

Tratamento de alta temperatura em lodo de tratamento de água (ETA) e suas aplicações: uma revisão

Autor:

Rennêr Ribeiro Pinto

Universidade Federal da Paraíba

Como citar este capítulo:

PINTO, Rennêr Ribeiro. Tratamento de alta temperatura em lodo de tratamento de água (ETA) e suas aplicações: uma revisão. In: NUNES, Matheus Simões (Org.). **Estudos em Direito Ambiental: Desenvolvimento, desastres e regulação**. Campina Grande: Editora Licuri, 2022, p. 174-184.

Resumo

No presente trabalho planejou-se revisar o tratamento de alta temperatura do lodo volumoso produzido a partir de estação de tratamento de água e suas diferentes aplicações podendo reformar o manejo desse resíduo de forma sustentável. Vários caminhos de reutilização foram identificados e investigados globalmente, como; adsorvente para contaminantes e metais pesados, como substrato em fabricação de membrana cerâmica, como material cimentício e substituto da areia na preparação de concreto e argamassa. Deveras, sua gestão e descarte ambientalmente corretos é uma tarefa desafiadora para cientistas e requer prudência. Este trabalho pode ajudar aos pesquisadores no aprimoramento dos estudos já existentes, a fim de ampliar os possíveis usos desse resíduo para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Lodo ETA; pirólise; calcinação.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, nos encontramos encobertos por uma crise planetária representada por uma violenta combinação de mudanças climáticas decorrentes da aceleração da urbanização global causada pelo aumento da população global e a expansão da indústria. A pandemia de COVID-19 em curso serviu para reforçar essa percepção de uma crise planetária e a necessidade de transformação (Marin, 2021; Allen et al., 2020; Banai, 2020; Lai et al., 2020, Moraci et al., 2020).

A urbanização desenfreada trouxe a perda de biodiversidade em grande escala, poluição do solo, do ar e a perturbação de múltiplos ciclos geológicos pela atividade humana. Além disso, a urbanização de alta intensidade também causou problemas prejudiciais, como a deterioração hidrológica, a degradação dos ecossistemas hídricos e até a saúde humana (Xia et al., 2017). A água é fundamental para a sustentação do ciclo de vida e precisa ser preservada e excluída de todo tipo de poluição (Dharwal et al., 2020).

A produção de água potável destinada ao consumo humano é cada vez mais crescente devido ao rápido crescimento demográfico da população. Consequentemente, atender às necessidades de aumento de água potável requer a implantação de mais estações de tratamento de água potável (Mouratib et al., 2020). Como resultado, são necessários mais coagulantes nas estações de tratamento de água para remover os poluentes (Lee et al., 2018), o que gera uma enorme quantidade de resíduos de suspensão concentrados chamados de lamas (lodo) de tratamento de água potável (Mouratib et al., 2020).

O lodo de processamento de água é um subproduto indispensável do tratamento de água e é gerado principalmente durante a coagulação de contaminantes com sais de alumínio ou ferro (Kamizela et al. 2020), que desestabilizam as partículas coloidais em solução e em suspensão na água bruta (Ramirez et al., 2018). O lodo da ETA (Estação de Tratamento de Água) contém muitos contaminantes, como metais pesados e agentes patogênicos que podem representar risco à saúde humana, além disso é composto principalmente por aluminossilicatos (Junior et al., 2020).

Portanto, a destinação ou reutilização adequada desse resíduo é de grande importância na abordagem benéfica para o desenvolvimento sustentável e deve ser realizada de acordo com os órgãos reguladores e as legislações vigentes, em consonância com os preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O lodo da ETA é classificado

pela NBR - 10.004/87 como resíduo sólido e semi-sólido da classe II-B, não perigosos e inertes, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

O lodo da ETA pode ser destinado para inúmeras e importantes aplicações, como estratégias cruciais para os aspectos de sustentabilidade do seu gerenciamento. Na Figura 1 é ilustrado uma visão geral das diferentes aplicações do lodo ETA, as quais foram encontradas no conjunto de trabalhos explanados nesta presente revisão da literatura.

