

ECONOMIA CIRCULAR NO TRATAMENTO DE LODO DE ESGOTO: APLICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO QUÍMICA DE ESTRUVITA

Santuza Silvério Hermes Dias – Universidade do Sul de Santa Catarina-
santuzah@gmail.com; Jéssica de Oliveira Mota – Universidade São Judas; Anelise
Leal Vieira Cubas (Dra.) – Universidade do Sul de Santa Catarina

RESUMO

O trabalho apresenta uma revisão da literatura referente a aplicação da precipitação química da estruvita extraída do lodo de esgoto. Essa metodologia pode ser aplicada na extração de fósforo, elemento altamente utilizado na agricultura e presente nesse resíduo. Realizou-se uma busca em uma base de dados e os resultados mostraram-se promissores, além dessa prática estar alinhada aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: lodo de esgoto; economia circular; estruvita

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto, resíduo das estações de tratamento de esgoto é um material cujo seu destino são os aterros sanitários. Uma gestão sustentável desse material é um grande desafio na atualidade, pois a produção mundial estimada está em 300 milhões de toneladas/ano (Szul et al., 2024). A mudança de paradigma, do lodo resíduo para lodo como recurso, é o primeiro passo para uma aplicação prática da economia circular uma vez que diferentes usos podem ser realizados com esse material. Um desses usos é a utilização do lodo de esgoto na precipitação por estruvita. A estruvita é um mineral estável a pH alcalino e promissor como fertilizante de liberação lenta em solos de pH ácido. Ela solubiliza lentamente e pode ser aplicada com menos periodicidade nas plantas, ou seja, há um melhor aproveitamento na absorção dos nutrientes antes que sejam perdidos no solo (Silva et al., 2025). O processo de precipitação de estruvita aplicado ao lodo de esgoto possibilita a recuperação eficiente de fósforo, um nutriente essencial e limitado, transformando resíduos em fertilizantes reutilizáveis e promovendo a sustentabilidade ao reduzir a dependência de fertilizantes químicos e minimizando os impactos ambientais da disposição inadequada de resíduos (Santos et al., 2020).

MÉTODOS

Com a finalidade de verificar o que a literatura apresenta em relação ao uso do lodo de esgoto na precipitação de estruvita e sua relação com a economia circular, na base

de dados Science Direct buscou-se os termos “sludge” and “destination” and “circular economy” and “struvite” entre os anos de 2024 e 2025. Foram encontrados 52 artigos. Os artigos selecionados foram avaliados por meio dos seus resumos, reduzindo os resultados para 22 trabalhos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A importância da economia circular é ressaltada desde o Acordo de Paris de 2015, com metas em que as promessas atuais ainda estão longe de serem atingidas (Wang et al., 2023). Métodos que contribuem para essa mudança são cada vez mais necessários, e o trabalho com estruvita corrobora para isso, pois nitrogênio e fósforo são nutrientes muito utilizados na agricultura.

Globalmente, 109 milhões de toneladas de nitrogênio e 21 milhões de fósforo são consumidos na agricultura anualmente (Fao, 2019). Alewell et al. (2020) destacam que com a crescente escassez de recursos globais de fósforo e a geração massiva de resíduos sólidos orgânicos, a recuperação eficiente e utilização de recursos de fósforo (P) tornaram-se questões críticas para o desenvolvimento sustentável. A técnica de precipitação de estruvita agrega valor econômico e ambiental ao transformar o lodo de esgoto em insumos para a agricultura, abrangendo os princípios da economia circular.

A estruvita é um mineral cristalino formado pela precipitação equimolar de magnésio (Mg^{2+}), amônio (NH_4^+) e fosfato (PO_4^{3-}) em condições alcalinas (pH 8-10). Sua fórmula química é $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, e representa uma das formas mais eficientes de recuperação simultânea de nitrogênio e fósforo de águas residuais (Castro, 2015).

A recuperação de estruvita a partir do lodo reduz a carga de nutrientes nos efluentes, ajudando a prevenir a eutrofização dos corpos hídrico e promovendo um ciclo mais sustentável de nutrientes.

Silveira et al. (2024) analisaram o lixiviado de aterro sanitário e a precipitação de estruvita com o objetivo de remover da poluição por matéria orgânica e/ou metais pesados e a recuperação dos nutrientes contidos no efluente. Os autores obtiveram uma remoção de 90% da DQO, juntamente com uma recuperação de 99% do teor de nitrogênio no efluente, confirmando a viabilidade desta solução como uma abordagem para uma gestão de resíduos mais sustentável.

