



20-AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DE BIOFERTILIZANTES DE SUBPRODUTOS DO SANEAMENTO: ESTRUVITA E BIOSSÓLIDO DE WETLANDS DE TRATAMENTO DE LODO.

Fernanda Daniela Gonçalves Ferreira

Mestre em engenharia ambiental e candidata ao doutoramento no Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA – Universidade Federal de Santa Catarina. Com ênfase na recuperação de recursos de sistemas de saneamento e os riscos microbiológicos do seu reciclo com fertilizante.

Flora Silveira de Figueredo ⁽²⁾

Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

Aline Daniel Copetti ⁽³⁾

Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

Amanda Silva Nunes ⁽⁴⁾

Mestre em engenharia ambiental e candidata ao doutoramento no programa de pós-graduação em engenharia ambiental – PPGEA – Universidade Federal de Santa Catarina.

Vitor Pereira Vaz ⁽⁵⁾

Mestre em engenharia ambiental e candidato ao doutoramento no programa de pós-graduação em engenharia ambiental – PPGEA – Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço ⁽¹⁾: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Laboratório de Recuperação de Recursos de Sistemas de Saneamento – RReSSa, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário - Trindade – Florianópolis – Santa Catarina – CEP 88040-970 - Brasil - Tel: +55 (48) 3721-7704 - e-mail: ferreira.goncalves.fernanda@posgrad.ufsc.br

RESUMO

Biofertilizantes derivados de sistemas de saneamento são alternativas sustentáveis à fertilizantes químicos. Assim, este estudo investigou os limites máximos de aplicação de dois biofertilizantes: Estruvita precipitada a partir de urina humana e bioossólidos de wetlands construídos para tratamento de lodo, utilizando sementes de alface (*Lactuca Sativa*). O ensaio de fitotoxicidade foi conduzido com diferentes concentrações de bioossólidos (2%, 5%, 10%) e estruvita (3%, 5%, 10%). O ensaio de fitotoxicidade foi conduzido com sementes de alface expostas a diferentes concentrações de bioossólidos (2%, 5%, 10%) e estruvita (3%, 5%, 10%). As sementes foram germinadas em placas de petri em temperatura ambiente por cinco dias. Foram avaliados o Índice de Germinação Relativa das Sementes (GRS), Comprimento Relativo das Raízes (CRR) e Índice de Germinação (IG). Os resultados mostraram que o bioossólido apresentou efeito estimulante/benéfico nas concentrações de 2%, 5% e 10%, estimulando o crescimento radicular com IG superior a 100%. A concentração de 5% foi a mais eficaz. Por outro lado, a estruvita foi não fitotóxica nas concentrações de 3% e 5%, mas a 10% mostrou-se altamente fitotóxica, inibindo completamente a germinação das sementes. O bioossólido demonstrou ser um biofertilizante eficaz e seguro em todas as concentrações testadas, enquanto a estruvita deve ser usada com cautela em concentrações acima de 5%. Estudos adicionais são recomendados para otimizar a dosagem de biofertilizantes e explorar o uso em outras espécies de plantas.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa*; teste de germinação de sementes; estruvita, biofertilizantes, reuso na agricultura.

INTRODUÇÃO

As projeções de crescimento populacional, de procura por alimentos e de escassez de recursos não renováveis para produção de fertilizantes químicos representam uma grande preocupação global. Os fertilizantes químicos têm sido largamente utilizados para proporcionar o aumento da produtividade agrícola (NOSHEEN, AJMAL, SONG, 2021). No entanto, existe uma forte preocupação relacionada aos impactos ambientais da sua produção e utilização, os quais incluem emissão de gases de efeito estufa, degradação dos cursos d'água e alteração dos ciclos biogeoquímicos.



Os biofertilizantes derivados de subprodutos do saneamento, como: fezes, urina e lodo de esgoto, mostram-se como uma alternativa para ser empregada em substituição aos fertilizantes químicos (MARTIN et al., 2022). A geração desses compostos é contínua à medida que o sistemas de saneamento são operados, seja uma geração menos frequente como é a dos banheiros secos, nos quais o fertilizante será gerado quando a urina e das fezes acumular volume suficiente; ou contínua como o lodo de uma ETE, os quais são desidratados e secos dentro da rotina de operação da ETE (BUONOCORE et al., 2016).

