

## II - 104 - VIABILIDADE DA VALORIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO INSERIDO NO SETOR AGRÍCOLA E DA CONSTRUÇÃO CIVIL

### **Maria Eduarda Aranega Pesenti<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná.

### **Beatriz Belchior de Lara<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná.

### **Kátia Valéria Marques Cardoso Prates<sup>(3)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Londrina/Paraná.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida dos Pioneiros, 3131 - Jardim Marumbi - Londrina - Paraná - CEP: 86036-370 - Brasil - Tel: +55 (43) 996692781 - e-mail: [aranegapesenti@gmail.com](mailto:aranegapesenti@gmail.com)

### **RESUMO**

Um dos principais produtos gerados no tratamento do esgoto sanitário é o Lodo de Esgoto (LE). Esse resíduo é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos gerado em grandes quantidades que pode apresentar em sua composição macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica. A grande geração de sólidos e os compostos que esse resíduo apresenta podem viabilizar a utilização do LE, assim o presente artigo analisa a viabilidade da utilização de LE inserido na agricultura e na construção civil utilizando o mapeamento sistemático de literatura. A busca de publicações para a construção do portfólio final do mapeamento sistemático de literatura foi realizado no Google Acadêmico e na Empresa Editorial Elsevier, com as seguintes *strings* de busca relacionadas ao tema: "lodo de esgoto"; "reutilização"; "reciclagem"; "valorização"; "construção civil" e "agricultura" e seus termos em inglês: "sewage sludge"; "reuse"; "recycling"; "valorization"; "civil construction" e "agriculture", respectivamente. Adicionalmente, foi utilizada a lógica booleana com os operadores "AND" e "OR" entre as strings para obter publicações que incluem simultaneamente dois ou mais termos de pesquisa (*strings*). Os resultados foram analisados e categorizados em dois principais setores de aplicação: LE na agricultura e LE na construção civil. Para selecionar publicações relevantes sobre a reutilização do LE nesses dois setores foram utilizados critérios de qualificação e de exclusão. Na agricultura, o LE é explorado por sua capacidade de melhorar a estrutura do solo, sendo utilizado em diferentes formas, como fertilizante líquido, *biochar* e substrato para mudas. Alguns estudos sobre o LE na agricultura destacam técnicas como a Hidrólise Térmica Alcalina (HTA) e compostagem para reduzir a toxicidade do efluente e maximizar seu potencial como promotor de crescimento vegetal. Na construção civil, o LE é empregado em diversos processos, como na produção de tijolos, cimentos e argamassas. No entanto, sua utilização em peças de concreto para pavimentação enfrenta desafios, especialmente em relação aos resultados de ensaios mecânicos, o que indica que é necessário implementar melhorias para aprimorar o desempenho do material nesse contexto. Após o levantamento e a análise dos trabalhos selecionados percebe-se que há uma diversidade de aplicações promissoras do LE nos setores da agricultura e da construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação de tratamento de esgoto, reutilização, agricultura, construção civil.



## INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um dos pilares fundamentais para a qualidade de vida e a saúde pública em qualquer sociedade. No centro desse sistema está o tratamento adequado do esgoto sanitário, um processo vital para mitigar os riscos à saúde e preservar o meio ambiente (NUVOLARI et al. 2021).

O esgoto sanitário é composto por uma variedade de resíduos, incluindo água usada em residências, estabelecimentos comerciais e industriais. Esse fluxo de águas residuais pode conter uma série de agentes patogênicos, substâncias químicas e matéria orgânica, representando um sério risco à saúde humana e ambiental se não for devidamente tratado (NUVOLARI et al. 2021; SNIS, 2023).

O processo de tratamento de esgoto é baseado na remoção de contaminantes e poluentes do esgoto, tornando-o seguro para descarte ou reutilização. As etapas comuns incluem a remoção de sólidos grosseiros (tratamento preliminar), a sedimentação para separar partículas sólidas e líquidas (tratamento primário), a aeração para promover a decomposição biológica de matéria orgânica (Tratamento secundário) e a desinfecção para eliminar microrganismos patogênicos (Tratamento terciário) (SNIS, 2023).

