

1608 - CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO LODO DE ETAS EM DOIS ESTADOS BRASILEIROS

Marcela Felix de Paula⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal de Goiás. MBA Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo (USP/Esalq). Mestre Recursos Naturais pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de São Paulo (Unesp). Assessora na Saneago-GO

Suzelei Rodgher⁽³⁾

Bióloga, Bacharelado e Licenciatura, pela Universidade Federal de São Carlos, Campus São Carlos. Mestre e Doutora em Ciências da Engenharia de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Professora do Departamento de Engenharia Ambiental, do Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Fabiana Alves Fiore⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade de Campinas (FEC/UNICAMP). Professora do Departamento de Engenharia Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Fued José Sebba, 1245. Jardim Goiás - Goiânia-GO. Cep 74805-100 - Brasil - Tel: (62) 984048704 - e-mail: marcela@saneago.com.br

RESUMO

O crescimento populacional tem levado a um aumento do consumo de água e para suprir essa necessidade a água precisa ser tratada nas Estações de Tratamento de Água (ETA). O método mais utilizado para tratar a água são as Estações de Ciclo Completo, que geram como subproduto do tratamento uma grande quantidade de resíduos. Os resíduos das ETAs são compostos pelos elementos retirados da água bruta mais os produtos adicionados durante o processo de potabilização da água, principalmente os coagulantes a base de alumínio e ferro. No Brasil a legislação determina que os lodos de ETA (LETA) devem ser classificados e tratados antes de serem descartados, e seguindo o “princípio dos 3R” (reduzir, reutilizar e reciclar) deve-se procurar alternativas para utilização do LETA. Em função da diversidade de composição dos LETAs, da disposição inadequada que ainda vigoram no Brasil, e do desconhecimento dos impactos ambientais decorrentes do seu lançamento de forma inadequada, esse trabalho teve como objetivo analisar a composição de lodos gerados em ETAs de ciclo completo de dois estados brasileiros, que utilizam coagulantes químicos a base de ferro e alumínio, de modo a identificar os potenciais impactos ambientais decorrentes de seus lançamentos em águas superficiais. Para isso foram analisadas a presença dos metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, selênio e zinco de amostras solubilizadas,, seguindo os preceitos da norma NBR 10.006 (Brasil, 2004) e os resultados gerados foram avaliados a partir dos referenciais das classes de riscos estabelecida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). Os valores de Al, Cd, Pb, Cu, Cr, Se e Zn das três ETAs analisadas estavam dentro dos valores de referências. O manganês na ETA 3 foi o único que estava acima do limite preconizado na NBR 10.004/2004.

PALAVRAS-CHAVE: Estação de Tratamento de Água, Coagulante, Lodo, Ecotoxicidade.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e do consumo geram constantes aumentos na demanda de água tratada e, para suprir essa demanda é necessário adequado tratamento. A água considerada adequada para o consumo público precisa ser potável, ou seja, livre de contaminantes orgânicos e inorgânicos e de bactérias patogênicas. Deve, também,

possuir sabor agradável, ausência de odor e ser adequada para as finalidades domésticas e industriais (Richter, 2017).

As estações de tratamento de água (ETA) são as mais comuns unidades responsáveis pela potabilização de águas captadas da natureza e, em geral, removem turbidez, cor, matéria orgânica e patógenos da água antes de distribuí-las aos consumidores (Salehin *et al.*, 2020). No Brasil, a maioria dos municípios realizam captação superficial de águas brutas e as potabilizam em ETAs de ciclo completo, que possuem as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (vide Figura 1) (J. Mañosa *et al.*, 2021).

No processo de coagulação são adicionados coagulantes nas águas brutas, principalmente sais de alumínio (Al) ou ferro (Fe), para precipitação dos compostos em solução, para remoção de cor e turbidez (Kulandaivelu *et al.*, 2020 e Turner *et al.*, 2019). Na sedimentação, as partículas suspensas se depositam no fundo dos decantadores por ação da gravidade (Rozhkovskaya *et al.*, 2021) e ocorre a separação da fase líquida e sólida, propiciando a clarificação do meio líquido (Di Bernardo, *et al.*, 2010). A água clarificada escoar através dos filtros, formados por camadas de areia grossa, areia fina, cascalho, pedregulho e carvão que vão reter os flocos que não decantaram. Assim, durante o processo de tratamento da água há formação de lodo (LETA) provenientes dos decantadores e da lavagem dos filtros (vide Figura 1) (Di Bernanrdo; Sabogal-Paz, 2008).