Em comparação com os fertilizantes industriais (sejam eles minerais ou químicos), os biofertilizantes apresentam eficácia similar no fornecimento de nutrientes (MARTIN et al., 2022). Eles têm o potencial para melhorar a fertilidade do solo, aumentar a produtividade das culturas e garantir a segurança alimentar (DEVKOTA et al., 2020; HU et al., 2016). Além disso, a utilização na agricultura pode reduzir as despesas associadas à gestão em estação de tratamento de esgoto. Tendo em vista que a geração, tratamento e disposição final do lodo demandam espaço e recursos para a sua destinação final que, quando não aplicado como biofertilizante pode ser incinerado ou enviado a um aterro sanitário, quando poderia ser utilizado de maneira mais sustentável (HAQ; CAMBRIDGE, 2012).

O fornecimento de nutrientes é essencial para garantir o rendimento e a qualidade das culturas. No entanto, em quantidades excessivas pode potencializar efeitos tóxicos. Os testes de fitotoxicidade são comumente utilizados para avaliar a toxicidade de compostos (ALBERT; BLOEM, 2023). Esses testes baseiam-se, usualmente, na avaliação da germinação das sementes ou do alongamento das raízes (BOŻYM; KRÓL; MIZERNA, 2021). Eles são simples, rápidos e reprodutíveis, e fornecem resultados, por exemplo, sobre as concentrações que provocam ou não efeitos tóxicos (BRAGANÇA et al., 2018). Testes fitotóxicos em geral podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, ensaios para bioremediação e testes de germinação, como aplicado neste trabalho (MENDES et al., 2021; PRIAC, BRADOT & CRINI, 2017). A partir da capacidade de germinação é possível observar quais são os limites da aplicação biofertilizante e qual a concentração ótima para a aplicação durante o plantio.

Este estudo, portanto, buscou compreender os limites máximos de aplicação de dois biofertilizantes derivados de subprodutos do saneamento: (1) estruvita recuperada a partir de urina humana, e (2) biossólido proveniente de wetlands construídos para tratamento de lodo de esgoto em sementes de *Lactuca sativa* (alface). O Índice de Germinação Relativa das Sementes, o Comprimento Relativo das Raízes e o Índice de Germinação foram os parâmetros utilizados para explorar quando as sementes de *Lactuca sativa* são afetadas nos testes de fitotoxicidade realizados.

METODOLOGIA

O ensaio de fitotoxicidade avaliou os parâmetros de germinação e crescimento de radículas de sementes de alface (*Lactuca sativa*) após a exposição a uma diluição seriada de biossólidos de 2%, 5% e 10% com método adaptado de Priac et al. (2017). As sementes foram expostas por cinco dias em placas de Petri (20 sementes por placa) em quintuplicata ao controle com água destilada e aos tratamentos e conservadas em um ambiente escuro a $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Após o período do teste, as sementes germinadas foram contabilizadas e suas radículas medidas. É importante destacar que este resultado não afere informações sobre o cultivo da planta depois de germinada, os dados que serão apresentados indicam as concentrações ideais somente para o plantio.

A avaliação dos parâmetros se deu através dos cálculos dos índices de Germinação Relativa das Sementes (GRS), Comprimento Relativo das Raízes (CRR) e o Índice de Germinação (IG). O índice GRS é apresentado como a razão entre as sementes germinadas em cada tratamento e as germinações no controle, o CRR entre o comprimento das raízes dos tratamentos e o comprimento do controle, enquanto o IG é dado pelo produto $\text{GRS} \times \text{CRR} / 100$. Estes parâmetros serviram como base para a discussão da concentração ideal aplicada.

Os resultados foram analisados realizando um teste de normalidade e após a confirmação da normalidade a comparação entre os dados foi feita através da análise de variância (two-way ANOVA) onde o valor de significância adotado foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Os dados relativos ao teste fitotóxicológico com as sementes de *Lactuca sativa* (alface) expostas a diferentes concentrações de biofertilizantes estão apresentadas na Tabela 1.

Biofertilizante		Biossólido de Wetlands construídos para tratamento de lodo de TS			
Concentrações	Controle	2%	5%	10%	
Média das sementes germinadas	10	9,8±0,40	10	10	
Média comprimento das radículas (mm)	50,40±10,20	66,14±1,35	73,16±12,20	66,36±14,40	
GRS (%)	-	98.00%	100.00%	100.00%	
CRR (%)	-	131.29%	145.21%	131.73%	
IG (%)	-	128.66	145.21	131.73	
Classificação do efeito fitotóxico		Estímulo	Estímulo	Estímulo	

Biofertilizante		Estruvita			
Concentrações	Controle	3%	5%	10%	
Média das sementes germinadas	19	20	20	0	
Média comprimento das radículas (mm)	21,26±9,10	23,10±5,46	17,35±4,79		
GRS (%)	-	105,26%	105,26%	0	
CRR (%)	-	108,64%	81,6%	0	
IG (%)	-	114,36	85,89	0	
Classificação do efeito fitotóxico	-	Estímulo	Não fitotóxico	Muito fitotóxico	

As sementes germinadas em água destilada não apresentaram deformações nas raízes ou presença de fungos, assim como observado por Mañas e De las Heras (2017).