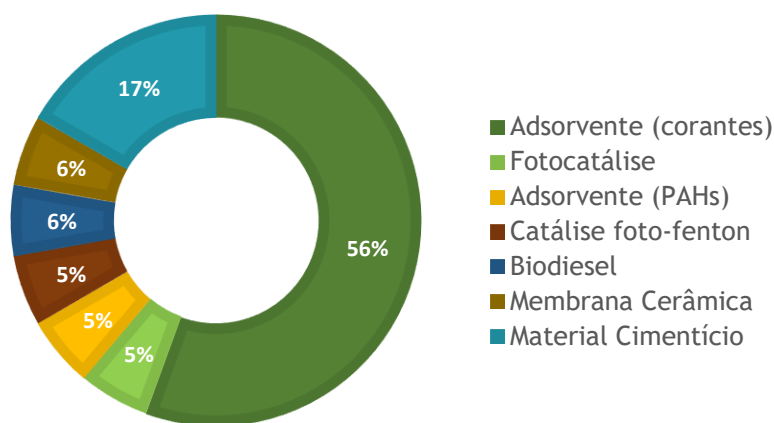


Figura 1 - Visão geral das aplicações do lodo ETA no presente trabalho. Fonte: Autor, 2022.

No Brasil, o lodo tem sido geralmente descartado em cursos d'água sem nenhum tratamento prévio ou encaminhado para aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (ETEs) (Roque et al., 2019). Entretanto, o despejo em corpos d'água leva ao aumento gradativo da turbidez da água e, possivelmente, contaminação devido à presença de metais, produtos químicos e patógenos, sendo, portanto, uma prática indesejável (Roque et al., 2021) e contrapor o artigo 54 da Lei 9.605/98 que estabelece que o lançamento de resíduos gerados em ETAs em corpos d'água sem aprovação de órgãos ambientais, é considerado crime ambiental. Devido a isso, a gestão do lodo, que inclui sua reutilização, deve ser regulamentada de forma a evitar qualquer efeito prejudicial ao meio ambiente e aos seres vivos.

Isto posto, a presente revisão compila alguns dos estudos recentemente desenvolvidos do reaproveitamento e reciclagem do lodo de tratamento de água, que evidenciam que é possível obter soluções alternativas, economicamente viáveis e ecologicamente corretas para a destinação do resíduo produzido no processo de tratamento de água.

TRATAMENTO DE ALTA TEMPERATURA

O método mais comum para lidar com o lodo de tratamento de água é o descarte em aterros (Liu et al., 2020). No entanto, a solução de aterro tornou-se mais difícil, tendo como um dos principais problemas à alta concentração de elementos metálicos potencialmente tóxicos (Kleemann et al., 2020) de efeitos adversos à natureza. Portanto, o tratamento de alta temperatura/incineração pode efetivamente reduzir o volume de lodo, oxidar matéria orgânica, imobilizar metais pesados e destruir patógenos, mas produzir uma grande quantidade de resíduos sólidos (cinzas) (He et al., 2021).

Assim, desenvolver novas alternativas de gestão do lodo, explorando a possibilidade de utilizá-lo como um potencial material, em vez de descarte em aterro, torna-se uma necessidade. A pirólise é um processo de decomposição térmica capaz de transformar resíduos como biomassa lignocelulósica, lodo de esgoto, resíduos plásticos. Tendo a capacidade de reduzir a massa e o volume de resíduos, eliminar patógenos e microorganismos nocivos, imobilizar metais pesados e uma alta flexibilidade de matéria-prima. Além disso, tendo como produtos finais a fração gasosa, fração sólida e a fração líquida que possuem várias aplicações potenciais.

Em trabalho recente, Wang et al. (2022) pirolisaram o lodo da ETA em um forno tubular por 120 minutos após atingir 400°C para obtenção de adsorvente multifuncional reforçado em CO₂ e N₂. Sendo alcançado uma capacidade de absorção para Pb (II) de 5,05±0,04 (mg. g⁻¹), 4,92±0,07 (mg. g⁻¹), 4.16±0,08 (mg. g⁻¹) para o lodo bruto, lodo pirolisado em CO₂ e lodo pirolisado em N₂, respectivamente. Para PO₄-P de 5,05±0,07 (mg. g⁻¹), 5h30±0,09 (mg. g⁻¹), 5,91±0,18 (mg. g⁻¹), para o lodo bruto, lodo pirolisado em CO₂ e lodo pirolisado em N₂, respectivamente. Não sendo possível obter absorção para corantes catiônicos (MB).

