Ecotoxicol. Environ. Contam., v. 20, n. 1, 2025, 104-111
doi: 10.5132/eec.2025.01.10

Short Communication

Germination and Early Development of Pink Cedar (*Cedrela fissilis* Vell.) Under Sewage Sludge Influence

Bianca Gonzaga Arantes[1]*, Caio Rodrigues Maluf[1], Maria Gabriela Franco Lima[1], Juliana Marzinek[1], Maria Cristina Sanches[1], Jeamylle Nilin[1]

[1] Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Umuarama, Uberlândia, MG, Brazil

Received March 19, 2025; Accept October 8, 2025

Abstract

The collection and treatment of sewage play a crucial role in basic sanitation. Still, the proper disposal of sewage sludge (SS) represents an environmental challenge due to the presence of potentially toxic compounds and pathogenic microorganisms. The application of SS in agriculture has been encouraged due to its richness in organic matter and nutrients, but its impact on soil biota needs to be assessed. In this context, this study analyzed the effects of SS on the germination and initial growth of pink cedar (*Cedrela fissilis* Vell.) in different substrates. Five treatments were tested: soil (100%), SS (100%), soil + SS (50%), lime-stabilized sewage sludge (LSS 100%), and soil + LSS (50%), with seeds exposed for 60 days. Germination occurred only in the soil and soil + LSS treatments, at 70% and 60%, respectively. In the soil treatment, seeds germinated nine days earlier than in the soil + LSS treatment. The average seedling height was 65.4 ± 15.1 mm in soil and 55.7 ± 16.8 mm in soil + LSS, with no statistically significant differences. Diameter growth was also similar between soil (2.7 ± 0.4 mm) and soil + LSS (2.4 ± 0.3 mm, $p \leq 0.05$). These results indicate that sewage sludge may have a toxic effect on seed germination, but when stabilized with lime and mixed with soil (50%), it allows germination without compromising the initial growth of pink cedar.

Keywords: biosolid, phytotoxicity, soil pollution.

*Corresponding author: biancagonzaa@gmail.com

Germinação e Desenvolvimento Inicial de Cedro Rosa (*Cedrela fissilis* Vell.) sob Influência de Lodo de Esgoto

Resumo

A coleta e o tratamento de esgoto desempenham um papel crucial no saneamento básico, mas a destinação adequada do lodo de esgoto (LE) representa um desafio ambiental devido à presença de compostos potencialmente tóxicos e de microrganismos patógenos. A aplicação do LE na agricultura tem sido incentivada por sua riqueza em matéria orgânica e em nutrientes, mas seu impacto na biota do solo precisa ser avaliado. Nesse sentido, este estudo analisou os efeitos do LE na germinação e no crescimento inicial de cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell.) em diferentes substratos. Foram testados cinco tratamentos: solo (100%), LE, solo + LE (50%), lodo de esgoto estabilizado com cal (LEE 100%) e solo + LEE (50%), com as sementes expostas por 60 dias. A germinação ocorreu apenas nos tratamentos com solo e solo + LEE, com 70% e 60%, respectivamente. No tratamento solo, as sementes germinaram nove dias antes do tratamento solo + LEE. A altura média das plântulas foi de 65,4 ± 15,1 mm no solo e 55,7 ± 16,8 mm no solo + LEE, sem diferenças estatisticamente significativas. O crescimento em diâmetro também foi semelhante entre solo (2,7 ± 0,4 mm) e solo + LEE (2,4 ± 0,3 mm, $p \leq 0,05$). Esses resultados indicam que o lodo de esgoto pode ter efeito tóxico sobre a germinação de sementes, mas quando estabilizado com cal e misturado ao solo (50%), permite a germinação sem comprometer o crescimento inicial do cedro rosa.

Palavras-chave: biossólido, fitotoxicidade, poluição do solo.

INTRODUÇÃO

A coleta e o tratamento de esgotos são essenciais ao saneamento básico, contribuindo para a saúde pública, a preservação dos recursos naturais e a prevenção da poluição ambiental. Contudo, dos 92,5% dos municípios do Brasil analisados pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), apenas 56,3% possuem sistema público de esgotamento sanitário, que inclui a coleta e o tratamento do esgoto sanitário (Brasil, 2023).