O biossólido proveniente de wetlands para tratamento de lodo não apresentou toxicidade em nenhuma das concentrações avaliadas, apenas auxiliando no crescimento, sendo que os valores de IG para as concentrações de 2%, 5% e 10% resultaram em índices maiores do que 100%. Houve diferença significativa entre os valores do controle e da concentração de 2%, do controle e da concentração de 5% e do controle e da concentração 10% ($p < 0,0001$). Ao analisar as concentrações, verificou-se que os índices de germinação foram crescentes para as concentrações 2 e 5%, enquanto a concentração de 10% foi contra essa tendência, gerando um valor de IG menor quando comparado ao 5%, mas maior quando comparado ao 2%, apresentando um efeito de hormese na concentração de 5%.

Para os dados de fitotoxicidade da estruvita relativos à germinação das sementes de *Lactuca sativa*, observou-se que entre o controle e as concentrações de 3% e 5% não houve diferença estatisticamente significativa. Em contrapartida, em concentração mais elevada (10%) não apresentou germinação. Os resultados obtidos indicam que esta concentração de 10% de estruvita pode ser considerada fitotóxica para este tipo de semente, uma vez que houve inibição do desenvolvimento inicial das sementes e o índice de germinação estava abaixo de 50%. Também é possível verificar que a fitotoxicidade da estruvita aumentou de modo diretamente proporcional ao aumento da concentração.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A literatura traz a classificação que determina o grau de fitotoxicidade com base nos valores obtidos de CRR e IG. Conforme apresentado por Lumbaque et al. (2016), valores entre $0 < CRR < 0,8$ indicam inibição no crescimento da raiz; $0,8 \leq CRR \leq 1,2$ sem efeito significativo; e $CRR > 1,2$ indica estímulo do crescimento da raiz. Por outro lado, Belo (2011) abordou a classificação de fitotoxicidade com base no valor de IG (%), em



que $IG < 30$, muito fitotóxico; $30 < IG < 60$, fitotóxico; $60 < IG < 80$, moderadamente fitotóxico; $80 < IG < 100$ não fitotóxico; e $IG > 100$, potencializa a germinação e o crescimento da raiz das plantas. Segundo Roig et al. (2012), índices de germinação (IG) maiores do que 100% possuem o que o autor chama de “efeito benéfico”.

Assim, com base nos dados apresentados, é possível observar que ocorreu o efeito hormese. Este efeito ocorre quando o composto causa fitotoxicidade em altas concentrações, porém, em concentrações mais baixas ocasionam efeitos estimulantes e benéficos aos organismos (SILVA et al., 2020). Este efeito é desejável na avaliação de fertilizantes por indicar qual a faixa ótima de concentração a ser aplicada para um melhor crescimento e desenvolvimento da planta. Neste caso, o presente trabalho apresenta que para bio sólidos com características similares, a concentração de 5% se apresenta como a mais indicada para a aplicação no crescimento de mudas de alface.

Manãs e De las Heras (2018), ao estudarem a fitotoxicidade de lodo de esgoto proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto na Espanha utilizando sementes de *Lactuca sativa*, obtiveram resultados para o índice de germinação de 53,6 % para uma concentração de 10%. Por outro lado, o trabalho de Ferreira (2021) apresentou um IG de 66,55% para a mesma concentração quando analisada a fitotoxicidade de fezes co-compostadas. Desta forma, ao comparar o bio sólido de wetlands construídos para tratamento de lodo de tanque séptico e outros tipos de biofertilizantes provenientes de sistemas de saneamento, é possível verificar o seu potencial para uso agrícola (SATHIASIVAN, RAMASWAMY & RAJESH, 2021).

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, tanto a estruvita, quanto o bio sólido proveniente de wetlands construídos para tratamento de lodo em concentrações de 2% e 3% e permitiram crescimento das raízes superiores àquelas obtidas com o controle. Diferente da estruvita, que obteve efeito fitotóxico quanto ao crescimento de raízes à concentração de 10% e neutra à 5%, o bio sólido proveniente de wetlands, conferiu efeito benéfico ao crescimento das raízes em todas as concentrações testadas neste estudo, apresentando o maior índice de germinação à concentração de 5%.