Zhang et al. (2021) abordaram a produção de biochar derivados da pirólise do lodo de água doce. Sendo preparado à 300, 500 e 700°C por 1 hora sob ambiente de nitrogênio em reator rotativo horizontal. O estudo relatou valores de fitotoxicidade superiores a 200%, podem ser usados como adsorventes e meios de cultivo do solo devido à sua alta área superficial, baixos níveis de metal e estimulação na germinação e crescimento de sementes de trigo.

Lee et al. (2020) investigaram valorização pirolítica do lodo ETA contendo carvão ativado em pó como adsorvente multifuncional. Nesse estudo, os experimentos mostraram

uma capacidade de branqueamento do azul de metileno do pirolisado à 600 e 700°C em cerca de 20,83 ml/g. Até 96% de fósforo em uma solução de 50 ppm pôde ser removido usando os pirolisados à 500 e 600°C.

Choi et al. (2019) examinaram a valorização do lodo via pirólise usando CO₂ como meio gasoso reativo. A pirólise ocorreu em um reator tubular de leito fixo do tipo batelada, com tubulação de quartzo de 30 à 720°C. O biocarvão apresentaram resultados adequados para um material adsorvente para As (V). O uso do CO₂ como meio de reação fornece um meio estratégico para estabelecer a plataforma termolítica mais sustentável.

Lee et al. (2018) estudaram a estabilização do lodo de tratamento de água de alto conteúdo orgânico por pirólise. As amostras foram pirolisadas à 300,500,700 e 900°C em forno por 1 horas, com introdução de gás nitrogênio. Neste estudo, a temperatura acima de 700°C resultou em um aumento gradual da lixiviação de metais pesado e à 500°C reduz a quantidade de liberação de metais pesador e aumenta a estabilidade do conteúdo orgânico e inorgânico.

Zhang et al. (2021) investigaram a pirólise na construção de catalisador composto empregando lodo ETA e casca de noz consistido de Fe₀/Fe₃O₄/biochar. O compósito obtido apresentou estrutura porosa, grande área superficial específica e sítios ativos abundantes. Atingindo o valor de 99,9% de eficiência na degradação do MB. Nuanhchamnong et al. (2022) estudaram o lodo ETA como compósito adsorvente na remoção de corante. A amostra de lodo foi pirolisada à 550 °C por 2 h. Foi possível alcançar remoção de pelo menos 90% de MB, utilizando 1,5 g de lodo.

No mesmo ano, Quang et al. (2022) abordaram o lodo ETA revestido com ZrO₂ como adsorvente de baixo custo e aplicado para remoção de nitrato (NO₃⁻). O adsorvente pirolisado à 500 °C foi mais eficaz na remoção de nitrato de águas residuais, com capacidade máxima de 30,99 mg.g⁻¹.

Rashed et al. (2020) estudaram a síntese e aplicação fotocatalítica do lodo ETA de composto de TiO₂ para degradação de corante azul de metileno. A amostra de lodo foi pirolisada à 700°C por 1h. A eficiência na remoção de MB foi de 86,58% com concentração de corante 50 ppm.

Truong et al. (2021) examinaram a remoção de fosfato usando adsorvente de Al (Lodo ETA. O lodo seco em estufa foi pirolisado em um forno mufla à 500 e 700 °C por 1 h com a taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹, sendo fornecido ao forno para evitar a

oxidação 200 mL/min de gás N₂. O estudo apontou que o pirolisado à 700 °C foi mais eficaz na remoção de fosfato das águas residuais.

Hung et al (2020) estudaram a ativação de percarbonato por biocarvão derivado de lodo ETA para a remediação de sedimentos contaminados por PAH. A etapa de pirólise ocorreu em um forno em escala de laboratório à 300, 500, 700 ou 900°C, em um aquecimento taxa de 10°C/min em fluxo de N₂ purificado. O biocarvão produzido a uma temperatura de pirólise de 700°C foi o mais eficaz na ativação do percarbonato, exibindo remoção oxidativa significativa de PAHs por meio de uma oxidação do tipo Fenton, contribuiu com os pares redox Fe³⁺/Fe²⁺ e Mn³⁺/Mn²⁺, alcançando a maior eficiência de degradação de 87% em pH 6,0.