Ao longo do processo de tratamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) é gerado um resíduo semissólido rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto (LE), que pode conter nutrientes essenciais, como carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e manganês (Bettiol & Camargo, 2006; Eid *et al*., 2020; Lima *et al*., 2011). Contudo, mesmo após o tratamento, o LE apresenta uma composição de microrganismos patógenos, como helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias, além de metais, como cobre e zinco, e outros compostos orgânicos halogenados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que são considerados tóxicos para os seres humanos e o meio ambiente (Lima *et al*., 2011; Urra *et al*., 2019; Mazzeo *et al*., 2016a). Ao final dos processos de tratamento, o LE é comumente denominado "biossólido" e é submetido à incineração ou depositado em aterros sanitários (Sampaio *et al*., 2015; Silva & Pinto, 2010; USEPA, 1995).

O descarte correto desse lodo é uma preocupação para a gestão de resíduos, uma vez que os aterros sanitários podem não comportar todo o lodo gerado devido ao aumento demográfico das cidades (Mazzeo *et al*., 2016 a, b). Por isso, existem diversas alternativas para seu descarte, como a utilização do lodo na produção de cerâmicas e cimento, a incineração, a conversão em óleo combustível, a recuperação de áreas degradadas e de mineração e o uso agrícola e florestal (Bettiol & Camargo, 2006; Silva & Pinto, 2010; Yagmur *et al*., 2017). A utilização do lodo de esgoto (LE) na agricultura é uma alternativa promissora, pois é rico em matéria orgânica e em nutrientes essenciais para as plantas, como o nitrogênio. No entanto, devido à presença de compostos potencialmente tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente, sua aplicação no solo deve seguir diretrizes específicas (Bettiol & Camargo, 2006; Sampaio *et al*., 2015; Singh *et al*., 2015; Mazzeo *et al*., 2016a).

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diretrizes para o uso do lodo de esgoto no solo, considerando tanto a presença de organismos patogênicos, como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias, quanto a concentração de metais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, compostos orgânicos halogenados e alquilbenzeno sulfonatos lineares (Brasil, 2020). Para sua aplicação direta no solo, é essencial que o LE seja estabilizado, sendo amplamente recomendada a utilização de cal virgem devido ao seu baixo custo e à eficácia na higienização. Esse método auxilia na redução de metais, na correção da acidez do solo e na eliminação de patógenos, promovendo um aumento do pH, o que reduz significativamente a sobrevivência de microrganismos,

atingindo uma redução de aproximadamente 90% (Carvalho *et al*., 2022). Além da cal virgem, outros métodos podem ser utilizados para a desinfecção do lodo de esgoto, como bioaumentação, compostagem e co-compostagem com fibra de coco e borra de café, bem como a vermicompostagem com minhocas da espécie *Eisenia andrei* (Bouché, 1972). A atenuação natural também se mostra uma alternativa eficaz, especialmente quando o lodo é misturado a uma concentração de 10% com solo natural, alcançando a estabilização em dois meses. Entretanto, em concentrações mais elevadas, o processo pode levar de seis a doze meses para ser concluído (Mazzeo *et al*., 2016b; Souza *et al*., 2024).

Estudo recente demonstra a eficácia da aplicação do lodo estabilizado (75% substrato + 25% lodo de esgoto; 50% substrato + 50% lodo de esgoto) em diferentes cultivos, em experimentos com *Cedrela fissilis* Vell. e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, observou-se que o lodo de esgoto teve efeito positivo no crescimento da parte aérea das mudas de *A. macrocarpa* aos 30 dias após o replantio. Apesar de não terem sido verificadas diferenças estatisticamente significativas nos demais parâmetros fitométricos em comparação ao substrato comercial, os tratamentos com lodo demonstraram tendência positiva ao longo do período avaliado, indicando seu potencial para a produção de mudas dessas espécies (Bortolini *et al*., 2017).