Um dos principais subprodutos do tratamento de esgoto é o Lodo de Esgoto (LE), uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos que podem ser removidos durante o processo do tratamento primário e secundário (LAMASTRA E TREVISAN, 2018). Esse resíduo possui um alto potencial de reutilização devido à variabilidade de sua composição, podendo apresentar macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica. As características e a quantidade de cada substância e nutrientes presentes podem variar de acordo com a procedência do LE (BATISTA, 2015; BETTOL E CAMARGO, 2006).

Segundo a norma ABNT NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) o lodo advindo de uma estação de tratamento de esgotos urbanos, é classificado como classe II-A, indicando ser um resíduo não perigoso e não inerte. No entanto, apesar de sua classificação inicial, é essencial reconhecer que o LE apresenta um alto potencial poluidor, uma vez que pode conter uma variedade de patógenos e metais tóxicos. Essa aparente contradição se deve, em grande parte, à possibilidade de contaminação do esgoto doméstico ou do próprio lodo, durante ou após o tratamento, por efluentes industriais. Tal contaminação pode conferir ao lodo características de um resíduo classe I, tornando-o potencialmente perigoso e tóxico, mesmo dentro da classificação inicialmente estabelecida (DÍAZ, 2013).

Segundo dados de 2022 do Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto (SNIS, 2023), o volume de esgotos coletados atingiu 6,1 bilhões de m<sup>3</sup>, enquanto o volume de esgoto tratado foi de 5,0 bilhões de m<sup>3</sup>. O processo de tratamento gera um volume significativo de LE. Assim, a destinação ambientalmente adequada do LE torna-se uma problemática, representando um desafio para os municípios. As normas regulamentadoras para a destinação deste resíduo são rigorosas, e o constante crescimento populacional e o desenvolvimento econômico das cidades intensificam essa questão (RIGOLIN, 2022).

Uma das formas de lidar com o volume de LE gerado no tratamento de esgotos sanitários é por meio da reutilização desse resíduo. É importante ressaltar que, dependendo do setor e da metodologia empregada na reutilização do LE, é fundamental que este passe por um tratamento adequado para reduzir sua toxicidade e viabilizar sua utilização em diferentes contextos.

As vantagens associadas ao uso do LE na agricultura são facilmente perceptíveis devido à carga orgânica e aos nutrientes presentes nesse resíduo. No entanto, na indústria, especialmente na construção civil, a justificativa para a reutilização desse material se encontra na possibilidade de promover a sustentabilidade nesse setor. Estudos focalizados na aplicação do LE na construção civil destacam sua considerável viabilidade, uma vez que o resíduo não apresenta interferências técnicas nos processos e, adicionalmente, contribui para a redução dos custos de produção.

## OBJETIVOS

O mapeamento sistemático de literatura é uma metodologia utilizada para identificar, categorizar e sintetizar a pesquisa existente sobre um determinado tema de forma abrangente e estruturada, sendo uma ferramenta útil para se ter uma visão geral do campo de pesquisa, possibilitando a identificação de lacunas, ou seja, identificar áreas onde há falta de pesquisa ou onde os estudos são limitados, o que pode orientar futuras pesquisas e propostas de projetos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar por meio do mapeamento sistemático de literatura a viabilidade da utilização de LE como material para a fabricação de diferentes produtos inseridos na agricultura e na construção civil.

## METODOLOGIA UTILIZADA

O procedimento para a realização do mapeamento sistemático de literatura baseou-se nas publicações de Conforto et al. (2011) e Lopes e Prates (2022). As etapas metodológicas realizadas estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1: Etapas metodológicas realizadas.**

ETAPAS	DESCRIÇÃO
1º	Definição do tema a ser estudado
2º	Escolha das bases de dados
3º	Formulação das <i>Strings</i> de busca
4º	Busca na base de dados
5º	CrITÉRIOS de qualificação
6º	Confecção do portfólio bruto de publicações
7º	Seleção das publicações
8º	Extração de dados

