MANEJO DO LODO DE ETES NO ESTADO DE SÃO PAULO: PRÁTICAS DE DESTINAÇÃO E PENALIDADES AMBIENTAIS

Cristiane de Farias[(1)]
Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) e doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana na Universidade Federal de São Carlos (PPGEU/UFSCar). Especialista em regulação de recursos hídricos e saneamento básico (ANA).
Cali Laguna Achon[(2)]
Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) com Pós-doutorado pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSCar. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECIV/UFSCar).

Endereço[(1)]**:** SGCV, 10 - Guará - Brasília - DF - CEP: 71215-100 - Brasil - e-mail: cristianedefarias2@hotmail.com**.**

RESUMO

A gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) é um desafio para a sustentabilidade do setor de saneamento, especialmente frente à universalização do serviço no Brasil. Este trabalho analisa o manejo do lodo de ETEs no estado de São Paulo, com base nos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 e 2017 e nas penalidades ambientais aplicadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) entre 2000 e 2022. A análise revelou que a principal forma de destinação informada pelas operadoras é a disposição em aterros sanitários, o que não atende à Política Nacional de Resíduos Sólidos tendo em vista que o lodo não é um rejeito. Além disso, a incidência de autuações (multas e advertências) específicas por manejo inadequado de lodo é baixa, de cerca de 4 ao ano, sendo apenas uma multa por ano. Os resultados indicam a necessidade de aprimorar a fiscalização, o monitoramento e os incentivos à valorização do lodo, a fim de promover sua gestão ambientalmente adequada e segura.

PALAVRAS-CHAVE: lodo de esgoto, fiscalização ambiental, ETE.

INTRODUÇÃO

O acesso a sistemas eficientes de coleta e tratamento de esgoto é fundamental para a proteção da saúde pública e a qualidade de vida. No Brasil, com uma população superior a 203 milhões de habitantes (IBGE, 2023), o alcance das metas de universalização do saneamento, estabelecidas pela Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020b), demanda não apenas a expansão da cobertura, mas também o manejo adequado dos subprodutos gerados, em particular o lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Em 2023, apenas 49,0% do esgoto gerado no país recebia tratamento (BRASIL, 2025a), um cenário que reforça a urgência de aprimorar a infraestrutura e a gestão dos resíduos associados.

O lodo de ETE, subproduto do tratamento de esgotos domésticos, é composto majoritariamente por água (99,9%) e uma pequena fração de sólidos (0,1%) (BRASIL, 2023). Sua composição, influenciada pelo tipo de tratamento e pelas características do esgoto afluente, pode incluir metais pesados e patógenos (VON SPERLING, 2014), tornando essencial sua gestão ambientalmente adequada. No Brasil, que conta com aproximadamente 3.668 ETEs (BRASIL, 2020a), a produção de lodo tende a aumentar com a expansão dos serviços de saneamento, exigindo estratégias eficazes para seu tratamento e destinação.

Globalmente, o manejo do lodo de ETE representa um desafio complexo, com implicações ambientais, econômicas, sociais e legais (PÉREZ-ELVIRA; NIETO DIEZ; FDZ-POLANCO, 2006; WAHAAB; MAHMOUD; VAN LIER, 2020; WEI, Y.-S.; FAN; WANG, 2001; ZHANG et al., 2017). Em países com regulamentações ambientais rigorosas, observa-se um crescente interesse na redução da geração e na valorização do lodo (COLLIVIGNARELLI et al., 2019; WEI, Y.-S.; FAN; WANG, 2001). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) no Brasil classifica o lodo de ETE como resíduo dos

serviços públicos de saneamento básico, priorizando a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento, antes da disposição final de rejeitos (BRASIL, 2010). Além disso, dada a diversidade de possibilidades de aproveitamento (URBAN; ISAAC; MORITA, 2019), o lodo de ETE não pode ser considerado um rejeito, não devendo ser disposto indiscriminadamente em aterros sanitários.

No contexto brasileiro, o estado de São Paulo, com sua alta cobertura de coleta (91,5%) e tratamento de esgoto (87,2%) (BRASIL, 2025a), concentra uma parcela significativa da produção de lodo de ETE. A análise das práticas de manejo e destinação nesse estado é crucial para identificar desafios e oportunidades de melhoria. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) indicam a disposição em aterros sanitários como uma prática comum (IBGE, 2008, 2017), levantando questionamentos sobre a sustentabilidade dessa abordagem e o potencial de valorização do lodo. Adicionalmente, a efetividade da fiscalização ambiental, exercida pela CETESB, no controle das práticas de manejo do lodo de ETE em São Paulo merece uma análise aprofundada.

OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo analisar o manejo do lodo de ETE no estado de São Paulo, relacionando as práticas operacionais às penalidades ambientais aplicadas e discutindo os principais destinos desse resíduo, com destaque para a disposição em aterros sanitários.

METODOLOGIA UTILIZADA

Este estudo investiga o manejo do lodo de ETEs no estado de São Paulo, localizado na região sudeste do Brasil. Com uma população de aproximadamente 44 milhões de habitantes, São Paulo é o estado brasileiro mais populoso, com 22% da população total do país (IBGE, 2023). Em relação ao esgotamento sanitário, 91,5% da população total do estado é atendida com rede coletora de esgoto, o maior índice dentre os estados brasileiros, e 87,2% do esgoto coletado é tratado (BRASIL, 2025a).

A pesquisa foi conduzida em etapas. Inicialmente, realizou-se uma busca exploratória no sistema de Infrações da CETESB (CETESB, 2025) para compreender a estrutura do banco de dados. Posteriormente, foi formalizada uma solicitação via Sistema Integrado de Informações ao Cidadão (SIC.SP) à CETESB, solicitando a lista completa de penalidades contendo os termos lodo, ETE e variações desses termos em suas descrições.

A base de dados fornecida foi revisada para garantir a exclusão de quaisquer penalidades não relacionadas especificamente ao lodo de ETE. Os dados foram então organizados em uma planilha eletrônica para facilitar a análise. As penalidades foram classificadas por tipo (advertência ou multa) e pela fase do manejo do lodo que originou a infração: destinação, problemas nas unidades de tratamento e transporte do lodo de ETE.

Foram utilizados dados relativos ao estado de São Paulo das edições de 2008 (IBGE, 2008) e 2017 (IBGE, 2017) da PNSB. Especificamente, foram analisadas as respostas dos municípios em relação às práticas de destinação do lodo de ETE. O objetivo desta etapa foi comparar a frequência das diferentes formas de destinação reportadas pelos municípios com o número e os tipos de penalidades aplicadas pela CETESB, buscando identificar possíveis tendências na fiscalização, bem como processos de maior não conformidade. Os resultados foram apresentados por meio de tabelas e gráficos para facilitar a visualização e a interpretação.

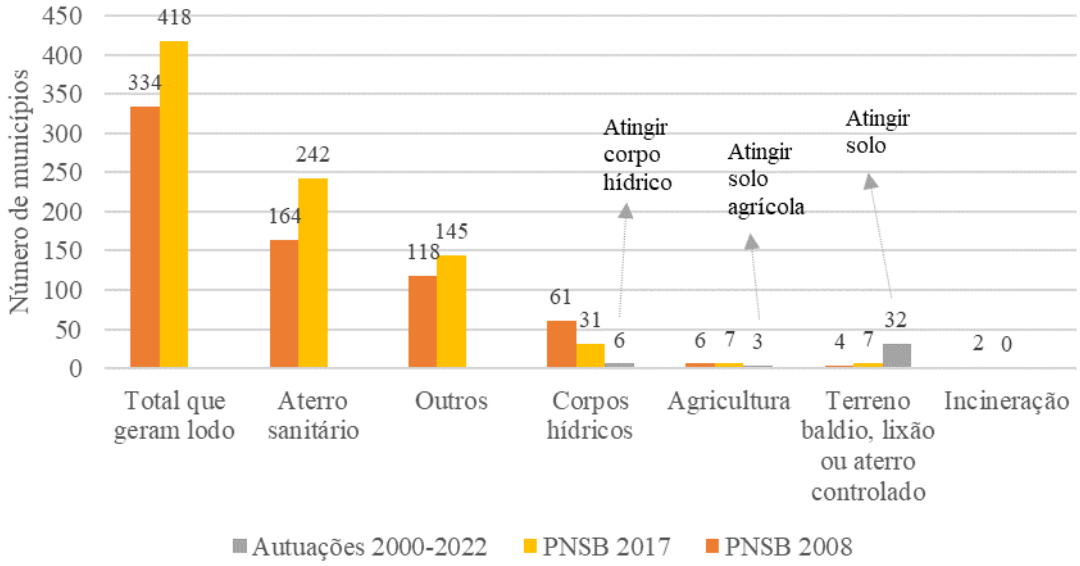
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da PNSB para o estado de São Paulo revelam um panorama preocupante em relação à destinação do lodo de ETE. Em 2008, com a participação de 334 municípios, 164 (49%) declararam dispor todo ou parte do lodo em aterros sanitários, enquanto 61 (18%) realizavam o lançamento do lodo em corpos hídricos (IBGE, 2008). Uma década depois, em 2017 (418 municípios participantes), essa situação se manteve relativamente semelhante, com 242 (58%) municípios dispondo em aterros sanitários e 31 (7%) lançando em corpos hídricos (IBGE, 2017), conforme apresentado na Figura 1.