O cedro rosa (*C. fissilis*) espécie de planta nativa do Brasil, naturalmente encontrada na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica (Gabira *et al*., 2021), tem sido aplicado na biorremediação de solos contendo metais, como cobre, cádmio, manganês e chumbo, sendo uma espécie com potencial fitorremediador e tornando-se uma alternativa viável para germinação e desenvolvimento em lodo de esgoto. Estudos demonstram que em solo contaminado com cobre, as plantas conseguiram se desenvolver e remover parte do metal do solo (Amado & Chaves Filho, 2015; Caires *et al*., 2011; Covre *et al*., 2020; Meyer *et al*., 2016). Segundo Lamego & Vidal (2007), uma planta fitorremediadora eficiente deve apresentar características como crescimento rápido, alta produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição. Nesse contexto, o cedro rosa demonstra essas qualidades ao ser exposto a solos contaminados, evidenciando seu potencial de fitorremediação.

Considerando o problema do descarte do LE sanitário, da possibilidade da sua aplicação na agricultura e para recuperação de áreas degradadas, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do lodo de esgoto doméstico de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil na germinação e crescimento inicial do cedro rosa (*C. fissilis*), considerando seu potencial uso na agricultura e recuperação de áreas degradadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem de lodo e solo

O lodo de esgoto (LE) utilizado neste experimento foi coletado na estação de tratamento de esgoto (ETE) Uberabinha, em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. A unidade, gerenciada pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), forneceu laudos das análises químicas (Material Suplementar 1) conforme as normas da ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004).

As amostras de LE foram coletadas diretamente da caçamba de destinação de resíduos sólidos utilizando pá e baldes plásticos, totalizando 100 litros. Após a coleta, o material foi transportado para o laboratório, e mantido sob lona plástica por 7 dias, para atenuação natural. Posteriormente, parte do lodo foi estabilizada quimicamente com cal hidratada como na proporção de 3:1 em relação ao peso seco do lodo, conforme proposto por Lima *et al.* (2011).

O solo utilizado neste experimento foi coletado na fazenda experimental do Campus Glória, também pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU). As amostras de solo foram coletadas com auxílio de pá e baldes plásticos, totalizando 100 litros de material.

Ensaio de germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de cedro rosa

O ensaio (Figura 1A–E) foi montado em cinco cubas de inox (325 mm x 265 mm), preparadas com base de drenagem composta por bolas esféricas de vidro e uma saída conectada a uma mangueira, conforme ilustrado na Figura 1A. Cada cuba recebeu 12 L de substrato, distribuído entre solo controle e os diferentes tratamentos: lodo de esgoto (LE) (Figura 1B), solo + LE (50%) (Figura 1C), lodo de esgoto estabilizado com cal (LEE) (Figura 1D) e solo + LEE (50%) (Figura 1E). Para cada tratamento, foi utilizada uma cuba contendo 10 sementes de *Cedrela fissilis*, consideradas como unidades experimentais independentes (réplicas biológicas) no tratamento com LE. As sementes foram cobertas com uma fina camada de substrato comercial. As cubas permaneceram na bancada da estufa botânica 20 L (cerca de 4 L, por cuba, com fotoperíodo natural, durante todo o experimento) e foram irrigadas com um irrigador de 20 L (cerca de 4 L por cuba) de 1 a 2 por dia durante 60 dias. O acompanhamento foi realizado diariamente para a verificação da germinação.



Figura 1. Montagem das cubas para o Ensaio de germinação com cedro rosa. A. Cuba de inox com drenagem por bolas esféricas de vidro e saída de drenagem com mangueira. B. Solo. C. Solo + lodo de esgoto. D. Solo + lodo de esgoto estabilizado. E. Lodo de esgoto estabilizado. F. Lodo puro da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

A germinação das sementes foi considerada a partir da emergência das partes aéreas acima da superfície do substrato, conforme definido por Brasil (2009). A porcentagem da germinação foi determinada ao final de 60 dias, seguindo o método estabelecido por Labouriau e Valadares (1976):

$$EP\,(\%) = N/A \times 100 \quad (1)$$

Onde
EP: Emergência de plântulas;
N: número de plântulas emergidas;
A: número total de sementes colocadas para germinar.