Em um outro trabalho, Blumenthal et al., (2025) numa região da Itália, formaram um hub logístico em que os resíduos da cidade eram direcionados para ele e compararam com o sistema descentralizado de destino dos resíduos. Os autores avaliaram a recuperação combinada de estruvita e biopolímeros e os resultados indicaram que a redução das emissões foi o equivalente a 176 indivíduos por dia no hub em relação ao sistema tradicional de destino. Também concluíram que o hub para gestão dos resíduos centraliza a expertise técnica, otimiza a logística para coleta de lodo de múltiplas estações de tratamento menores, reduzindo o custo para os gestores. Nesse mesmo trabalho verificou-se que a integração da estruvita promove o fechamento de ciclos, caracterizando a economia circular, como a recuperação de nutrientes e produção de energia através da estruvita e biogás.

Foram encontrados artigos que avaliam a viabilidade econômica e utilização da estruvita. Bagheri et al., (2024) avaliaram a viabilidade econômica e emissões diretas de gases de efeito estufa de diferentes métodos de recuperação de fósforo em plantas de tratamento de águas residuais suecas e verificaram uma redução de 30-50% nas emissões comparado a tratamento convencional com descarte e o *pay back* é entre 8-15 anos sem subsídios e entre 4 e 8 anos com incentivos governamentais. Esses estudos mostram que uma solução de baixo custo ambiental também pode ter baixo custo financeiro, contribuindo para uma maior aceitabilidade dos gestores das empresas.

Os artigos observaram que há um desconhecimento dos produtores sobre os benefícios da estruvita, mostrando que há um potencial para uso que ainda pode ser explorado. Esses mesmos produtores relatam uma “preferência para produtos conhecidos” e essa inércia favorece a utilização dos fertilizantes tradicionais. Uma parceria entre academia, órgãos envolvidos com a extensão agrícola e governo são de fundamental importância para o acesso a esse produtor e a construção de sistemas de saneamento mais sustentáveis.

A estruvita representa convergência entre tratamento de águas residuais e agricultura sustentável, fechando ciclos de nutrientes e contribuindo para múltiplos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6). Isso favorece a reutilização dos recursos presentes no sistema de saneamento, alinhando-se aos princípios da economia circular, que buscam minimizar resíduos e maximizar a reutilização de materiais.

CONCLUSÕES

O sucesso da implementação em larga escala dessa técnica de aplicação da precipitação química da estruvita requer abordagem que integre: tecnologia para otimizar os processos, modelos de negócios viáveis, regulamentações e um trabalho na sociedade para conhecimento e aceitação de técnicas novas e ambientalmente sustentáveis de produção. Para que isso ocorra, são necessárias ações coordenadas entre pesquisa, indústria, política e sociedade para aproveitar plenamente o potencial da estruvita e de outras técnicas que vão ao encontro aos princípios da economia circular.

REFERÊNCIAS

- Alewell, C., et al. (2020). Global phosphorus scarcity threatens food security and environmental sustainability. *Nature Communications*, 11, 4544.
- Bagheri, M., Gómez-Sanabria, A. Höglund-Isaksson, L. (2024). Economic feasibility and direct greenhouse gas emissions from different phosphorus recovery methods in Swedish wastewater treatment plants. *Sustainable Production and Consumption*, 40, 229-244. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.07.007>
- Blumenthal, E., Foglia, A., Piasentin, A., Andreola, C., Eusebi, A. L., Frison, N., & Fatone, F. (2025). Resource recovery strategies and schemes: A regional case study on sewage sludge hub centres in Italy. *Journal of Water Process Engineering*, 73, 107696–107696. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107696>
- Castro, S. R. (2015). *Precipitação química de estruvita: recuperação de nutrientes em águas residuais*. Revista Virtual de Química.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. *FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments*. Rome.
- Silva, R. L., Campos, D. V. B., Lima, F. L. O., Freire, P. M. L. A., & Inácio, C. T. (2025). Precipitação de estruvita em laboratório (Relatório Técnico, Embrapa Solos). Embrapa Solos.
- Silveira, J. E. et al. An approach to highly polluted wastewater management for zero liquid discharge: The case of landfill leachate. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 184, p. 672–679, 16 fev. 2024.
- Szul, M., Iluk, T., Sobolewski, A., Radko, T., Bocian, P., Ciula, J., & Gronba-Chyla, A. (2024). Conversion of Sewage Sludge into Biofuels via Different Pathways and Their Use in Agriculture: A Comprehensive Review. *Energies*, 17(6), 1383.

Wang, L., Liu, J., & Li, H. (2023). Simultaneous degradation of microplastics and sludge during wet air oxidation. *Environmental Pollution*, 335, 122348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122348>

FOMENTO

Projeto seja vinculado ao Programa Pró-Ciência do Ecossistema Ânima