A disposição em terrenos baldios, lixões e aterros controlados se manteve baixa, com 4 (1%) e 7 (2%) municípios reportando essa prática em 2008 e 2017, respectivamente. A destinação classificada como “outros” representou uma parcela significativa em ambos os anos (35%), levantando a questão de que uma parcela

relevante da amostra realiza outras destinações, diferentes das citadas. Destaca-se que o uso benéfico do lodo na agricultura foi reportado por apenas 6 e 7 municípios nos respectivos anos, representando apenas 2% do total, um percentual muito baixo considerando o potencial de valorização desse resíduo. A incineração foi mencionada somente por 2 municípios, em 2008 (1%).

Figura 1 - Quantidade de municípios por tipo de destinação de todo ou parte do lodo de ETE gerado, conforme a PNSB de 2008 e 2017, e quantidade de municípios autuados por atingir corpo hídrico, solo ou especificamente solo agrícola, conforme dados da CETESB de 2000 a 2022



Fonte: elaboração própria com base em IBGE (2008, 2017) e CETESB (2000 a 2022).

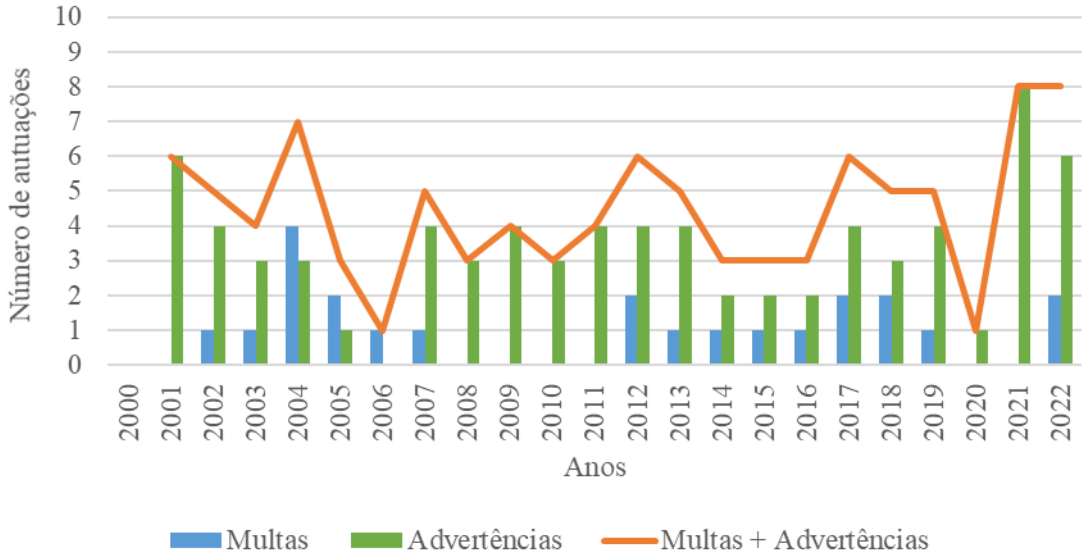
A predominância da disposição do lodo de ETE em aterros sanitários, observada nos dados da PNSB, é uma prática que possui um impacto maior sobre as mudanças climáticas em comparação com outros usos, como compostagem, digestão anaeróbia, incineração e aplicação no solo (CHANG et al., 2023). Além disso, o uso de aterros demanda grandes áreas e pode levar à contaminação ambiental de diversas formas, como poluição do solo, do ar, dos corpos hídricos e do lençol freático (URGUN-DEMIRTAS; DALKE; PAGILLA, 2022).