A velocidade de emergência foi determinada pelo total de plântulas emergidas a cada dia, dividido pelo número de dias desde a semeadura, conforme a metodologia de Nakagawa (1999). O índice de velocidade de emergência foi calculado segundo o modelo proposto por Maguire (1962):

$$IVE = N1/D1 + N2/D2 + \ldots + Nn/Dn \quad (2)$$

Onde
IVE = índice de velocidade de emergência;
N1:n = número de plântulas emergidas , nos dias 1, 2...n;
D = dias para as plântulas emergirem.

Também foram analisados a altura e o diâmetro das plântulas um paquímetro digital. A altura foi medida do substrato até a gema apical, e o diâmetro foi registrado a 2 cm acima do substrato.

Análise dos dados

As análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 0,05. Inicialmente, para a distribuição, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Os dados referentes ao Índice de Velocidade de Emergência (IVE), diâmetro e altura apresentaram distribuição normal (α = 0,05). Dessa forma, utilizou-se o teste t para comparar os tratamentos germinados entre si.

RESULTADOS

Após 60 dias de desenvolvimento de sementes de cedro rosa (Figura 2A–E), constatou-se que apenas os tratamentos com solo (controle) e solo + LEE apresentaram germinação, com taxas de 70% e 60%, respectivamente, o que indica diferença mínima de 10% entre eles (Figura. 2A C). Em relação ao índice de velocidade de emergência, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo 0,07 ± 0,04 para o tratamento solo e 0,06± 0,02 para o tratamento solo + LEE. No entanto, observou-se que a germinação ocorreu primeiro no tratamento com solo, apresentando um crescimento inicial mais rápido em comparação ao substrato contendo a mistura (solo + LEE), com uma diferença de nove dias entre eles.

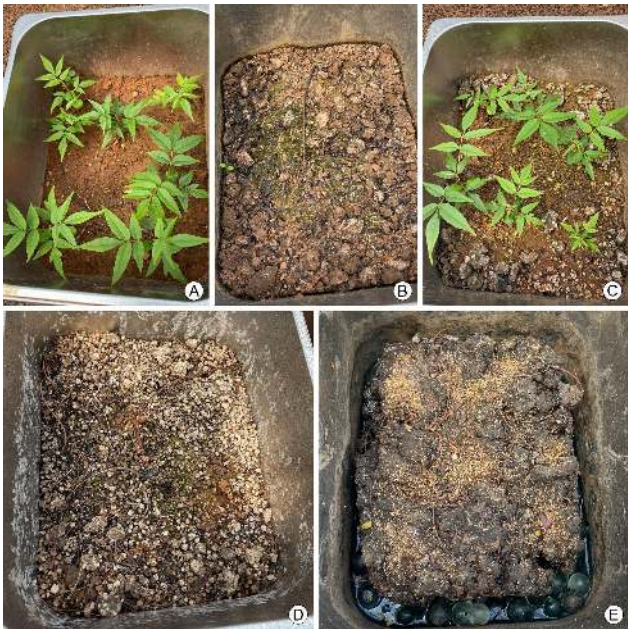

Figura 2. Ensaio de germinação com cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). A. Solo. B. Solo + lodo de esgoto. C. Solo + lodo de esgoto estabilizado. D. Lodo de esgoto estabilizado. E. Lodo puro da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

As medições do diâmetro do caule das plantas foram realizadas após 60 dias de experimento. A altura média das plantas germinadas no tratamento com solo foi de 65.40 ± 15,05 mm, enquanto no tratamento com solo + LEE foi de 55,70 ± 16,80 mm, não havendo diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos (Figura 3). A avaliação do diâmetro do caule apresentou crescimento semelhante, entre os tratamentos, com valores médios de 2,67 ± 0,36 mm para o solo e 2,40 ± 0,31 mm para solo + LEE (Figura 3).