A primeira etapa do trabalho foi definir o tema a ser estudado por meio de uma pergunta norteadora- Qual a viabilidade da utilização de LE na agricultura e na construção civil?. A partir da pergunta definida trabalhou-se na escolha das bases de dados que seriam consultadas para o levantamento, para isso duas bases de dados foram escolhidas, o Google Acadêmico e a Empresa Editorial Elsevier, onde o Google Acadêmico foi utilizado para buscar somente dissertações e teses e a Empresa Editorial Elsevier para realizar a busca de artigos científicos e capítulos de livro. Com a escolha das bases de dados feita, a próxima etapa consistiu na seleção das *strings* de busca. Para isso as seguintes palavras-chave foram utilizadas: "lodo de esgoto"; "reutilização"; "reciclagem"; "valorização"; "construção civil" e "agricultura" e seus termos em inglês: "sewage sludge"; "reuse"; "recycling"; "valorization"; "civil construction" e "agriculture", respectivamente.

Para realizar a busca na base de dados, empregou-se a lógica booleana com os operadores "AND" e "OR" entre as strings, resultando na identificação de publicações que incluem simultaneamente os termos de pesquisa, como exemplo: "sewage sludge" AND ("reuse" OR "recycling" OR "valorization") AND "civil construction". Para a busca no Google Acadêmico ainda adicionou-se o operador NOT seguido de "article", com a finalidade de selecionar somente dissertações e teses.

Os critérios de qualificação estabelecidos visaram compilar um portfólio bruto que refletisse pesquisas atuais e relevantes em escala global, sendo eles:

- (i) Publicações veiculadas na última década;
- (ii) Publicações redigidas em inglês e português;
- (iii) Publicações resultantes de estudos experimentais relacionadas aos setores agricultura e construção civil;
- (iv) Artigos publicados em periódicos de alto impacto (publicações classificadas no estrato A do Qualis/Capes).

Adicionalmente aos critérios de qualificação, foi necessário incorporar critérios de exclusão, que consistiu na eliminação de:

- (i) Publicações de base teórica;

- (ii) Publicações duplicadas;
- (iii) Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs).

Após a obtenção do portfólio bruto, as publicações foram examinadas e selecionadas com base na pertinência ao tema proposto, preparando-se para a subsequente extração de dados. A Figura 1 apresenta as etapas envolvidas na seleção das publicações.



Figura 1: Fluxograma da seleção de publicações para leitura.

## RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 fornece uma visão detalhada do processamento das publicações à medida que avançam nas etapas descritas na metodologia.

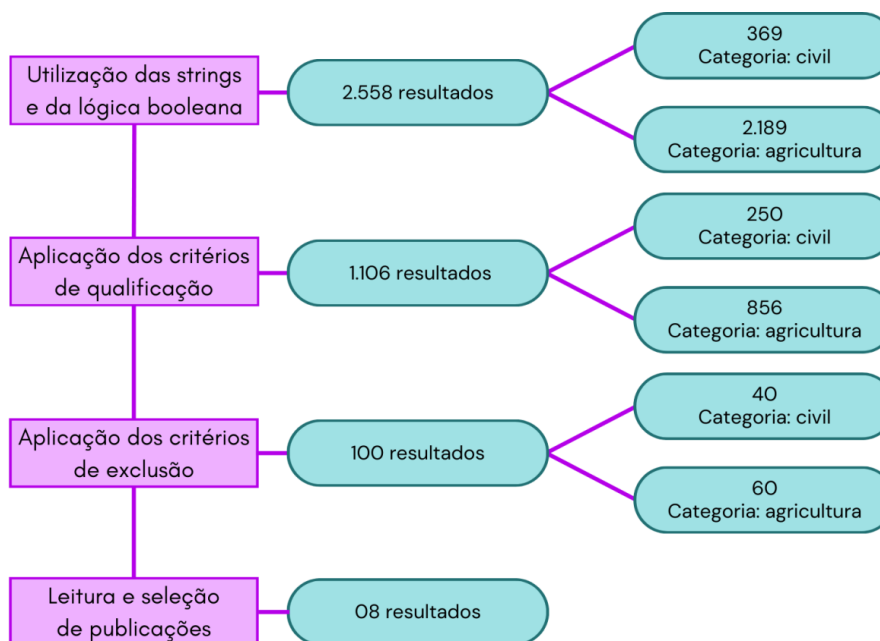


Figura 2: Processamento das publicações realizadas.