Os LETAs são subproduto do tratamento de água constituídos por substâncias inorgânicos (lodo, areia, argila e óxidos metálicos hidratados) e orgânicos (incluindo microrganismos patogênicos) presentes na água bruta captada, nos coagulantes, na cal e outros insumos da potabilização (Ling *et al.*, 2017) e por polímeros utilizados no tratamento da água e também nas etapas de desaguamento e secagem desse material (Fiore *et al.*, 2020). Assim, a depender do tipo de coagulante utilizado haverá a formação de lodo rico em alumínio ou ferro (Salehin *et al.*, 2020).

O lodo recém produzido possui alto teor de água, aproximadamente 2 a 4% de sólidos, e transporte esse líquido é caro e difícil de manusear, portanto, processos de desidratação ou espessamento são comumente empregados (Turner *et al.*, 2019). Ainda segundo esses autores, em locais com pouca área o desaguamento via centrifugação e/ou prensas de banda é frequentemente empregado, sendo que para esse tipo de desaguamento é necessário acrescentar polímeros ao lodo. Em locais com grande disponibilidade de espaço, é comum a utilização da desidratação do lodo com uso de lagoas ou leitos de secagem (Richter, 2020).

No Brasil, com base nos referenciais estabelecidos pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), a massa bruta e os extratos lixiviados e solubilizados dos LETAs devem ser classificados. A prévia classificação desses resíduos como não perigosos é constituinte da lista brasileira de resíduos (IBAMA, 2012), no entanto, em conformidade com o previsto na política nacional do país, a análise de composição dos LETAs deve ser realizada como requisito mínimo dos planos de gerenciamento dos resíduos sólidos das atividades dos serviços de saneamento, pois a diversidade de composição desses resíduos já foi atestada e não permite generalizações que garantam o manejo adequado e seguro desses materiais (BRASIL, 2010; RODGHER *et al.*, 2023). Dessarte, sua destinação é um problema mundial (Di Bernardo, Dantas e Voltan, 2017) e os destinos mais comuns são o lançamento diretamente nos corpos receptores ou a disposição nos aterros sanitários (Richter, 2020).

O lançamento desses resíduos nos corpos hídricos causa significativos impactos no meio ambiente e acarreta no aumento da quantidade e diversidade de organismos patogênicos, acréscimo da concentração de compostos orgânicos tóxicos removidos ou formados no tratamento, incremento da concentração de metais tóxicos no sedimento e na coluna d'água devido ao aumento da concentração de sólidos solúveis totais, dentre outros (Di Bernardo *F*, 2017).

Os metais, como aqueles presentes nos LETAs, não são biodegradáveis e são considerados os principais poluentes ambientais que causam efeitos citotóxicos, mutagênicos e carcinogênicos em animais (Muisa *et al.*, 2011). A avaliação ecotoxicológica deve complementar a caracterização química do lodo, podendo estimar os riscos e analisar as interações entre os poluentes e a diversidade dos organismos, conquanto, os efeitos ambientais do descarte e da reutilização do lodo de ETA, bem como seus efeitos ecotoxicológicos ainda são pouco estudados (Bernegossi *et al.*, 2022).

Para Paiva *et al.* (2016) as ETAs são consideradas indústrias de produção de água potável e, assim como as indústrias modernas, as ETAs têm o sério desafio de promover a disposição final adequada sob os pontos de

vista técnico, ambiental e econômico. Richter (2020) cita que as alternativas mais utilizadas para disposição do lodo são: lançamento em curso d'água, lançamento ao mar, lançamento em rede de esgoto, lagoas, aplicação no solo e aterros sanitários. O LETA pode ser um material potencialmente utilizável, pensando no “princípio dos 3R” (reduzir, reutilizar e reciclar), é crucial identificar alternativas de gestão do lodo, que possam ser benéfica tanto em termos de segurança ambiental quanto de economia (Likus *et al.*, 2021).