Cabe ressaltar que, considerando a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), o lodo de ETE não se enquadra automaticamente como rejeito. A legislação exige que todas as possibilidades de tratamento e recuperação por tecnologias disponíveis e economicamente viáveis sejam esgotadas para tal classificação. Pelo contrário, o lodo de ETE possui um vasto potencial para usos benéficos (URBAN; ISAAC; MORITA, 2019). Nesse contexto, considerando que no Brasil, aproximadamente 25,6% dos resíduos sólidos urbanos ainda são dispostos em lixões ou aterros controlados (BRASIL, 2025b), a disposição inadequada de lodo, não caracterizado como rejeito, pode ocupar desnecessariamente espaço valioso em aterros sanitários, comprometendo sua vida útil.

A valorização do lodo de ETE apresenta-se como uma alternativa promissora ao descarte em aterros. A aplicação na agricultura, por exemplo, pode fornecer nutrientes importantes para o solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Outras tecnologias, como a digestão anaeróbia para produção de biogás, a compostagem para geração de adubo orgânico e a incineração com recuperação de energia, podem contribuir para a economia circular, transformando o lodo em um recurso valioso. Cabe destacar, no entanto, que devido à presença de patógenos, metais pesados e poluentes orgânicos no lodo (SUAREZ; GÓMEZ; VIDAL, 2023), é necessário um tratamento prévio adequado para garantir a segurança ambiental e da saúde.

No que concerne às ações de fiscalização, a CETESB registrou 98 autuações relacionadas a lodos de ETE entre 2000 e 2022, sendo a maioria (77%) advertências e 23% multas. A média anual de autuações foi de apenas 4, atingindo um total de 59 municípios (Figura 2). Essa baixa frequência de autuações, considerando o grande número de municípios e ETEs no estado, traz questionamentos sobre a capacidade de fiscalização e a efetividade das penalidades.

Figura 2 - Distribuição anual de autuações, conforme dados da CETESB de 2000 a 2022

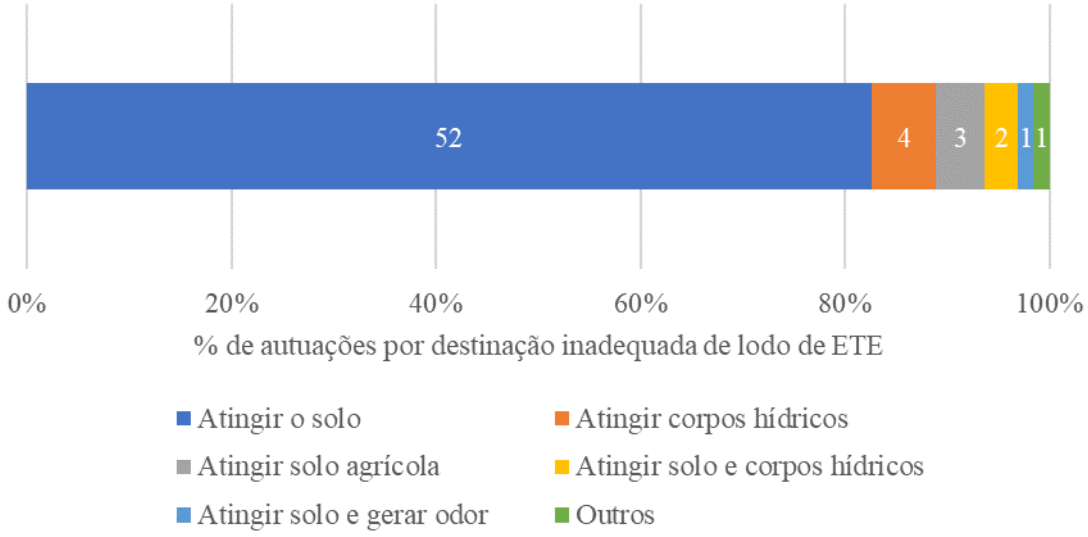


Fonte: elaboração própria com base em CETESB (2000 a 2022).

A destinação inadequada foi o principal motivo das autuações, com 63 casos (64%), seguida por 27 para problemas em unidades de tratamento (28%) e 8 para transporte inadequado (8%). Tal cenário aponta para a necessidade de priorizar a instalação e otimização de unidades de tratamento de lodo nas ETEs do estado, de modo a reduzir a destinação irregular. Em um futuro com sistemas de tratamento de esgoto mais consolidados, é esperado um aumento relativo das autuações relacionadas à operação dessas unidades e ao transporte do lodo tratado, em relação ao total de autuações.

