

Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*)

*Sludge toxicity assessment of water and sewage treatment plant before and after vermicomposting, using germination test with lettuce seed (*Lactuca sativa*)*

- **Data de entrada:**
21/02/2017
- **Data de aprovação:**
04/05/2018

Rosângela Gomes Tavares | Maurício Alves da Motta Sobrinho* | Luciana José Ribeiro Pereira | Marcus Metri Côrrea | Valmir Cristiano Marques de Arruda | Rafael Roney Camara de Melo

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.040>

Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a fitotoxicidade de elutriato obtido a partir do lodo de ETA e ETE antes e após o tratamento por vermicompostagem (TVC). Os ensaios utilizaram a água interfacial de lodos puros e consorciados nas parcelas de 75, 50 e 25% dos respectivos lodos (mistura dos lodos de ETA e ETE). Para a avaliação da toxicidade foram utilizadas sementes de alface, *Lactuca sativa*. As sementes foram colocadas em placas de Petri com papel de filtro e umedecidas com 4 mL de solução de elutriato; as placas foram vedadas com papel de filme plástico, para evitar a evaporação do elutriato, e posteriormente com papel alumínio, para preservar a ausência de luz, sendo mantidas numa incubadora, do tipo DBO5 a 25 ± 1 °C por 120 h. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 15 amostras de cada mistura de lodo antes e 15 após o Tratamento por Vermicompostagem (TVC), 5 diluições (10, 25, 50, 75 e 100%) e três repetições, totalizando 450 parcelas de amostras e 6 parcelas de controles. Em todas as amostras e nos controles foram determinadas as concentrações de Al. O teste de toxicidade mostrou que houve um aumento no índice de germinação após TVC; assim como o elutriato com a maior diluição de 10% e me-

Rosângela Gomes Tavares – Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Maurício Alves da Motta Sobrinho – Graduado em Engenharia Química pela UNICAP - PE. Mestre em Engenharia Química pela UFCG. Doutor em Engenharia de Processos pelo INPL - França. Pós-doutorado na UFPE e na UMINHO (Portugal). Coordenador do PPGEQ da UFPE. Membro permanente do PPGE Civil da UFPE. Bolsista de produtividade 2 do CNPq. Professor associado do DEQ - UFPE.

Luciana José Ribeiro Pereira – Graduada em Engenharia Biológica pela UMinho. Investigadora Marie Curie no projeto OXITEX G1TR-CT-2000-00009. Doutora em Biotecnologia Ambiental pela Universidade Técnica de Graz, na Áustria. Pós-doutorado no Instituto de Tecnologia Química e Biotecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Pesquisadora-assistente na equipe CEB / UM / BRIDGE.

Marcus Metri Côrrea – Graduado em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Associado da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Valmir Cristiano Marques de Arruda – Graduado em Engenharia Sanitária pela UFMT. Mestre e doutor em Engenharia Civil pela UFPE. Pós-doutorado em Engenharia Biológica na UMinho, Braga, Portugal. Professor Adjunto III na UFRPE. Professor colaborador no Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Departamento de Tecnologia Rural.

Rafael Roney Camara de Melo – Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco e em Engenharia de Produção Civil pelo Instituto Federal de Pernambuco. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor do Instituto Federal de Pernambuco.

*Endereço para correspondência: Rua Padre Landin, 312 - ap. 401, Recife - PE. E-mail: motta@ufpe.br

nor concentração de Al, obtiveram-se resultados mais expressivos, mostrando que a germinação das sementes foi reduzida proporcionalmente ao aumento nas concentrações de Al presente no elutriato.

Palavras-chave: Lodo de ETA. Lodo de ETE. Fitotoxicidade. *Lactuca sativa*.

Abstract

*The objective of this work was to evaluate the phytotoxicity of elutriate obtained from WTP and WWTP sludge before and after treatment by vermicomposting (TVC). The tests used the interfacial water of pure and consorted sludge in the 75, 50 and 25% of the respective sludge (mixture of WTP and WWTP sludge) sludges. To evaluate the toxicity were used seeds of lettuce, *Lactuca sativa*. The lettuce seeds were placed in Petri dishes with filter paper and moistened with 4 mL of elutriate solution, the plates were sealed with plastic film, to avoid evaporation of the elutriate, and later with aluminum foil, to preserve the absence of light, kept in a BOD type incubator at 25 ± 1 °C for 120 hours. The design was completely randomized with 15 samples of each sludge mixture, before and 15 after the TVC, 5 dilutions (10, 25, 50, 75 and 100%) and three replications, totaling 450 sample plots and 6 plots of controls. Al concentrations were determined in all samples and controls. The toxicity test showed that there was an increase in germination index after CVT; As well as the elutriate, with the highest dilution of 10% and lower Al concentration, obtained a more expressive result, showing that the germination of the seeds was reduced proportionally to the increase of aluminum concentrations present in the elutriate.*

Keywords: WTP sludge. WWTP sludge. Phytotoxicity. *Lactuca sativa*.