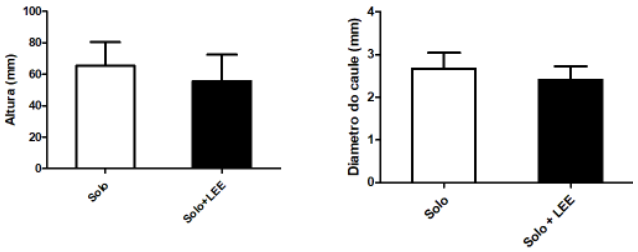

Figura 3. Altura e diâmetro (média ± desvio padrão) do caule de cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). LEE: Lodo de esgoto estabilizado com Cal. LE: Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores não se diferenciam no teste t ($p \leq 0,05$).

DISCUSSÃO

No presente estudo, o lodo de esgoto utilizado no ensaio de germinação de sementes de cedro apresentou concentrações de metais, como Al, Cd, Pb, Cr, Fe, Mn e Zn, acima dos limites recomendados pela NBR 10006/04 (ABNT, 2004) para solubilizados (ver material suplementar 1). No entanto, esses valores ainda se encontram dentro dos limites permitidos pela Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020) para a utilização agrícola do lodo de esgoto.

Resultados semelhantes a este estudo foram observados em pesquisas com sementes de *Allium cepa*, nas quais a exposição ao lodo de esgoto bruto impediu a germinação, mesmo quando as análises químicas indicaram que os contaminantes estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente (Mazzeo *et al*., 2015). O mesmo ocorre em um estudo que utiliza sementes de *Vicia faba*, *Solanum lycopersicum* e *Myracrodruon urundeuva*, no qual o lodo de esgoto bruto inibiu a germinação das sementes (De Azevedo *et al*., 2023; Dani *et al*., 2022; El-Shaboury *et al*., 2021). Esses achados sugerem que misturas complexas, como o lodo de esgoto, podem conter substâncias que, mesmo em baixas concentrações, apresentam alta toxicidade devido à presença de compostos não identificados nas análises químicas, mas que podem ser responsáveis pelos efeitos tóxicos observados (Mazzeo *et al*., 2015; Martins *et al*., 2016a; Santos, 2022). Dessa forma, ressalta-se a necessidade de ampliar os parâmetros avaliados nas análises químicas, visando à identificação de compostos ainda não contemplados pela legislação, mas que podem representar riscos significativos à qualidade ambiental (Santos, 2022).

A adição de cal ao lodo de esgoto promove a alcalinização do substrato, contribuindo para sua estabilização (Carvalho *et al*., 2022; Lima *et al*., 2011). Carvalho *et al*. (2022) verificaram que a mistura de 30% de cal ao lodo, por um período de duas horas, elevou o pH acima de 12. Além disso, testes de coliformes termotolerantes e vírus entéricos demonstraram que a cal foi eficaz na higienização do material, reduzindo os patógenos a níveis abaixo dos limites estabelecidos pela legislação para uso agrícola. Estudos indicam que períodos superiores a 90 dias são suficientes para permitir a germinação de espécies vegetais como *A. cepa* e *Vicia faba* em substratos contendo lodo de esgoto (El-Shaboury *et al*., 2021; Mazzeo *et al*., 2015; Santos *et al*., 2022). No estudo de Santos (2022), foi observado que, após seis meses de biorremediação por atenuação natural, o lodo de esgoto misturado ao solo aumentou a taxa de germinação das sementes de *A. cepa.* De maneira semelhante, no presente estudo, as sementes de *C. fissilis* germinaram no substrato contendo solo e lodo de esgoto estabilizado (LEE). Outros métodos de estabilização também têm se mostrado promissores. Ren *et al*. (2021) verificaram que a estabilização química do lodo por minerais argilosos, como a atapulgita, promoveu a imobilização de metais e aumentou o índice de germinação de *Brassica chinensis.* Esses achados evidenciam a importância de investigar métodos alternativos de estabilização além da calagem, reforçando que o tratamento prévio do lodo é essencial para minimizar riscos ecotoxicológicos.