Filho et al. (2020) investigaram a preparação de carvão ativado obtido de Lodo ETA para remoção de corante catiônico de águas residuais. Pirolisaram o lodo usando um reator de aço inoxidável a 550°C por 30 min (taxa de aquecimento de 3°C min⁻¹) sob atmosfera de N₂. O estudo relatou uma capacidade máxima de adsorção de 1,74 mg. g⁻¹, que corresponde a 99% de eficiência de remoção.

Outros autores empregam a calcinação como tratamento de alta temperatura para descarte do lodo ETA. Grassi et al. (2020) investigaram o lodo ETA como fonte de ferro para catalise de reação foto-fenton heterogênea. A calcinação ocorreu em forno mufla sob atmosfera oxidante à 600°C por 2 horas. Os autores obtiveram uma excelente atividade catalítica na degradação de contaminantes orgânicos em águas residuais.

Junior et al. (2020) avaliaram o desempenho do lodo ETA como catalisador de baixo custo e ecologicamente correto na produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos. Uma fração do lodo foi calcinado em forno mufla à 750°C por 4 horas e logo após em tratamento ácido com ácido sulfúrico (em diferentes condições) calcinado à 400°C por 2h. A outra fração passou pelo processo de calcinação, uma única vez, apenas durante o tratamento ácido. A reação forneceu um rendimento máximo de 96,56±0,21 para o lodo calcinado apenas no tratamento ácido à 3M.

Sahin et al. (2019) avaliaram a eficiência do lodo ETA na remoção de íons de cobre. O processo de calcinação ocorreu aerobicamente à 500°C por 4 horas. O estudo, obteve 100% na capacidade de adsorção alcançada em menos de 80 min a 25°C. Mouratib et al. (2020) obtiveram uma membrana cerâmica capaz de remover completamente a turbidez das alimentações, reduzir significativamente a demanda química de oxigênio (DQO) e

descolorir completamente as águas residuais têxteis após calcinação à 1050°C da argamassa constituída de lodo ETA, argila e amido de milho.

No mesmo ano, González et al (2020) estudaram a utilização de cinzas de lodo ETA como material cimentício complementar, elaborando argamassas hidráulicas com diferentes níveis de substituição. Nesse estudo, o lodo foi calcinado em forno de cinzas Carbolite nas temperaturas de 600°C e 800°C com tempo de residência no forno de 3 horas. Apresentando potencial atividade pozolânica e pode ser considerada como uma alternativa viável e sustentável para o setor da construção.

Pham et al. (2021) investigaram as propriedades de argamassa incorporando lodo ETA não tratado e tratado em diferentes níveis de substituição a areia. Neste estudo foram fabricadas argamassas após calcinação à 600°C por 1 hora. As argamassas exibiram uma resistência à compressão melhorada, um aumento significativo na força de união entre argamassa e tijolos e menor absorção de água.

Duan et al. (2020) avaliaram a utilização de Lodo ETA em substituição de cimento para mitigar a reação alcali-sílica (ASR) em compósitos de cimento. O lodo foi calcinado à 800°C por 2 horas antes de ser usado como substituto do cimento em diferentes níveis de substituição. O estudo relatou que a substituição melhorou as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, incluindo a resistência ao ataque ASR. Contribui também para o desenvolvimento sustentável de uma economia circular e para um ambiente limpo.

Com o propósito de aperfeiçoar e demonstrar a multifuncionalidade do lodo ETA, que por sua vez pode ser destinado para inúmeras e importantes aplicações, como estratégias cruciais para os aspectos de sustentabilidade do seu gerenciamento, foi ilustrado graficamente por meio da Figura 1, uma visão geral das diferentes aplicações do lodo ETA, as quais foram encontradas no conjunto de trabalhos explanados nesta presente revisão da literatura.