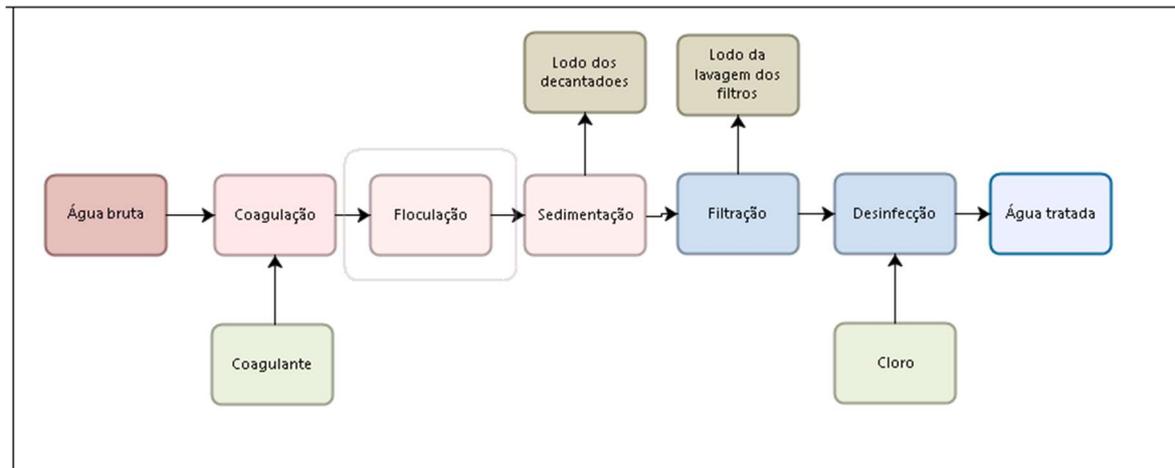


Figura 1. Etapas do processo de tratamento da água

Em função da diversidade de composição dos LETAs, da disposição inadequada que ainda vigoram no Brasil, e do desconhecimento dos impactos ambientais decorrentes do seu lançamento de forma inadequada, esse trabalho se justifica na realização de estudos que visam analisar a composição de LETAs como primeira etapa no gerenciamento da sua destinação adequada prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), como “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

OBJETIVO

Analisar a composição de lodos gerados em ETAs de ciclo completo de dois estados brasileiros, que utilizam diferentes coagulantes químicos para o tratamento da água, de modo a identificar os potenciais impactos ambientais decorrentes de seus lançamentos em águas superficiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado a partir das análises de lodos gerados em ETAs de abastecimento público de dois estados brasileiros, São Paulo e Goiás. Em São Paulo, utilizou-se amostras de lodo centrifugados de duas estações que, juntas, tratam aproximadamente 20 m³/s (ETA 1 e ETA 2) com amostras coletadas em agosto de 2019. Em Goiás, amostras provenientes de uma ETA, com vazão de 2 m³/s (ETA 3), foram coletadas em maio de 2008. Ao total, três amostras de três lugares distintos foram analisadas.

As ETAs estudadas são do tipo convencional de ciclo completo e, após potabilização, as águas produzidas atendem ao padrão de potabilidade brasileira (BRASIL, 2021). A ETA 1 capta água de reservatório e utiliza os coagulantes sulfato de alumínio líquido ou cloreto de polialumínio e utiliza cal para correção de pH. Nessa unidade também se adiciona polímero para as etapas de desaguamento dos LETAs. A ETA 2 capta água em manancial superficial e utiliza o cloreto férrico como coagulante, a correção de pH é feita com cal. A ETA 3 capta água diretamente de manancial superficial, o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio, não há necessidade de correção de pH. Destaca-se que aqui só foram destacados os insumos aportados aos processos de potabilização nas ETAs que impactam a geração dos LETAs.