Além disso, a toxicidade de metais no solo pode impactar diretamente a germinação e o crescimento das plântulas. Silva *et al*. (2017) relataram atraso no índice de velocidade de emergência ao expor sementes de *Schinus terebinthifolia* Raddi (aroeira-vermelha) ao chumbo (Pb), constatando que a poluição do solo com Pb retardou o desenvolvimento das sementes em concentrações a partir de 0,4 mM, atingindo inibição máxima em 1,0 mM. He *et al.* (2014), ao avaliar sementes de *Oryza sativa* (arroz) expostas ao cádmio (Cd), observaram que esse metal inibiu o crescimento das plântulas, reduzindo significativamente a taxa de germinação, o índice de germinação, o vigor, bem como o comprimento da raiz e do caule. Esses resultados reforçam a necessidade de aprofundar os estudos sobre compostos ainda não contemplados pela legislação, mas que podem representar riscos significativos à qualidade ambiental.

Os resultados deste estudo indicam que o substrato contendo lodo de esgoto estabilizado misturado com solo promove o desenvolvimento das plântulas de cedro rosa, diferentemente dos outros substratos que continham lodo bruto e o lodo estabilizado sozinho. Embora a germinação tenha ocorrido nove dias antes no solo puro, o índice de velocidade de emergência não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos de solo e solo + LEE. Da mesma forma, o crescimento em altura e diâmetro do caule das plântulas foi semelhante nos dois substratos, sem diferenças estatísticas. Esses achados sugerem que a presença do LEE em uma proporção de 50% no solo não compromete o crescimento inicial das plântulas. Dessa forma, o uso de lodo de esgoto estabilizado com cal, quando misturado ao solo, pode representar uma alternativa viável para o

reaproveitamento desse resíduo na agricultura e na recuperação de áreas degradadas. No entanto, destaca-se a necessidade de testes ecotoxicológicos adicionais, especialmente voltados à germinação inicial de sementes de cedro rosa em diferentes formulações de substrato contendo lodo, bem como a realização de estudos de longo prazo para avaliar os efeitos cumulativos sobre a biota do solo e o desenvolvimento das plantas ao longo de diferentes estágios do ciclo de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) pelo fornecimento dos dados do lodo.

CREDIT AUTHOR STATEMENT

BG: Writing - Review & Editing, investigation, Methodology; **CM:** Writing - Review & Editing, investigation; **MG:** Data analysis; **MC:** investigation, Methodology; **JM:** investigation, Methodology; **JN:** Writing - Review & Editing, Resources, Investigation, Supervision

REFERÊNCIAS

Amado, S., & Chaves Filho, J. T. (2015). Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. Natureza Online, 13(4), 158–164.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitários (pp. 1–60). ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos (pp. 1–3). ABNT.

Bettiol, W. & Camargo, O. A. De (2006). A disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola (2006). Em: Lodo de Esgoto Impactos Ambientais na Agricultura, (pp. 25–35). Embrapa Meio Ambiente.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Regras para análise de sementes. (pp. 1–399). MAPA/ACS.

Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. (2023). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: Visão geral. http://www.snis.gov.br/

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2020, agosto 19). Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020: Procedimentos gerais para a utilização de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento em área agrícola e outras aplicações. Diário Oficial da União. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970

Carvalho, L. C. D. C. S., Martins, C. A. D. C., Amaral, I. A., Peres, A. A. D. C., & Dos Santos, F. S. (2022). Aproveitamento de lodo de esgoto urbano como substrato para produção de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolius*). Scientia Plena, 18 (10). https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.100201

Covre, W. P., Pereira, W. V. Da S., Gonçalves, D. A. M., Teixeira, O. M. M., Amarante, C. B. Do, & Fernandes, A. R. (2020). Phytoremediation potential of *Khaya ivorensis* and *Cedrela fissilis* in copper contaminated soil. Journal of Environmental Management, 110733 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110733

Caires, S. M. D., Fontes, M. P. F., Fernandes, R. B. A., Neves, J. C. L., & Fontes, R. L. F. (2011). Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. Revista Árvore, 35(6), 1181-1188. https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000700004