1 INTRODUÇÃO

O principal problema associado à disposição ambiental do lodo de estações de tratamento de água (ETA) está na presença e, em geral, na elevada concentração do metal alumínio, na forma de sulfato de Al. Esse coagulante é, ainda, o mais comumente utilizado no tratamento de água, cujas concentrações nos lodos de ETA variam enormemente de ETA para ETA. Essa variabilidade está relacionada principalmente ao processo utilizado, à vazão, aos tipos de equipamentos utilizados e, sobretudo, à qualidade da água bruta disponível, das dosagens e produtos químicos utilizados, assim como do processo de limpeza de decantadores (ANDREOLI et al., 2001).

Apesar de proibida, uma prática ainda corriqueira, em grande parte das ETAs é o lançamento de seus lodos nos mananciais a jusante da captação, como destinação final, ou em terrenos próximos às estações. A presença de Al em concentrações elevadas nesses lodos pode induzir toxicidade

aos organismos aquáticos e aumentar a degradação desses ambientes. Considerando ainda que esses lodos, além de conterem metais, apresentam concentrações elevadas de sólidos, turbidez e DQO, fatores que podem causar condições indesejáveis, tais como a criação de bancos de lodo, o assoreamento do curso d'água, alterações na cor, na luminosidade e na composição química, interferindo nos fenômenos biológicos naturais da macro e microbiota aquática e nos fenômenos de auto-depuração do corpo receptor (ANDRADE, 2014).

Uma vez lançados no solo, os metais tendem a se acumular, podendo atingir diversos níveis da cadeia alimentar, afetando a saúde humana. Elevadas concentrações de alumínio, quando dispostos no solo, podem propiciar a redução da taxa de crescimento radicular de plantas sensíveis, diminuindo a capacidade para obter água e nutrientes do subsolo, tornando o solo menos produtivo. Entretanto, poucos estudos relacio-

nam o metal alumínio e sua dispersão no meio ambiente com fatores relacionados à toxicidade e, sobretudo, a aspectos de saúde pública. Também deve-se considerar que as características dos lodos variam grandemente e a presença de outros metais e contaminantes orgânicos e inorgânicos na sua composição deve ser considerada (MIGUEL et al., 2010).

A toxicidade pode ser definida como um resultado nocivo sobre organismos vivos, provocados por substâncias químicas e substâncias próprias do organismo. A indicação de agentes tóxicos, por meio de testes de toxicidade ou testes ecotoxicológicos, denominados de bioensaios, objetiva determinar o efeito causado por esses agentes, uma ou mais substâncias, ou fatores ambientais, levando em consideração o tempo de exposição, a concentração e os efeitos adversos dos poluentes sobre as comunidades biológicas (GOLDSTEIN, 1988). A contaminação ambiental causada por diversas fontes, como efluentes agrícolas, industriais e domésticos, sedimentos, medicamentos e produtos químicos, pode ser avaliada pelos testes de ecotoxicidade (MARSCHNER, 1999; LOMBARDI, 2004).

As plantas são organismos eucariontes, fotossintetizantes e de metabolismo complexo. Na fase de germinação, as sementes passam por mudanças fisiológicas bastante intensas, estando muito sensíveis a qualquer fator de estresse ambiental. Sementes de plantas são largamente utilizadas em diversos tipos de bioensaios de toxicidade. Plantas sensíveis às substâncias tóxicas podem ser utilizadas como indicadores da qualidade do meio, constituindo-se bioensaios de fitotoxicidade (CUNHA, 2011). A *Lactuca sa-*

tiva, devido a sua sensibilidade, tem sido amplamente utilizada em testes de fitotoxicidade (DING et al., 2009).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o grau de fitotoxicidade do lodo de ETA e estações de tratamento de esgotos (ETEs), antes e após tratamento, por meio da vermicompostagem, quanto às características germinativas e de crescimento inicial do bioindicador sementes de alface (*Lactuca sativa*).

2 METODOLOGIA

2.1 Amostras de lodo

Os lodos utilizados neste trabalho foram provenientes de uma ETA (tratamento convencional – coagulação/floculação/decantação) e de duas ETEs uma com tratamento aeróbio (lodo ativado com aeração prolongada) e outra com anaeróbio (reator UASB). Ressalta-se que os lodos foram coletados na descarga de fundo do decantador no caso da ETA e na base do reator anaeróbio no caso do LETE, ou seja, sem passar por desidratação. Diante da possibilidade de tratamento consorciado do lodo de ETA (LETA) com o lodo de ETE (LETE), foi estabelecida a mistura desses lodos em várias concentrações. A caracterização do lodo está apresentada em TAVARES (2016).

Para submeter os resíduos sólidos ao tratamento por vermicompostagem, foi necessário realizar o deságue do mesmo, em sistema montado em laboratório com dispositivos tubulares de geotêxtil (bag), modelo cedido pela TenCate Geotube foi o GT 500 (diâmetro médio dos poros de 80 μ (ASTM D6767) e dimensões de 53 x 51 cm (Figura 1).



Figura 1 - Saco geotêxtil (geomembrana)

Fonte: Góis (2015)

As amostras de lodo, após deságue, que foram preparadas e tratadas por vermicompostagem, receberam as nomenclaturas descritas abaixo. A Tabela 1 apresenta a composição dos substratos submetidos ao tratamento de vermicompostagem.