A presença dos metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, selênio e zinco foram analisados em amostras solubilizadas desses lodos, seguindo os preceitos da norma NBR 10.006 (Brasil, 2004), com o emprego dos métodos analíticos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) (APHA, 2009 e APHA 2012). Os resultados gerados foram avaliados a partir dos referenciais das classes de riscos estabelecida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Para a descrição dos potenciais impactos ambientais dos lodos realizou-se revisão sistemática utilizando o método PRISMA (Moher *et al.*, 2015), buscando referências bibliográficas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, no período de 2018 a 2021. As palavras chaves utilizadas foram: “Sludge” e “drinking water” com as palavras “Impact” e “Composition” utilizando o conectivo “and”, formando as combinações: “Sludge and Drinking Water and Impacts” e “Sludge and Drinking Water and Composition”. A triagem dos artigos foi realizada analisando os títulos e excluindo as duplicidades, em contínuo, procedeu-se à leitura completa dos artigos, selecionando aqueles que apresentaram pesquisas sobre composição e impacto ambiental de LETA.

RESULTADOS

O Brasil ainda não possui legislação específica que regule a disposição de LETA. Os valores de referência utilizados neste artigo são os estabelecidos na norma ABNT NBR 10.004/2004 de 30/11/2004 - Padrões para o ensaio de solubilização. Os resultados obtidos nas análises químicas das 3 ETAs e os valores de referência estão apresentados na tabela 1. Constatou-se que os valores de Al, Cd, Pb, Cu, Cr, Se e Zn das três ETAs analisadas estavam dentro dos valores de referências. O manganês na ETA 3 foi o único que estava acima do limite preconizado na NBR 10.004/2004.

Tabela. 1. Valores de metais analisados nos lodos das ETAs 1, 2 e 3

Parâmetro	Limite máximo (ml/L)	Lodo ETA 1 (2019)	Lodo ETA 2 (2019)	Lodo ETA 3 (2008)
Alumínio (Al)	0,2	0,025	0,025	<0,05
Cádmio (Cd)	0,005	0,001	0,001	<0,001
Chumbo (Pb)	0,01	0,005	0,005	<0,008
Cobre (Cu)	2	0,005	0,005	0,02
Cromo (Cr)	0,05	0,025	0,025	0,06
Manganês (Mn)	0,1	0,025	0,025	0,37
Selênio (Se)	0,01	0,005	0,005	<0,01
Zinco (Zn)	5	0,025	0,025	0,03

O valor de Mn no lodo da ETA 3 esteve acima do limite máximo de referência para resíduos inertes. Estudos realizados por *et al.*, (2016) evidenciaram que a concentração de Mn em LETAs acima dos padrões regulatórios foram considerados não perigosos para as plantas aquáticas, após a incubação anaeróbica dos sedimentos. Entretanto, a sensibilidade dos organismos aquáticos aos agentes químicos varia entre os representantes dos diferentes níveis tróficos, desse modo, potenciais efeitos tóxicos dos químicos presentes em LETAs devem ser avaliados para diferentes organismos.

A composição dos LETAs são provenientes, principalmente, dos processos de coagulação e floculação, sendo assim, o coagulante empregado, juntamente com os constituintes da água bruta, são determinantes na composição do lodo (Turner *et al.*, 2019). Arab *et al.*, (2020) quantificar os constituintes típicos de lodos parcialmente secos com coagulantes a base de ferro e alumínio, os resultados estão apresentados na tabela 2.

Tabela. 2. Constituintes típicos de resíduos de tratamento de água parcialmente seca

Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	Mn (%)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Matéria orgânica (%)	pH
4–18	1–10	0,4–2	0,04–1	3–16	5–60	20–30	6,5–8,0

As concentrações dos elementos Al, Cd, Pb, Cu, Cr, Se e Zn, no solubilizado, se mostraram abaixo dos limites máximos permitidos, resultado semelhante ao que foi encontrado em estudo realizado na China com lodo de seis regiões diferentes, que apresentaram concentrações de As, Ba, Cd, Cr e Pb abaixo dos limites da avaliação do procedimento de lixiviação, parâmetro utilizado para avaliar a toxicidade de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) que é usada para determinar se o lixiviado de um material é perigoso (Wang *et al.*, 2014).

Estudo realizados por Franco *et al.*, (2022) analisaram amostras de lodo de ETA e ETE realizada seguindo o protocolo descrito no método 3050B—SW846 (USEPA 1996) dos seguintes metais: Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e Zn. De acordo com os autores, os valores de ferro e alumínio apresentaram as maiores concentrações no lodo da ETA entre todos os metais analisados. Resultado justificado pelo uso de coagulantes contendo sais de alumínio ou ferro durante a etapa de coagulação do processo de tratamento de água.