CONCLUSÕES

A revisão apresentada mostra que o Lodo ETA tem a particularidade de ser um subproduto inevitável do serviço de abastecimento de água e que precisa ser descartado, o que está associado ao aumento de custos e impactos ambientais. A aplicação de reutilizações bem sucedidas, demonstraram que o lodo é de grande polivalência, sendo testado em propósitos distintos. Portanto, converter o lodo de um material subestimado

em produto útil de valor agregado é de grande interesse em todo o mundo e necessita ser mais estudado, oferecendo rotas de reutilização de ETA mais amplas. Entretanto é preciso que o estabelecimento de qualquer política de gerenciamento sustentável de lodo seja desenvolvida de tal forma que possa atingir padrões acessíveis sem subestimar a sustentabilidade da política tendo como pré-requisitos a consistência e a sinergia. Assim, com este trabalho espera-se contribuir nas pesquisas na área com foco no desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- Bochi, V. C.; Barcia, M. T., **Polyphenol extraction optimisation from Ceylon gooseberry**. São Paulo: Editora Licuri. 64p.
- Allen, A.; Sarmiento, J. P.; Sandoval, V. (2020). Los Estudios Latinoamericanos de Reducción del Riesgo de Desastres en el Contexto de la Pandemia del COVID-19. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres-REDER*, v. 4, n. 2, p. 1-6. 2020.
- Banai, R. Pandemic and the planning of resilient cities and regions. *Cities*, v. 106, p. 102929. 2020.
- Choi, D., Oh, J. I., Lee, J., Park, Y. K., Lam, S. S., Kwon, E. E. Valorization of alum sludge via a pyrolysis platform using CO₂ as reactive gas medium. *Environment International*, v. 132, 105037. 2019.
- Dharwal, M.; Parashar, D.; Shuaibu, M. S.; Abdullahi, S. G.; Abubakar, S.; Bala, B. B. Water pollution: Effects on health and environment of Dala LGA, Nigeria. *Materials Today: Proceedings*, v. 49, p. 3036-3039. 2020.
- Duan, W., Zhuge, Y., Pham, P. N., WK Chow, C., Keegan, A., Liu, Y. Utilization of drinking water treatment sludge as cement replacement to mitigate alkali-silica reaction in cement composites. *Journal of Composites Science*, v. 4, n. 4, p. 171. 2020.
- Filho, V. A., Kulman, X. R., Tholozan, V. L., Felkl de Almeida, A. R., Silveira da Rosa, G. Preparation and characterization of activated carbon obtained from water treatment plant sludge for removal of cationic dye from wastewater. *Processes*, v. 8, n. 12, p. 1549. 2020.
- González, K. B., Pacheco, E., Guzmán, A., Pereira, Y. A., Cuadro, H. C., Valencia, J. A. Use of sludge ash from drinking water treatment plant in hydraulic mortars. *Materials Today Communications*, v. 23, 100930. 2020.

Grassi, P., Drumm, F. C., Geogin, J., Franco, D. S. P., Foletto, E. L., Dotto, G. L., Jahn, S. L. Water treatment plant sludge as iron source to catalyze a heterogeneous photo-Fenton reaction. *Environmental Technology & Innovation*, v. 17, 100544. 2020.

He, Z. H., Yang, Y., Yuan, Q., Shi, J. Y., Liu, B. J., Liang, C. F., Du, S. G. Recycling hazardous water treatment sludge in cement-based construction materials: Mechanical properties, drying shrinkage, and nano-scale characteristics. *Journal of Cleaner Production*, v. 290, 125832. 2021.

Hung, C. M., Huang, C. P., Chen, C. W., Wu, C. H., Lin, Y. L., Dong, C. D. Activation of percarbonate by water treatment sludge-derived biochar for the remediation of PAH-contaminated sediments. *Environmental Pollution*, v. 265, 114914. 2020.

Junior, W. A. P.; Takeno, M. L.; Nobre, F. X.; Barros, S. D. S.; Sá, I. S.; Silva, E. P.; de Freitas, F. A. Application of water treatment sludge as a low-cost and eco-friendly catalyst in the biodiesel production via fatty acids esterification: Process optimization. *Energy*, v. 213, p. 118824. 2020.

Kleemann, N., Torres, D. P., Ribeiro, A. S., Bamberg, A. L. Cold finger with semi closed reflux system for sample preparation aiming at Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, V and Zn determination in Drinking Water Treatment Sludge by MIP OES. *Analytica Chimica Acta*, v. 1096, p. 9-17. 2020.

Lai, K. Y.; Webster, C.; Kumari, S.; Sarkar, C. The nature of cities and the Covid-19 pandemic. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 46, p. 27-31. 2020.

Lee, Y. E., Shin, D. C., Jeong, Y., Kim, I. T., Yoo, Y. S. Pyrolytic valorization of water treatment residuals containing powdered activated carbon as multifunctional adsorbents. *Chemosphere*, v. 252, 126641. 2020.