- LETA – Lodo de ETA;
- LETEM – Lodo de ETE Mangueira (anaeróbico);
- LETELA – Lodo de ETE Lógica Ambiental (aeróbico);

Tabela 1. Composição das amostras submetidas ao teste de toxicidade

Composição	Tratamento de vermicompostagem
100% LETA	T1
100% LETEM	T2
100% LETELA	T3
75% LETA + 25% LETEM	T4
75% LETA + 25% LETELA	T5
50% LETA + 50% LETEM	T6
50% LETA + 50% LETELA	T7
25% LETA + 75% LETEM	T8
25% LETA + 75% LETELA	T9
75% LETA + 25% LETEM	T10
75% LETA + 25% LETELA	T11
50% LETA + 50% LETEM	T12
50% LETA + 50% LETELA	T13
25% LETA + 75% LETEM	T14
25% LETA + 75% LETELA	T15

2.2 Preparação do elutriato

Antes da realização do bioensaio de toxicidade, foi realizada a solubilização do resíduo seguindo a metodologia descrita na NBR 10006 (ABNT, 2004). Tomou-se 20g da amostra, dos referidos substratos e tratamento descritos na Tabela 1, dissolvendo-a em 100 mL de água destilada, em *erlenmeyer* de 250 mL, mantendo a proporção 1:5 (m/v). A mistura foi agitada em uma mesa agitadora, por 24 horas, e decantada por 7 dias em frasco tampado. Após esse período, foram retirados 50 mL do sobrenadante, denominado elutriato. A partir dessa solução, elutriato a 100% (“solução-mãe”), foram preparadas diluições com 75%, 50%, 25% e 10%. Também foi utilizada uma solução controle com água destilada.

2.3 Condução do bioensaio com a *Lactuca sativa*

O teste de toxicidade com *Lactuca sativa* ocorreu em condições estáticas, com base nas metodo-

logias descritas por Tam e Tiquia (1994), Dutka (1989) e Andrade (2009), com as devidas adaptações. Foram utilizadas placas de Petri de 9 (nove) cm de diâmetro, onde foi disposta uma folha de papel de filtro qualitativo de igual dimensão para cobrir o fundo de cada placa. Com uma pipeta Pasteur, o papel de filtro foi umedecido com cerca de 4 mL da solução-teste, sem deixar excesso de líquido visível. Em cada placa de Petri preparada, dispuseram-se 10 sementes de alface (*Lactuca sativa*), uniformemente distribuídas, utilizando pinças de laboratório. As sementes de *Lactuca sativa* utilizadas no teste apresentaram percentual de germinação de 98% (fornecido pelo fabricante). Após a inoculação das sementes, as placas foram vedadas com papel de filme plástico, para evitar a evaporação do elutriato, e posteriormente com papel alumínio, para preservar a ausência de luz, em câmara do tipo D. B.O., sendo mantidas numa incubadora a 25 ± 1 °C por 120 horas (Figura 2).

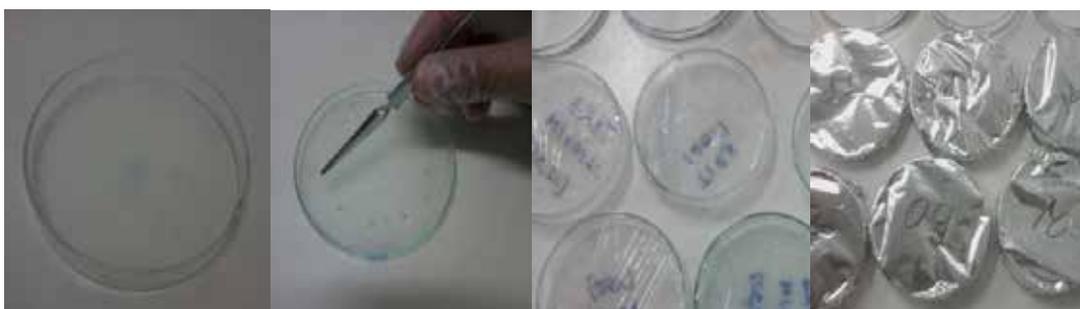


Figura 2 - Sequência do procedimento de inoculação das sementes de alface (*Lactuca sativa*)

Fonte: banco de dados GPTA (2015)

Após o período de incubação de 120 horas, foi realizado o procedimento de contagem das sementes germinadas. Os bioensaios foram efetivados no Laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais – GPTA/DEQ/UFPE, em triplicatas; e nas condições antes e depois dos tratamentos. A avaliação do bioensaio foi em função da Germinação Relativa (GR%) e o Cres-

cimento Relativo da Raiz, segundo Bellato et al. (2015), onde: N°SGa foi o número de sementes que germinaram na amostra; N°SGc, o número de sementes que germinaram no controle; MCRa, a média do crescimento das raízes na amostra e MCRc, a média do crescimento das raízes nos controles. A água destilada foi utilizada como controle negativo.

$$GR(\%) = N^{\circ} \frac{SGa}{N^{\circ}SGc} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$CRR(\%) = \frac{MCRa}{MCRc} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

O delineamento foi inteiramente casualizado, com 15 amostras de cada mistura de lodo (ver Tabela 1) antes e as correspondentes 15 amostras após o TVC, com 5 diluições (10, 25, 50, 75 e 100%) e três repetições cada, totalizando 450

parcelas de amostras e 6 parcelas de controles. Em todas as amostras e nos controles foram determinadas as concentrações de Al.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Característica do elutriato

A Tabela 2 mostra as concentrações médias de Al presentes no elutriato (E) preparado, a partir dos compostos antes (Substrato) e após o tratamento de vermicompostagem (TVC).