Yuan *et al.*, (2016) analisaram a ecotoxicidade de lixiviados de ferro e alumínio do lodo desidratados para a alga verde, *Chlorella vulgaris* (*C. vulgaris*). Os autores constataram que as concentrações dos metais analisados (Al, As, boro (B), Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, e Zn) nos extratos foram muito inferiores aos valores regulamentados nos Critérios Nacionais de Qualidade da Água Recomendada, da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US EPA; 2006). E concluíram que a reciclagem ambiental de lodo desidratado e seco ao ar não representa um risco ecotoxicológico para as algas verdes.

A Figura 2 mostra o fluxo de seleção dos artigos realizado a partir da revisão bibliográfica. A pesquisa nas duas bases de dados retomou um total de 405 registros nas duas áreas pesquisadas, sendo 217 na Web of Science e 188 na Scopus. Utilizando duas combinação de palavras “Sludge and Drinking Water and Impacts”, 138 registros foram verificados na Web of Science e 94 na Scopus. A combinação “Sludge and Drinking Water and Composition”, apresentou 79 registros na Web of Science e 94 na Scopus. Após a identificação dos artigos, procedeu-se à leitura dos títulos para excluir os que apareciam mais de uma vez, foram encontrados 78 artigos duplicados, ficando 327 artigos para serem analisados.

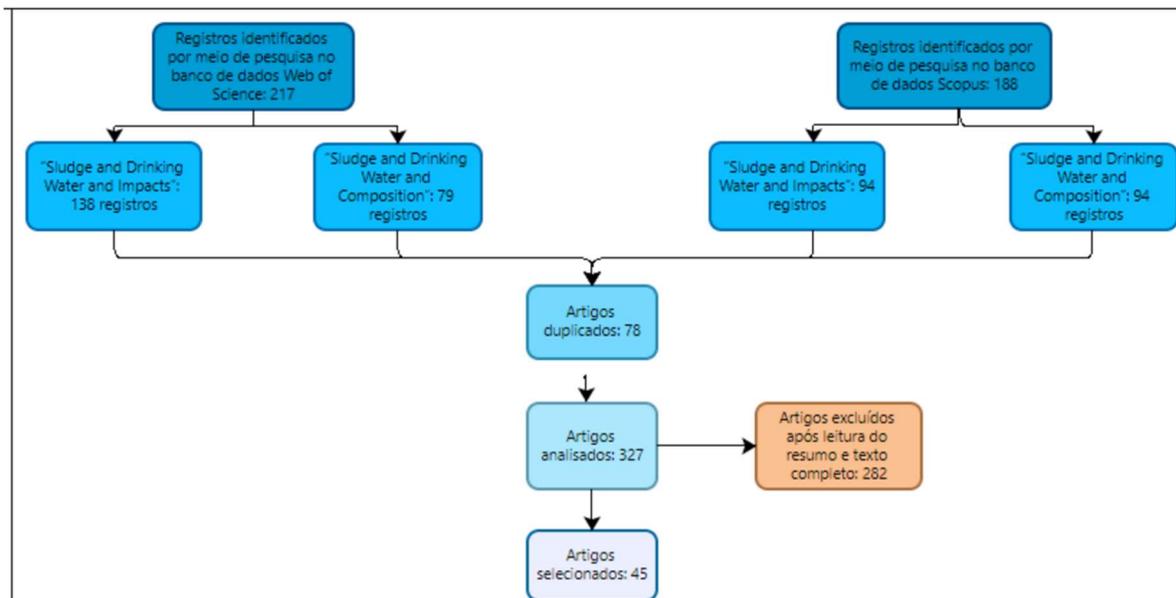


Figura 2. Resultados do diagrama de fluxo do Prisma

O segundo critério de exclusão se deu após a leitura dos títulos e resumos de cada artigo, aqueles que não abordaram caracterização, destinação e impactos ambientais dos resíduos de ETA foram considerados irrelevantes e excluídos. Os artigos que os resumos foram classificados como relevantes foram lidos na íntegra, realizando uma análise crítica e selecionando os artigos científicos que abordavam composição e/ou impacto ambiental em lodo de ETA, totalizando 45 considerados relevantes. A palavra chave que mais apareceu nos artigos analisados foi “water”, seguidas das palavras “sludge”, “treatment” e “drinking” (Figura 3).

os resultados estava abaixo dos níveis permitidos pela EPA dos EUA, sugerindo que as amostras do lodo não podem ser consideradas resíduos perigosos.