Lee, Y. E.; Kim, I. T.; Yoo, Y. S. Stabilization of high-organic-content water treatment sludge by pyrolysis. *Energies*, v. 11, p.12, 3292. 2018.

Liu, Y., Zhuge, Y., Chow, C. W., Keegan, A., Li, D., Pham, P. N., Huang, J., Siddique, R. Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties. *Journal of environmental management*, v. 262, 110352. 2020.

Marin, J. Global resilience models and territories of the South. A critical review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 66, p. 102541. 2021.

Moraci, F.; Errigo, M. F.; Fazia, C.; Campisi, T.; Castelli, F. Cities under pressure: Strategies and tools to face climate change and pandemic. *Sustainability*, v. 12, n.18, p. 7743. 2020.

Mouratib, R.; Achiou, B.; El Krati, M.; Younssi, S. A.; Tahiri, S. Low-cost ceramic membrane made from alumina-and silica-rich water treatment sludge and its application to wastewater filtration. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 40, p. 15, 5942-5950. 2020.

Nuanhchamnon, C., Kositkanawuth, K., Wantaneeyakul, N. Granular waterworks sludge-biochar composites: Characterization and dye removal application. *Results in Engineering*, 100451. 2022.

Pham, P. N., Duan, W., Zhuge, Y., Liu, Y., Tormo, I. E. S. Properties of mortar incorporating untreated and treated drinking water treatment sludge. *Construction and Building Materials*, v. 280, 122558. 2021.

Quang, H. H. P., Phan, K. T., Dinh, N. T., Thi, T. N. T., Kajitvichyanukul, P., Raizada, P., Nguyen, V. H. Using ZrO₂ coated sludge from drinking water treatment plant as a novel adsorbent for nitrate removal from contaminated water. *Environmental Research*, 113410. 2022.

Ramirez, K. G., Possan, E., Bittencourt, P. R. S., Carneiro, C., Colombo, M. Physico-chemical characterization of centrifuged sludge from the Tamanduá water treatment plant (Foz do Iguacu, PR). *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23. 2018.

Rashed, M. N., El Taher, M. A., Fadlalla, S. M. M. Synthesis and Photocatalytic Application of Drinking Water Treatment Sludge@ TiO₂ Composite for Degradation of Methylene Blue Dye. *Pollution*, v. 6, n. 4, p. 785-799. 2020.

Roque, A.; Montalvan, E. L. T.; Boscov, M. E. G. Caracterização mineralógica, química e geotécnica do lodo da Estação de Tratamento de Água Taiaçupeba. *Geotecnia*, v. 151, p. 33-52. 2021.

Roque, A.; Montalvan, E.L.T.; Boscov, M.E.G. Caracterização mineralógica, química e geotécnica do lodo da Estação de Tratamento de Água Taiaçupeba. *Anais do 6º Simpósio sobre Resíduos Sólidos*, São Carlos, N.P. 2019.

Shahin, S. A., Mossad, M., Fouad, M. Evaluation of copper removal efficiency using water treatment sludge. *Water science and engineering*, v. 12, n. 1, p. 37-44. 2019.

Van Truong, T., Kim, D. J. Phosphate removal using thermally regenerated Al adsorbent from drinking water treatment sludge. *Environmental Research*, v. 196, 110877. 2021.

Wang, M., Liu, G., Wang, X. Wastewater post-coagulation sludge recycled as a multifunctional adsorbent via pyrolysis enhanced in carbon dioxide (CO₂). *Chemosphere*, v. 291, 132964. 2022.

Xia, J.; Zhang, Y.; Xiong, L.; He, S.; Wang, L.; Yu, Z. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Science China Earth Sciences*, v. 60, n. 4, p. 652-658. 2017.

Zhang, Y., Qin, J., Yi, Y. Biochar and hydrochar derived from freshwater sludge: characterization and possible applications. *Science of The Total Environment*, v. 763, 144550. 2021.

Zhang, Y., Xiangshi, P., Tian, J., Li, F., Fan, X., Ma, L., Zhang, R. Synthesis of peroxymonosulfate composite catalyst (Fe⁰/Fe₃O₄/biochar) using waterworks sludge and walnut shell for degrading methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9 n. 6, 106856. 2021.