Tabela 2 - Concentração de Al (mg/L) no elutriato

Tratamento	Concentração de Al (mg/L)									
	100% de E		75% de E		50% de E		25% de E		10% de E	
	Antes TVC	Depois TVC	Antes TVC	Depois TVC	Antes TVC	Depois TVC	Antes TVC	Depois TVC	Antes TVC	Depois TVC
T1	696,13	269,10	522,10	201,83	348,07	134,55	174,03	67,28	69,61	26,91
T2	117,89	16,94	88,42	12,70	58,95	8,47	29,47	4,23	11,79	2,69
T3	196,01	21,46	147,01	16,09	98,01	10,73	49,00	5,36	19,60	2,15
T4	551,90	121,98	413,93	91,48	275,95	60,99	137,98	30,49	55,19	12,20
T5	568,01	121,68	426,01	91,26	284,01	60,84	142,00	30,42	56,80	12,17
T6	407,01	77,18	305,26	57,89	203,51	38,59	101,75	19,30	40,70	7,72
T7	448,24	87,93	336,18	65,95	224,12	43,97	112,06	21,98	44,82	8,79
T8	262,78	56,39	197,09	42,30	131,39	28,20	65,70	14,10	26,28	5,64
T9	322,12	42,51	241,59	31,88	161,06	21,26	80,53	10,63	32,21	4,25
T10	587,83	202,59	440,87	151,95	293,92	101,30	146,96	50,65	58,78	20,26
T11	607,27	222,30	455,45	166,72	303,64	111,15	151,82	55,57	60,73	22,23
T12	430,74	61,93	323,06	46,45	215,37	30,97	107,69	15,48	43,07	6,19
T13	471,30	65,67	353,48	49,25	235,65	32,83	117,83	16,42	47,13	6,57
T14	273,98	28,93	205,49	21,70	136,99	14,46	68,50	7,23	27,40	2,89
T15	334,65	38,98	250,99	29,23	167,33	19,49	83,66	9,74	33,47	3,90

Pôde-se verificar que para teores mais elevados de Al há uma redução na eficiência de remoção do Al; isso pode indicar um comportamento inibitório pela elevada concentração do metal. Esses valores estão bem abaixo do encontrados por Sotero-Santos (2005); tal fato pode estar associado à qualidade da água e às condições de processo das plantas. Todavia, George et al. (1991)

apresentam uma faixa de concentração que vai de 74 a 2.900 mg/L de Al, para estações nos EUA que utilizam o processo convencional (coagulação/floculação/decantação).

Dessa forma, o uso de lodo de ETE colabora para a remoção do Al por vermicompostagem, ao diluir a concentração e ao fornecer matéria orgâni-

ca. Essa contribuição é mais evidente quando se utiliza o lodo de ETE aeróbio (LETELA).

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Masciandaro et al. (2000), pois os mesmos verificaram que quando a quantidade de lodo aeróbio nas misturas foi superior a 50% houve um incremento no metabolismo microbiano do solo, como fora demonstrado pelo índice de potencial metabólico (relação desidrogenase / carbono solúvel em água).

Após o processo de vermicompostagem, apesar de se remover consideravelmente a quantidade de alumínio presente nos substratos (superior a 50%), ainda são verificadas concentrações elevadas no composto após TVC. Nas maiores diluições do elutriato observam-se as menores concentrações do Al. Ressalta-se que o uso do lodo de Al é menos tóxico que o lodo de cloreto férrico, segundo Sotero-Santos (2005).

3.2 Análise do teste de germinação com a semente de alface (*Lactuca sativa*)

O teste não paramétrico de Mann-Whitney, utilizado para comparação de dois grupos independentes, foi utilizado para testar se o tratamento com vermicompostagem obteve efeito positivo sobre a germinação (GR) e o crescimento relativo da raiz (CRR) da semente *Lactuca sativa*. Os resultados demonstraram diferenças significativas ($p < 0,05$) para a GR e para CRR, indicando que o tratamento com vermicompostagem influenciou na germinação da semente.

Na Figura 3 pode ser observada, na forma de gráfico *box-Whisker*, a influência do tratamento com vermicompostagem na germinação, por meio dos comportamentos semelhantes em relação à amplitude e distribuição dos quartis, destacando-se que houve um aumento de 20% na GR após o TVC aplicado.