Coagulante utilizado no Tratamento da Água

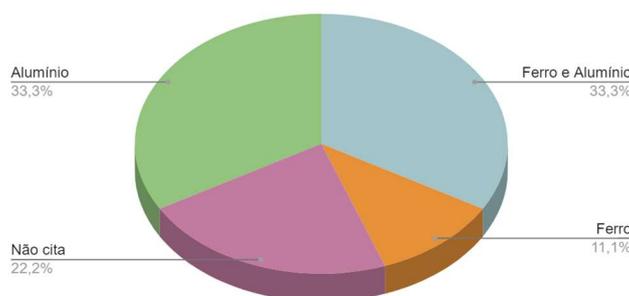


Figura 5. Coagulantes utilizados no tratamento de água, dos artigos analisados na revisão sistemática

Wołowiec *et al.*, (2019) analisaram a capacidade dos resíduos gerados como subproduto das estações de tratamento de água adsorverem metais pesados e metalóides da água e concluíram que a eficiência de sorção depende do pH da solução, tempo de reação, temperatura e concentração inicial de metal na solução.

O enriquecimento excessivo de nutrientes nas águas superficiais tem elevado a quantidade de cianobactérias tóxicas nas águas captadas para abastecimento público, o que gera um aumento das concentrações de cianobactérias tóxicas no LETA (Jalili *et al.*, 2021). Dessarte, análises físico-químicas, muitas vezes, não são suficientes para avaliar a qualidade das águas e as cargas poluidoras dos efluentes, sendo recomendada a realização de testes de toxicidade para avaliar o potencial de risco ambiental (Costa *et al.*, 2008). Dentre os artigos avaliados na revisão sistemática, cinco analisaram cianobactérias e cianotoxinas. A presença de cianobactérias produtoras de compostos tóxicos no resíduo de ETA têm potencial de causar efeitos danosos à saúde animal e humana, porquanto podem liberar diversos compostos causadores de doenças hepáticas, digestivas, neurológicas e de pele, em humanos (Xu *et al.*, 2018). Com isso, a análise dos resíduos de ETA precisam avaliar a presença de cianobactérias tóxicas.

CONCLUSÕES

A contaminação de sistemas aquáticos é um problema ambiental sério e, em razão da grande quantidade de elementos químicos presentes no lodo de ETA e seu descarte muitas vezes ser no meio ambiente sem tratamento adequado, esse acaba sendo um resíduo potencialmente tóxico. Estudos sobre os impactos ambientais do lodo da ETA ainda são escassos.

Os metais avaliados no extrato solubilizado das três ETA de dois estados brasileiros apresentaram concentrações dentro dos limites recomendados pela norma NBR 10.004/, com exceção do manganês. Diante desse resultado, recomenda-se o monitoramento do elemento extrato solubilizado do lodo junto com as análises do extrato lixiviado e massa bruta e de análises da água bruta para comparar as concentrações. Os resultados da análise dos íons metálicos nas ETAs de dois estados brasileiros corroboram com os dados dos artigos analisados na revisão sistemática, em que a maioria apresentavam concentrações de metais seguindo as normas ambientais.

AGRADECIMENTOS

O autor principal usufruiu de bolsa de pesquisa da FAPESP/CNPq (Processo). Agradecemos a Companhia de Saneamento do Estado de Goiás - Saneago pelo auxílio para participação no evento e pela permissão da