Conforme demonstrado na Figura 2, o processo de seleção das publicações envolveu a aplicação de diversas técnicas, tais como *strings* de busca, lógica booleana e critérios de qualificação e exclusão. Essas etapas

resultaram em um refinamento das publicações a serem avaliadas. Após a aplicação dessas técnicas, foram identificadas 100 publicações relevantes, que foram submetidas a uma análise mais detalhada. Dessas, foram selecionadas as oito publicações mais pertinentes para abordar e responder a pergunta norteadora do trabalho e realizar a extração de dados.

As oito publicações selecionadas estão apresentadas no Quadro 2. Os trabalhos foram setorizados em duas principais áreas: lodo de esgoto na agricultura e lodo de esgoto na construção civil.

**Quadro 2: Publicações selecionadas para a análise em suas respectivas categorias.**

ANO	PUBLICAÇÕES	AUTORIA	TÍTULO
<b>LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA</b>			
2022	Water Research	Tang et. al	Alkaline thermal hydrolysis of sewage sludge to produce high-quality liquid fertilizer rich in nitrogen-containing plant-growth-promoting nutrients and biostimulants.
2020	Journal of Hazardous Materials	Tomczyk et. al	The conversion of sewage sludge to biochar as a sustainable tool of PAHs exposure reduction during agricultural utilization of sewage sludges
2021	euFloresta Biogeociências e Silvicultura	Gabira et. al	Composted sewage sludge as an alternative substrate for forest seedlings production
2018	Chemical and Biological Technologies in Agriculture	Lamastra et. al	Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer
2014	of the Air & Waste Management Association	Liu et. al	Improvement of salinity in sewage sludge compost prior to its utilization as nursery substrate
<b>LODO DE ESGOTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b>			
2021	Journal of Environmental Management	Zat et. al	Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of eco-friendly bricks
2014	Dissertação	Costa	Estudo da viabilidade da utilização de cinza de lodo de esgoto como adição em argamassa de cimentos Portland.
2022	Dissertação	Rigolin	Estudo de viabilidade técnica para incorporação de resíduos de lodo de estação de tratamento em peças de concreto para pavimentação.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A incorporação do LE na agricultura vem crescendo devido à sua contribuição para melhorar a estrutura e corrigir o solo. Lamastra (2018) destaca seu alto teor de matéria orgânica, tornando-o uma opção de custo-benefício superior em comparação a outras destinações. No entanto, o potencial poluente do LE exige tratamento para reduzir riscos à saúde e ao meio ambiente, devido a metais tóxicos e microrganismos patogênicos (Lamastra, 2018).

Estudos, como o de Tang et. al (2022), exploram a Hidrólise Térmica Alcalina (HTA) para reduzir a toxicidade do LE, transformando-o em licor rico em Nutrientes Promotores do Crescimento Vegetal e Bioestimulantes Promotores do Crescimento Vegetal. Outra abordagem, proposta por Tomczyk et. al (2020), converte o LE em biochar para minimizar a exposição a Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAS) durante o uso agrícola.

A produção de biochar com LE, segundo Liu et. al (2014), é viável para implementação de mudas em viveiros após tratamento que reduza a salinidade. Estudos de Gabira et al. (2021) indicam que a compostagem do LE com casca de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar o torna eficaz como substrato para mudas, superando a turfa, substrato químico comum em viveiros. Essas alternativas destacam o potencial versátil e benéfico do LE na agricultura.



O uso do LE na construção civil tem sido explorado em diversos processos produtivos, como na fabricação de tijolos, cerâmicos, agregados leves, blocos de concreto, peças para pavimentação, cimentos e argamassas (Rigolin, 2022).

Zat et. al (2021) examinaram a viabilidade do LE na produção de tijolos estruturais de argila vermelha em pequena escala, concluindo que a extrusão de tijolos cerâmicos vermelhos com LE é altamente viável.

Costa (2014) investigou a utilização do LE como adição em argamassa de cimento Portland, demonstrando que a adição de 20% de LE em relação à massa de cimento apresentou o melhor desempenho.