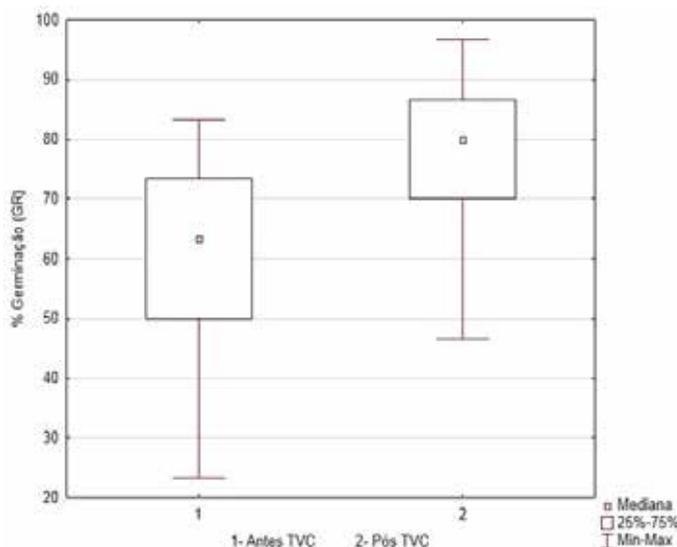


Figura 3 – Variação da germinação (GR) em relação aos tratamentos aplicados

Para todas as diluições testadas houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para o teste não paramétrico de Mann-Whitney, que indica que para todas as diluições, o tratamento de vermicompostagem foi eficiente na melhoria dos percentuais de germinação e crescimento relativo da raiz.

As Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 indicam que tanto o índice de germinação como o crescimento relativo da raiz foram melhoraram após o TVC. Os menores índices de germinação antes do TVC se apresentaram na faixa de 20 a 30%, e os maiores entre 80 e 90%. Após o TVC, esse cenário mudou: o mínimo passou para faixa de 40 a 50%, e o máximo, entre 95 e 100%.

Ao comparar as concentrações do elutriato, pode-se perceber que antes do TVC os valores mínimos e máximos com 100%, 75%, 50%, 25% e 10% de elutriato situaram-se entre 20 e 50%, 30 e 70%, 45 e 80%, 60 e 80% e 60 e 85%, respectivamente.

Para o cenário após o TVC, percebeu-se que o aumento das faixas de germinação com 100%, 75%, 50%, 25% e 10% de elutriato foram entre 45 e 80%, 60 e 80%, 75 e 90%, 70 e 90% e 80 e 100%, respectivamente.

A partir de 50% de concentração de elutriato, houve uma maior precisão nos índices de germinação, evidenciado pela menor amplitude dos resultados. As maiores diferenças estão nos tratamentos com 100% e 75% de elutriato. As concentrações de 50 e 25 % apresentaram resultados semelhantes. E a concentração de 10% reuniu os melhores resultados, entre 90 e 100%.

Quanto ao crescimento das raízes, observou-se que houve uma maior sensibilidade da semente em relação ao tóxico nas maiores concentrações (100, 75 e 50%), onde ocorreram aumento da GR e o CRR foi pouco afetado. Com as concentrações de 25 e 10% ocorreu maior alongamento das raízes.

Para concentração de 10% de elutriato, e após TVC, foram constatadas as menores concentrações médias de Al, conforme Tabela 2. Concluiu-se, portanto, que esse meio foi a melhor condição de estresse, sendo a pior com 100% de elutriato, antes do TVC. De forma semelhante, Pereira et al. (2013) estudaram os efeitos fitotóxicos do Pb, tanto na germinação, como no crescimento inicial da raiz de alface. A presença de Pb alterou os padrões de divisão celular, induzindo a ocorrência de anormalidades cromossômicas. Essa afirmativa não pode ser feita para estudo, visto que os lodos usados nesta pesquisa, sendo amostras reais, apresentam outras características além do Al, que teriam sido responsáveis pela redução na germinação, ou contribuído para um efeito sinérgico.

Dentre as possibilidades de atenuação, a vermicompostagem apresentou-se como uma alternativa viável. Aldeeb et al. (2003) mostraram que o lodo de ETA não pode ser depositado diretamente no solo, mas sua mistura com toposo-lo natural leva a formação de um solo argiloso. Neste escopo, o lodo de ETA ao ser misturado com o lodo de ETE para melhorar a eficiência da atenuação, permitirá também uma melhora da estrutura do solo.

De acordo com Bhat et al. (2018), a capacidade de atenuação dos metais pesados presentes em resíduos se deve ao seu intenso sistema metabólico, assim como ao envolvimento de micróbios intestinais de minhoca e as células cloragógena.

Ahmad et al. (2016) citam outras alternativas sustentáveis para o descarte do lodo sem tratamento, como a inclusão desse resíduo em tijolos, materiais cerâmicos ou na fabricação de cimento, entre outras. Para essas aplicações, faz-se necessário estudos de lixiviação, para verificar se não há liberação do Al para o líquido em contato. Cherifi et al. (2011) citam ainda a recuperação do

coagulante por extração eletroquímica, para sua posterior aplicação em tratamento de efluentes.

Ressalta-se que o uso da vermicompostagem para o tratamento do lodo por outros processos, como o biofiltro, incrementa a sua eficiên-

cia. Zheng et al. (2017) demonstraram que o uso da das minhocas melhorou a desidratação dos mesmos ao transformar a água vicinal e a água de hidratação em água intersticial, mais fácil de remover.