Neste sentido, além do potencial fertilizante, é possível verificar que as concentrações de bio sólidos utilizadas nos testes não apresentaram efeito fitotóxico quanto à germinação. Porém é importante destacar que a estruvita inibiu a germinação das sementes, indicando que em caso de aplicação em escala real, a dosagem deveria ser ajustada para o intervalo inferior à 5%.

Desta forma, recomenda-se o aprofundamento em estudos de sensibilidade destes biofertilizantes utilizando outras espécies de planta, como por exemplo trigo e rúcula. Ademais, recomenda-se o teste das concentrações entre 1% e 5% para estruvita, bem como testes com concentrações mais altas para o bio sólido, variando entre 20 -75%, para melhor compreensão dos limites da ação fitotóxica dos biofertilizantes nas sementes e da otimização da dose adequada para cada espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albert, S., & Bloem, E. (2023). Ecotoxicological methods to evaluate the toxicity of bio-based fertilizer application to agricultural soils – A review. *Sci. of The Total Environ.*, 879, 163076.
2. BELO, S.R.S. Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011.
3. Bożym, M., Król, A., & Mizerna, K. (2021). Leachate and contact test with *Lepidium sativum* L. to assess the phytotoxicity of waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(7), 1975–1990.
4. Bragança, I. et al. (2018). Ecotoxicological Effects of Insecticides in Plants Assessed by Germination and Other Phytotoxicity Tools. In *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants* (pp. 47–76). Springer Singapore.
5. Buonocore, E., Mellino, S., Angelis, G., Liu, G., & Ulgiati, S. (2016). Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.04.047>.



6. Devkota, G. P. et al. (2020). Pre-Implementation Perceptions Among Teachers on the Use of Ecological Sanitation and Application of Human Urine as Fertilizer. *International Education Studies*, 13(11), 55.
7. FERREIRA, F. D. G. Avaliação da segurança no uso de biofertilizantes produzidos a partir de excretas humanas em cultivos de vegetais: Contaminação do solo e das plantas. 2022. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
8. Haq, G., & Cambridge, H. (2012). Exploiting the co-benefits of ecological sanitation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(4), 431–435.
9. Hu, M. et al. (2016). Constructing the ecological sanitation: a review on technology and methods. *Journal of Cleaner Production*, 125, 1–21.
10. Lumbaque, E. C. et al. Degradation and ecotoxicity of dye Reactive Black 5 after reductive-oxidative process. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 24, n. 7, p. 6126-6134, 6 Jul. 2016. Springer Science and Business Media LLC.
11. Mañas, P., De las Heras, J. (2018). Phytotoxicity test applied to sewage sludge using *Lactuca sativa* L. and *Lepidium sativum* L. seeds. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 15, 273–280.
12. Martin, T. M. P. et al. (2022). Human urine-based fertilizers: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(6), 890–936.
13. Mendes, P., Ribeiro, J., Martins, G., Lucia, T., Araujo, T., Fuentes-Guevara, M., Corrêa, L., & Corrêa, É. (2021). Phytotoxicity test in check: Proposition of methodology for comparison of different method adaptations usually used worldwide.. *Journal of environmental management*, 291, pp. 112698 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112698>.
14. Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability*, 13(4), 1868.
15. Priac, A., Badot, P.M., Crini, G. (2017). Évaluation de la phytotoxicité d'eaux de rejets via *Lactuca sativa* : paramètres des tests de germination et d'élongation. *Comptes Rendus-Biol.* 340, 188–194.
16. Roig, N., Sierra, J., Nadal, M., Martí, E., Navalón-Madrigal, P., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., 2012. Relationship between pollutant content and ecotoxicity of sewage sludges from Spanish wastewater treatment plants. *Sci. Total Environ.* 425, 99–109.
17. Sathiasivan, K., Ramaswamy, J., & Rajesh, M. (2021). Struvite recovery from human urine in inverse fluidized bed reactor and evaluation of its fertilizing potential on the growth of *Arachis hypogaea*. *Journal of environmental chemical engineering*, 9, pp. 104965. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104965>.
18. Silva, T. R. et al. Efeito de subdoses de sulfentrazone em plantas aquáticas e ecotoxicologia para bioindicadores. *Ciência e Cultura (Barretos)*, v. 16, p. 1-10, maio 2020. Editora
19. Venegas, M., Leiva, A.M., Bay-Schmith, E., Silva, J., Vidal, G., 2019. Phytotoxicity of biosolids for soil application: Influence of conventional and advanced anaerobic digestio with sequential pre-treatment. *Environ. Technol. Innov.* 16.