O LE também foi estudado na produção de peças de concreto para pavimentação (RIGOLIN, 2022), onde o lodo foi incorporado à matriz cimentícia, resultando em peças com resistência média próxima à norma ABNT NBR 9781:2013. No entanto, ensaios mecânicos revelaram resultados abaixo das normas, inviabilizando a utilização das peças para pavimentação. Ensaios ambientais mostraram eficiência no encapsulamento de elementos nocivos, com exceções. O autor ainda recomenda algumas melhorias para que o LE possa ser utilizado na fabricação de concreto para pavimentação.

## CONCLUSÃO

Em conclusão, a análise sistemática da literatura sobre a utilização do LE revelou uma diversidade de aplicações promissoras nas áreas agrícolas e da construção civil. A revisão abrangeu estudos que enfatizam a contribuição do LE para melhorar a estrutura do solo na agricultura, ressaltando seu alto teor de matéria orgânica como fator de custo-benefício superior.

Dentro do contexto agrícola, abordagens inovadoras, como a HTA e a conversão em biochar, destacaram-se como métodos eficazes para reduzir a toxicidade do LE e potencializar seu uso como promotor de crescimento vegetal. A compostagem também foi identificada como uma técnica viável para melhorar suas propriedades como substrato para mudas, superando alternativas tradicionais.

Na construção civil, o LE demonstrou aplicabilidade em diversos processos produtivos, incluindo a produção de tijolos estruturais, cimentos e argamassas. Contudo, é essencial ressaltar que a utilização do LE em peças de concreto para pavimentação apresentou desafios, especialmente em relação aos resultados insatisfatórios em ensaios mecânicos. Recomenda-se a implementação de melhorias, como ajustes na formulação, para aperfeiçoar o desempenho do material.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA Campus Apucarana e Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004 - *Resíduos Sólidos – Classificação*, Rio de Janeiro, 2004.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781 - *Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio*, Rio de Janeiro, 2013.
3. BETTOL, W; CAMARGO, O.A. *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP, 2006.
4. BATISTA, L.F. Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no distrito federal : um estudo de sua aptidão para o condicionamento , utilização e disposição final. 2015.



5. CONFORTO, E.C.; et al. *Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos*. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Porto Alegre, 2011.
6. COSTA, F.M.S. *Estudo da utilização de cinza de lodo de esgoto como adição em argamassa de cimento portland*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 122, 2014.
7. DÍAZ, C.C.H. *Estudo da possibilidade de uso de lodo de esgoto e lama vermelha como matérias-primas cerâmicas*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 197, 2013.
8. GABIRA, M.M.; et al. *Composted sewage sludge as an alternative substrate for forest seedlings production*. *IForest: biogeosciences and Forestry*. 2021.
9. LAMASTRA, L.; et al. *Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 5, 2018.
10. LIU, H.; et al. *Improvement of salinity in sewage sludge compost prior to its utilization as nursery substrate*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 64, 2014.
11. LOPES, M. C. S.; PRATES, K. V. M. C. *Resíduos de serviço de saúde: Desafios e perspectivas para sua valorização*. *Energias renováveis e valorização de resíduos: o caminho para a sustentabilidade*, v. 2, p. 170-182, 2022.
12. NUVOLARI, A.; et al. *Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. Brasil: Editora Blucher, ed. 2, 2021.
13. RIGOLIN, F. R. *Estudo de viabilidade técnica para incorporação de resíduos de lodo de estação de tratamento de esgoto em peças de concreto para pavimentação*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 100, 2022.
14. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico Temático: Serviços de água e esgoto, ano de referência. 2022, 2023*.
15. TANG, Y.; et al. *Alkaline thermal hydrolysis of sewage sludge to produce high-quality liquid fertilizer rich in nitrogen-containing plant-growth-promoting nutrients and biostimulants*. *Water Research*, v. 211, 2022.
16. TOMCZYK, B.; et al. *The conversion of sewage sludge to biochar as a sustainable tool of PAHs exposure reduction during agricultural utilization of sewage sludges*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 392, 2020.
17. ZAT, T.; et al. *Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of eco-friendly bricks*. *Journal of Environmental Management*, v. 297, 2021.