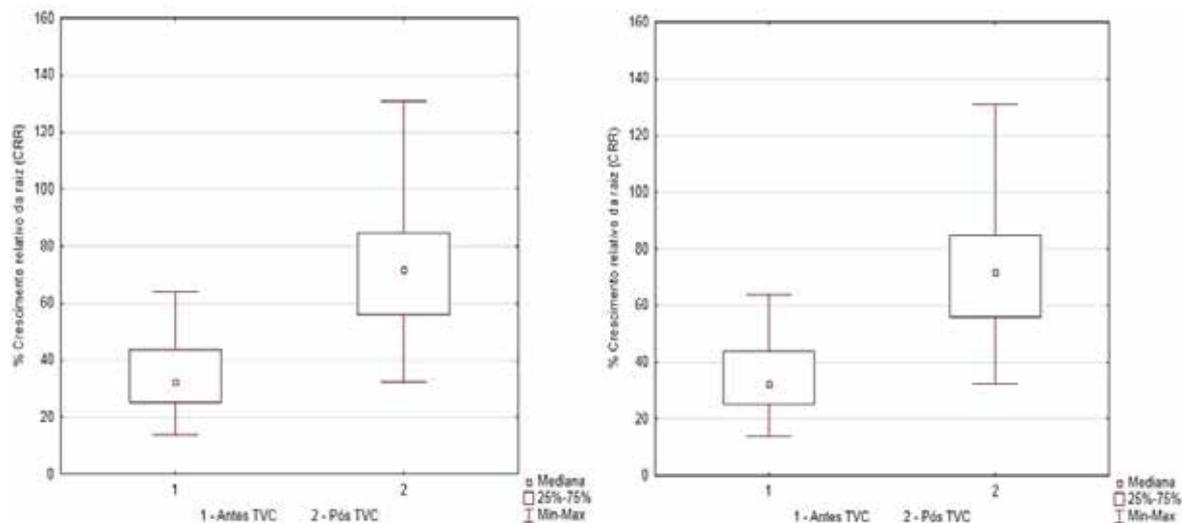


Figura 4 - Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência do elutriato com 100% de concentração na germinação da semente de *Lactuca sativa*

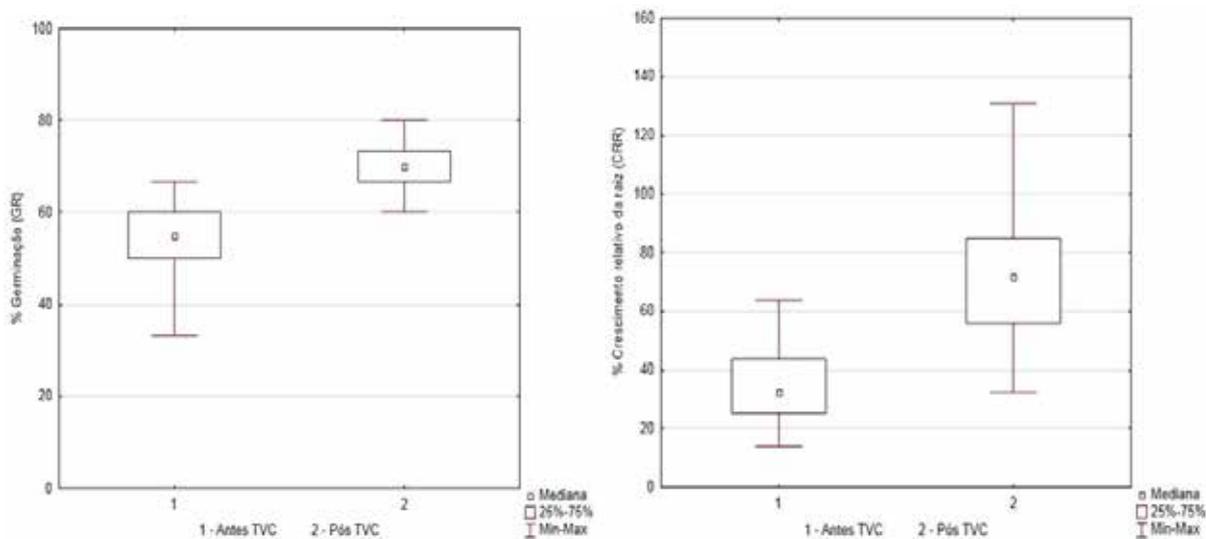


Figura 5 - Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência do elutriato com 75% de concentração na germinação da semente de *Lactuca sativa*