utilização de seu banco de dados. Esse projeto contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc.: 2020/12230-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10004: solid west - Classification, Rio de Janeiro, 2004.
2. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10006: Sistemas de Gestão da Qualidade - Diretrizes para a Gestão da Qualidade em Empreendimentos - Classification, Rio de Janeiro, 2006.
3. Ambrosio-Albuquerque, E.P., Cusioli, L.F., Bergamasco, R., Sinópolis Gigliolli, A.A., Lupepsa, L., Paupitz, B.R., Barbieri, P.A., Borin-Carvalho, L.A., de Brito Portela-Castro, A.L. (2021) Metformin environmental exposure: A systematic review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Volume 8. DOI: 10.1016/j.etap.2021.103588
4. APHA - American Public Health Association. (2009) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21a ed. Washington: American Public Health Association.
5. APHA - American Public Health Association. (2012) Standard methods for the examination of water and wastewater. 22a ed. Washington: American Public Health Association.
6. Arab, K. A. H., Thompson, D. F., Oliver, I. W. (2020) Trialling Water-Treatment Residuals in the Remediation of Former Mine Site Soils: Investigating Improvements Achieved for Plants, Earthworms, and Soil Solution. Volume 39, Issue 6. Doi.org/10.1002/etc.4706
7. Bajda, T., Rzepa, G., Pruss, A., Kaufman, M. K., Wołowiec. M. (2019). Removal of Heavy Metals and Metalloids from Water Using Drinking Water Treatment Residuals as Adsorbents: A Review. Special Issue. Mineral Sorbents
8. Bernegossi, A. C., Freitas, B. L. S., Castro, G. B., Marques, J. P., Trindade, L. F., Silva, M. R. L., Felipe M. C., Ogura, A. P. (2022) A systematic review of the water treatment sludge toxicity to terrestrial and aquatic biota: state of the art and management challenges, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. DOI: 10.1080/10934529.2022.2060021
9. Costa, R. C., Olivi, P., Botta, C. M. R., Espindola, R. B. (2008) A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Química Nova*, Volume 31. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>
10. Di Bernardo, L.; Dantas, A. D.B.; Voltan, P. E. N. (2017) Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 3ªed. LDiBe. São Paulo. Brasil.
11. Franco, N.M., Leite, D.A.N.O., Yabuki, L.N.M. et al. (2022). Biodegradability of water treatment sludge influenced by sewage sludge, focusing its use in agriculture as soil conditioner. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 9623–9638. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03792-3>
12. Jalili, F., Trigui, H., Maldonado, J. F. G., Dorner, S., Zamyadi, A., Shapiro, J., Terrat, Y. (2021). Can Cyanobacterial Diversity in the Source Predict the Diversity in Sludge and the Risk of Toxin Release in a Drinking Water Treatment Plant? Doi.org/10.3390/toxins13010025. Special Issue Removal of Cyanobacteria and Cyanotoxins in Waters.
13. Kulandaivelu, J., Choi, P. M., Shrestha, S., Li, X., Song, Y., Li, J., Sharma, K., Yuan, Z., Mueller, J. F., Wang, C., Jiang, G. (2020) Assessing the removal of organic micropollutants from wastewater by discharging drinking water sludge to sewers. *Water Research*. Volume 181 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115945>
14. Likus, M., Kaufman, M. K., Pruss, A., Zych, L., Bajda, T. (2021) Iron-Based Water Treatment Residuals: Phase, Physicochemical Characterization, and Textural Properties. *Functionalized Mineral Materials in Environmental and Civil Engineering, Ceramics, Foundry and Metals*. Special Issue
15. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff J., Altman, D. G. (2015) Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. Volume 24. doi: 10.5123/S1679-49742015000200017
16. Salehin, S., Kulandaivelu, J. K., Rebusura Jr. M., Kolk, O. V. D., Keller, J., Doederer, K., Gernjak, W., Donose, B. C., Yuan, Z., Pikaar, I. (2020) Effects of aging of ferric-based drinking water sludge on its reactivity for sulfide and phosphate removal. *Water Research*. Volume 184 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116179>
17. Turner, T., Wheeler, R., Stone, A., Oliver, I. (2019) Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions—a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*. Volume 230



DOI: 10.1007/s11270-019-4272-0

18. Wang, C., Bai, L., Pei, Y., & Wendling, L. A. (2014) Comparison of metals extractability from Al/Fe-based drinking water treatment residuals. *Environmental Science and Pollution*. Volume 21
<https://doi.org/10.1007/s11356-014-3300-2>

19. Xu, H., Pei, H., Jin, Y., Ma, C., Wang, Y., Sun, J., Li H. (2018) High-throughput sequencing reveals microbial communities in drinking water treatment sludge from six geographically distributed plants, including potentially toxic cyanobacteria and pathogens. *Science of The Total Environment*. Volume 634.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.008>