Dani, P., Naudiyal, K., Shah, V., & Daverey, A. (2022). Effect of raw sewage sludge and sewage sludge biochar on soil physicochemical properties and seed germination of Solanum lycopersicum. Environmental Quality Management, 32(2), 101–109. https://doi.org/10.1002/tqem.21921

Eid, E. M., Hussain, A. A., & Taher, M. A. (2020). Sewage sludge application enhances the growth of corchorus olitorus plants and provides a sustainable practice for nutrient recirculation in agricultural soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(1), 149-159.

El-Shaboury, G. A., Ghramh, H. A., Ibrahim, E. H., & Haroun, S. A. (2021). Assessing the effect of natural attenuation on sewage sludge using faba bean (Vicia faba) test and gc-ms analysis. Applied Ecology and Environmental Research, 19(3), 2357–2367. https://doi.org/10.15666/aeer/1903_23572367

Gabira, M. M., Da Silva, R. B. G., Bortolheiro, F. P. De A. P., Mateus, C. De M. D., Villas Boas, R. L., Rossi, S., Girona, M. M., & Da Silva, M. R. (2021). Composted sewage sludge as an alternative substrate for forest seedlings production. IForest, 14(6), 569–575. https://doi.org/10.3832/ifor3929-014

He, J., Ren, Y., Chen, X., & Chen, H. (2014). Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (Oryza sativa L.) under cadmium stress. Ecotoxicology and environmental safety, 108, 114–119. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.021

Labouriau, L. G., & Viladares, M. E. B. (1976). On the

germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. Anais. Academia Brasileira de Ciências, 48(2) 263-284.

Lamego, F. P., & Vidal, R. A. (2007). Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, 17, 9–18. https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.10662

Lima, M. F., Mattos, C. N., Vieira, P. L. C., & Almeida, L. F. (2011). Geração de lodo de esgoto e seu potencial como fonte de matéria orgânica para a agricultura. In Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o Estado do Espírito Santo (pp. 1–18). INCAPER.

Lopes, P. A. P., Pegoraro, R. F., Kondo, M. K., Santos, S. R. Dos, & Fernandes, L. A. (2020). Grain yield and microbiological quality of cowpea plants grown under residual effect of sewage sludge fertilization. Revista Caatinga, 33(1), 21–30. https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n103rc

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2(2), 176–177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X00020 0020033x

Martins, C. A. Da C., Santos, F. S. Dos, Portz, A., & Santos, A. M. Dos. (2018). Desenvolvimento inicial do milho (Zea mays L.) em substrato contendo lodo de esgoto compostado. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 48, 69–79. https://doi.org/10.5327/Z2176-9478201803058.

Martins M.N.C., De Souza V.V., Da Silva Souza T. (2016) Genotoxic and mutagenic effects of sewage sludge on higher plants. Ecotoxicol Environ Safe, 124, 489–496. https://doi. org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.031.

Mazzeo D.E.C., Casado M., Piña B., Marin-Morales M.A. (2016a) Detoxification of sewage sludge by natural attenuation and implications for its use as a fertilizer on agricultural soils. Sci Total Environ. 572, 978–985. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.228

Mazzeo D.E.C., Fernandes T.C.C., Marin-Morales M.A. (2016b) Attesting the efficiency of monitored natural attenuation in the detoxification of sewage sludge by means of genotoxic and mutagenic bioassays. Chemosphere, 163, 508–515. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.060

Mazzeo, D.E.C., Fernandes, T.C.C., Levy, C.E., Angelis, D.F., Fontanetti, C.S., Marin Morales, M.A. (2015). Monitoring the natural attenuation of a sewage sludge toxicity using the Allium cepa test. Ecol. Indic. 56, 60-69. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.026

Meyer, S. T., Castro, S. R., Fernandes, M. M., Soares, A. C., De Souza Freitas, G. A., & Ribeiro, E. (2016). Heavy-metal-contaminated industrial soil: uptake assessment in native plant species from Brazilian Cerrado. International journal of Phytoremediation, 18(8), 832-838.