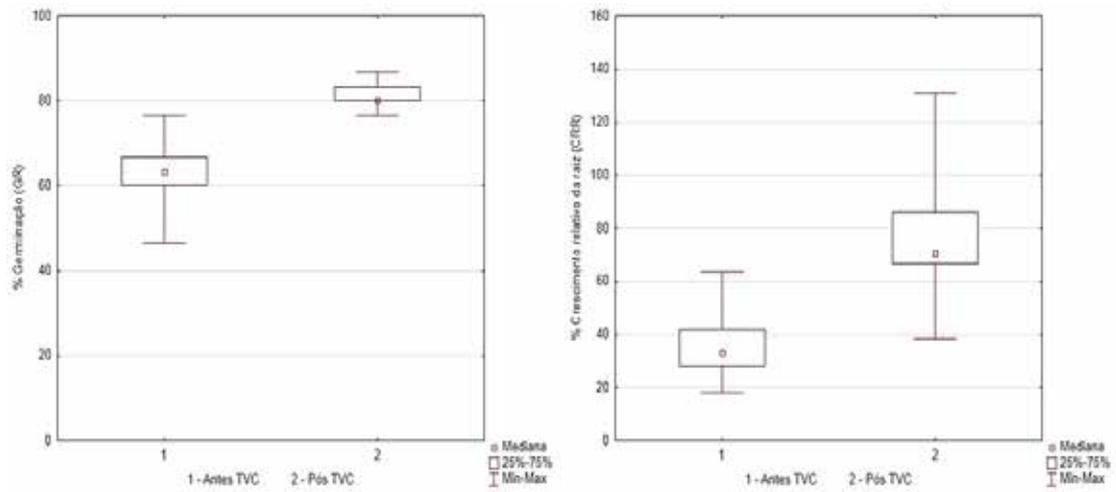


Figura 6 - Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência do elutriato com 50% de concentração na germinação da semente de *Lactuca sativa*

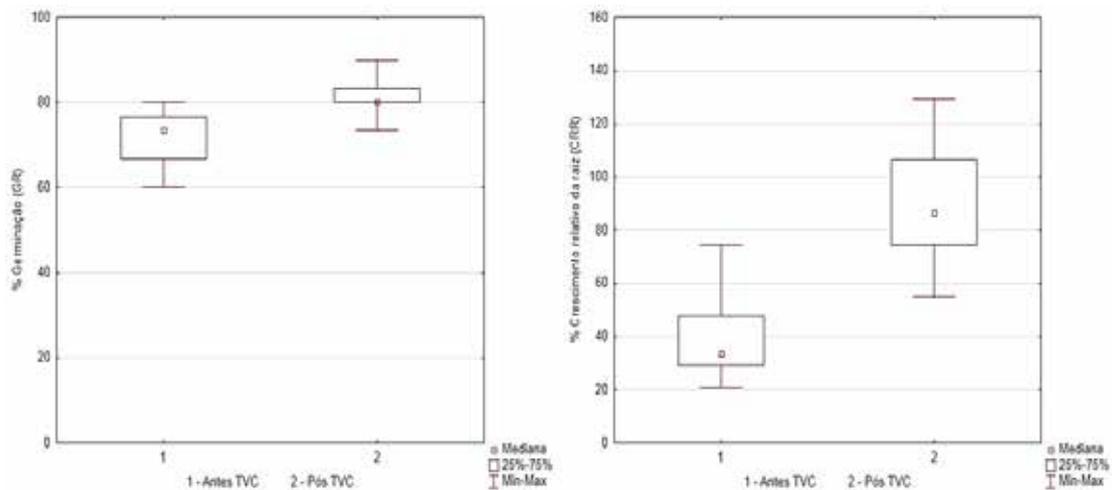


Figura 7 - Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência do elutriato com 25% de concentração na germinação da semente de *Lactuca sativa*

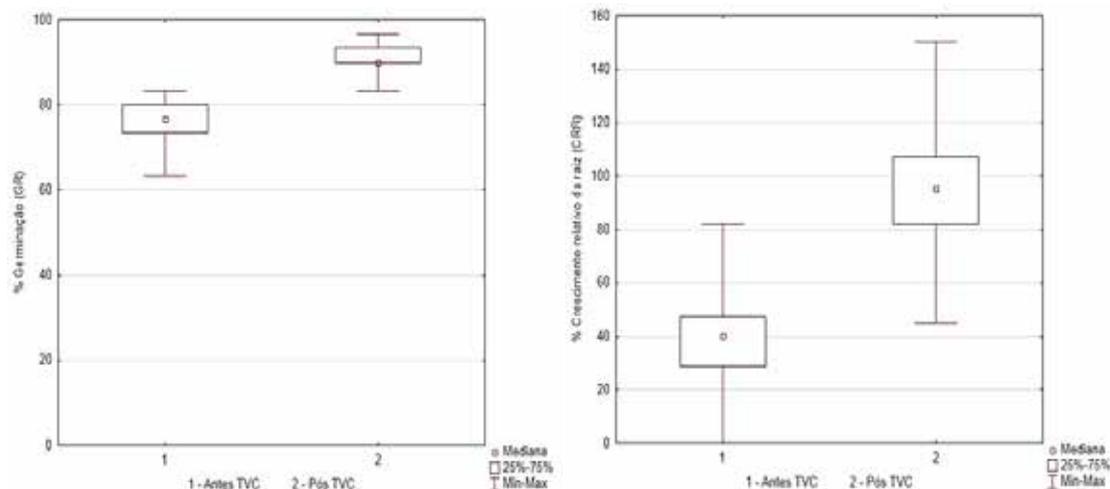


Figura 8 - Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliação da influência do elutriato com 10% de concentração na germinação da semente de *Lactuca sativa*

4 CONCLUSÃO

Os resultados do bioensaio com semente de *Lactuca sativa* mostraram haver influência do lodo de ETA e ETE puro e consorciado na taxa de germinação. Essa influência pode ser minimizada quando os lodos são processados por vermicompostagem, tratamento que pode reduzir a biodisponibilidade do Al no lodo de ETA. O teste de toxicidade mostrou que houve um aumento no índice de germinação após TVC, assim como o elutriato, com a maior diluição, de 10%, obteve resultado mais expressivo, mostrando que a germinação das sementes foi reduzida proporcionalmente ao aumento nas concentrações de alumínio presente no elutriato.

