L.; Sampaio, Regynaldo A., Cruz; Suely F.da, Z. J.; Geraldo R., Barbosa, Cristiane F.; Fernandes, Luiz A.. Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(7), 694-699, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000700004&lng=en&nrm=iso> Acesso em 29 de agosto de 2020.

Nações Unidas Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> Acesso em 09 de fevereiro de 2023.

Nunes, Maria E. T.; Espíndola, Evaldo, Luiz G. Sensitivity of *Eisenia andrei* (Annelida, Oligochaeta) to a commercial formulation of abamectin in avoidance tests with artificial substrate and natural soil under tropical conditions. *Ecotoxicology*. 2012

May;21(4):1063-71. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0859-6>
Acesso em 12 de maio de 2022.

OTHMAN, N.; IRWAN, J.M.; ROSLAN, M. A. Vermicomposting of Food Waste. *International Journal of Integrated Engineering*, Johor, v. 4, n. 2, p. 39-48, 2012. Disponível em: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/198/350>
Acesso em 15 de outubro de 2020.

Quintana, Núria Rosa Gagliardi; Carmo, Maristela Simões do; Melo, Wanderley José de. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. *Nucleus*, v. 8, n. 1, p. 183-191, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/140637>> Acesso em 28 de novembro de 2022.

Revista Globo Rural. Disponível em:
<<https://globorural.globo.com/amp/Noticias/Sustentabilidade/noticia/2021/04/lodo-de-esgoto-sanitario-e-transformado-em-adubo-organico-para-hortas-e-jardins.html>>
Acesso em 30 de novembro de 2022.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/a-sanepar/servicos/residuos-solidos> Acesso em 20 de abril de 2022.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/noticias/lodo-gerado-partir-do-esgoto-e-alternativa-sustentavel-para-agricultura> Acesso em 25 de novembro de 2022.

SHIPITALO, Martin. J.; BAYON, Renee-Claire. Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. Pp. 183-200. *In*: C.A. Edwards (Ed.). *Earthworm ecology*. 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton, 2004. Disponível em: http://doc.rero.ch/record/17435/files/Shipitalo_Martin_-_Quantifying_the_Effects_of_Earthworms_20100310.pdf Acesso em 19 de junho de 2021.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS-RS, 2019, ano-base 2018. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos->

[solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019](#). Acesso em: 01 de novembro de 2022.

Silva, P.R. D; Landgraf, M. D; Zozolotto, T. C; Rezende, M. O. O.; Pelatti, I. Estudo preliminar do vermicomposto produzido de lodo de esgoto doméstico e solo. *Eclética Química*, 35 (3), 61-67, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000300005&lng=en&nrm=iso> Acesso em 08 de setembro de 2020.

Silva, Carlos D.; Costa, Liovando M.; Matos, Antonio T.; Cecon, Paulo R., & Silva, Dilma D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(3), 487-491, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662002000300018&lng=en&nrm=iso> Acesso em 08 de setembro de 2020.

Sinha S, Pandey K, Gupta AK, Bhatt K. Accumulation of metals in vegetables and crops grown in the area irrigated with river water. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2005 Jan;74(1):210-8. doi: 10.1007/s00128-004-0570-2. PMID: 15768521. Acesso em 25 de novembro de 2022.

Singh, R. P. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resour Conserv Recy* (2011) doi: [10.1016/j.resconrec.2011.02.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.005) Disponível em <https://www.academia.edu/13726166/Management_of_urban_solid_waste_Vermicomposting_a_sustainable_option> Acesso em 19 de junho de 2021.

Ula Chrobak BBC Future (Knowable Magazine) Mudanças climáticas: o gás 'esquecido' que contribui 300 vezes mais para efeito estufa do que CO2. 12 julho 2021 Disponível em:<<https://www.bbc.com/future/article/20221129-the-alpine-villages-producing-their-own-power>>. Acesso em 30 de novembro de 2022.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ecological soil screening levels for barium. Washington: EPA, 2005a. 80p. Disponível em: https://rais.ornl.gov/documents/eco-ssl_barium.pdf Acesso em 25 de novembro de 2022