Nakagawa, J. (1999). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. Vigor de sementes: conceitos e testes. (pp. 1–24). ABRATES.

Prefeitura De Uberlândia. Ete Uberabinha. https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/tratamento-de-esgoto/ete-uberabinh a/. Acesso em: 08 de Set. de 2023.

Ren, J., Dai, L., & Tao, L. (2021). Stabilization of heavy metals in sewage sludge by attapulgite. Journal of the Air and Waste Management Association, 71(3), 392–399. https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1843563

Ribeirinho, V. S., De Melo, W. J., Da Silva, D. H., Figueiredo, L. A., & De Melo, M. G. P. (2012). Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. Pesquisa agropecuária tropical, 42(2) 166–173. https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200002

Sampaio, T. F., Guerrini, I. A., Otero, X. L., Vazquez, F. M., Bogiani, J. C., Oliveira, F. C., Gava, J. L., Ciol, M. A., Littke, K. M. & Harrison, R. B. (2016). The impact of biosolid application on soil and native plants in a degraded Brazilian Atlantic rainforest soil. Water, Air, & Soil Pollution, 227, 1–9.

Santos, C. F. Dos, & Novak, E. (2013). Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. Revista de ciências ambientais, 7(1), 67–78. http://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/

Santos, E. F., Kondo Santini, J. M., Paixão, A. P., Júnior, E. F., Lavres, J., Campos, M. (2017). Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. Plant Physiology and Biochemistry, 113, 6–19. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022

Santos, T., Sommaggio, L. R. D., & Marin-Morales, M. A. (2022). Phyto-genotoxicity assessment of different associations between sludges from Water and Sewage Treatment Plants, before and after the bioremediation process. Environmental Science and Pollution Research, 29(26), 40029–40040. https://doi.org/10.1007/s11356-022-18820-z

Silva, B. V. N. & Pinto, L. V. A. (2010) Potencial do uso do lodo de esgoto como adubo orgânico em cobertura de espécies florestais nativas plantadas em área degradada por pastagem. Revista Agrogeoambiental. 2(1), 50-56. https://doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251

Silva, E., Guilherme, M. De F., Oliveira, H., Viana, Z., & Santos, V. L. (2017). Caracterização morfométrica e efeitos ecotoxicológicos do chumbo na germinação de sementes de *Schinus terebinthifolius* Raddi. Arquivos Do Instituto Biológico, 84,

1-7https://doi.org/10.1590/1808-1657000272016

Silva, P. R. D., Landgraf, M. D., Zozolotto, T. C., & Rezende, M. O. O. (2010). Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo. Eclética química, 35(3), 61–67. https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000300005

Singh, S., Srivastava, P. K., Kumar, D., Tripathi, D. K., Chauhan, D. K., & Prasad, S. M. (2015). Morpho-anatomical and biochemical adapting strategies of maize (Zea mays L.) seedlings against lead and chromium stresses. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 4(3), 286–295. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3661-6

Souza, A. C. Z., Santos, J. E., Marin-Morales, M. A., & Mazzeo, D. E. C. (2024). Ecotoxicological aspects and environmental implications of the use of water and sewage treatment sludges. International Journal of Environmental Science and Technology, 21(3), 3527-3552. https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13762-023-05338-1

Trigueiro, R. De M., & Guerrini, I. A. (2014). Use of sewage sludge for seedlings production of brazilian pepper. Revista Árvore, 38(4), 657–665.

USEPA (United States Environmental Protection) (1995). Process design manual: Land application of sewage sludge and domestic septage. EPA 625/R-95/001. Washington D. C.

Yagmur, M., Arpali, D., & Gulser, F. (2017). The effects of sewage sludge treatment on triticale straw yield and its chemical contents in rainfed condition. The Journal of Animal and Plant Sciences, 27(3), 971–977. https://www.researchgate.net/publication/317954371

Editor-in-chief:

Dr. Manildo Marcião Oliveira

Associate Editor:

Dr. Larissa Andrade Vieira

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.