Tais experiências permitiram concluir que o lodo de ETA e ETE, quando submetido ao tratamento por vermicompostagem (TVC), estabilizou a matéria orgânica e diminuiu a concentração de metais. Dessa forma, o presente tratamento pode tornar mais segura a disposição dos lodos no solo e diminuir sua interferência na germinação de sementes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT- NBR 10006:2004. **Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduo sólido**. NBR 10006:2004.
- T. AHMAD, T., AHMAD, K., ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. **Procedia Environmental Sciences**. v. 35, p. 950-955, 2016.
- ANDRADE, C. F., SILVA, C.M., OLIVEIRA, F.C. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. In: Anais **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Belo Horizonte/MG –2014.
- ANDRADE, V. T. **Avaliação da toxicidade de água produzida, tratada por processo evaporativo com a finalidade de reúso em solo**. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- ANDREOLI, I. V., SPERLING, M. V., FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG. 2001.
- BHAT, S.A., SINGH, S., SINGH, J., KUMAR, S., BHAWANA, PALVIGA, A. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: Vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. **Bioresource Technology**. in press. 2018.
- BELLATO, F. C., SANTOS, G. O. F., ROSA J. M., MATHEUS, D. R. Avaliação da fitotoxicidade de efluente têxtil contendo corante ci reactive blue 222 após o tratamento por pleurotus ostreatus em biorreator. In: Anais **XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Campinas – SP. 2015.

- CHERIFI, M., HAZOURLI, S., PONTVIANNE, S., LECLERC, J.P., LAPICQUE, F. Electrokinetic removal of aluminum from water potabilization treatment sludge. **Desalination**. v. 281, n. 17, p. 263–270, 2011.
- CUNHA, B. M. **Avaliação ecotoxicológica de distintos tipos de efluentes mediante testes de toxicidade aguda utilizando Artemia salina e Lactuca sativa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.
- DING, L., JING, H., QIN, B., QI, L., LI, J., WANG, T., LIU, G. Regulation of cell division and growth in roots of *Lactuca sativa* L. seedlings by the ent-kaurene diterpenoid rabdosin B. **Journal of Chemical Ecology**, v.36, n.5, p.553–563, 2009.
- DUTKA, B. J. **Methods for microbiological and toxicological analysis of waters, wastewaters and sediments**. National Water Research Institute (NWRI), Canada: Burlington, 1989.
- GEORGE, D.B., BERK, S.G., ADAMS, V.D., TING, R.S., ROBERTS, R.O., PARKS, L.H., LOTT, R.C. Toxicity of alum sludge extracts to a freshwater alga, protozoan, fish, and marine bacterium. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** v. 29, p. 149–158, 1995.
- GOLDSTEIN, E. G. Testes de toxicidade de efluentes industriais. **Revista Ambiente**, v.2, n. 2, p. 33–38, 1988.
- LOMBARDI, J. V. Fundamentos de toxicologia aquática. Pp. 261–270 In: M.J.T. Ranzani-Paiva, R.M. Takemota & M.A.P. Lizama (eds.), **Sanidade de organismos aquáticos**. Org. Livraria Varela, São Paulo. 426 p. 2004
- MARSCHNER, A. Biologische Bodensanierung und ihre Erfolgskontrolle durch Biomonitoring. p. 568–576. In: J. Oehlmann & B. Markert (eds.), **Okotoxikologie – Okosystemare Ansätze und Methoden**. Ecomed, Landsberg. 576p. 1999.
- MIGUEL, P. S. B., GOMES, F. T., ROCHA, W. S. D., MARTINS, C. E., CARVALHO, C. A., OLIVEIRA, A. V. **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: Mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos**. Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, Juiz de Fora, v. 24, p.11–30, 2010.
- PEREIRA, M. P., PEREIRA, F. J., RODRIGUES, L. C. A., BARBOSA, S., CASTRO, E.M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 36–43, janeiro-abril, 2013
- SOTERO-SANTOS, R.B., ROCHA, O., POVINELLI, J. Evaluation of water treatment sludges toxicity using the bioassay. **Water Research**, v. 39, n. 16, 2005, p. 3909–3917, 2005.
- TAVARES, R.G. **A atenuação do alumínio do resíduo de estações de tratamento de água por vermicompostagem e adsorção**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. 206p. 2016.
- TAM, N.F.Y., TIQUIA, S.M. Assessing toxicity of spent sawdust pig-litter using seed germination technique. **Resource Conservation Recycling**, v.11, p.261–274, 1994.
- ZHENG, Y., XING, M., CAI, L., XIAO, T., LU, Y., JIANG, J. Interaction of earthworms-microbe facilitating biofilm dewaterability performance during wasted activated sludge reduction and stabilization. **Science of the Total Environment**, v. 581–582, p. 573–581, 2017.