Dentre as 63 autuações por destinação inadequada, a maioria (92%) foi atribuída à destinação inadequada de lodo no solo, atingindo 32 municípios, incluindo casos específicos de atingimento de solo agrícola, contaminação de solo e corpos hídricos ou por atingir solo e gerar odor (Figura 3). O atingimento de corpos hídricos, isoladamente ou em conjunto com o solo, resultou em 6 autuações, envolvendo 6 municípios.

Figura 3 - Número de autuações devido a destinação inadequada de lodo de ETE no estado de São Paulo, conforme dados da CETESB de 2000 a 2022



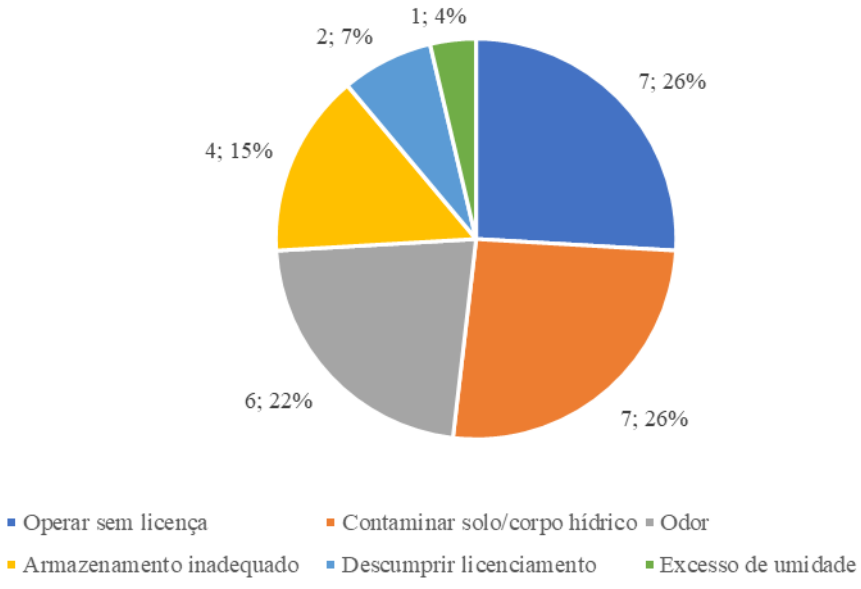
Fonte: elaboração própria com base em CETESB (2000 a 2022).

Os resultados apresentados evidenciam uma disparidade significativa entre o número de penalidades aplicadas pela CETESB e o número de municípios que declaram gerenciar inadequadamente o lodo de ETEs, conforme reportado pela PNSB. Enquanto 61 e 31 indicaram lançar o lodo em corpos hídricos em 2008 e 2017, respectivamente (Figura 1), de 2000 a 2022 somente 6 municípios foram autuados devido a essa motivação.

Por outro lado, pode estar havendo uma subdeclaração em relação aos que destinam a terrenos baldios, lixões ou aterros controlados. O número de municípios autuados pela CETESB por disposição inadequada no solo, 32 entre 2000 e 2022 e 16 entre 2008 e 2017, é superior ao número de municípios que declararam dispor em terrenos baldios, lixões ou aterros controlados na PNSB (4 e 7 em 2008 e 2017, respectivamente). Essa discrepância pode indicar que alguns municípios que reportam dispor em aterros sanitários podem, na prática, estar realizando descartes irregulares, sendo muito importante analisar as bases de dados de forma integrada para obter um quadro mais preciso da situação.

As 27 autuações relacionadas às unidades de tratamento abrangeram diversas irregularidades em 19 municípios, incluindo operação sem licença, gerenciamento incorreto de efluentes, geração de odor, armazenamento inadequado e descumprimento de diretrizes de licenciamento (Figura 4). As 8 autuações por transporte inadequado, emitidas para 6 municípios, foram majoritariamente devido à inexistência de Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI), sendo apenas duas por realizarem transferência do lodo sem licenciamento para tal. A diversidade dessas infrações aponta para a complexidade dos desafios na gestão do lodo e a necessidade de uma fiscalização abrangente.

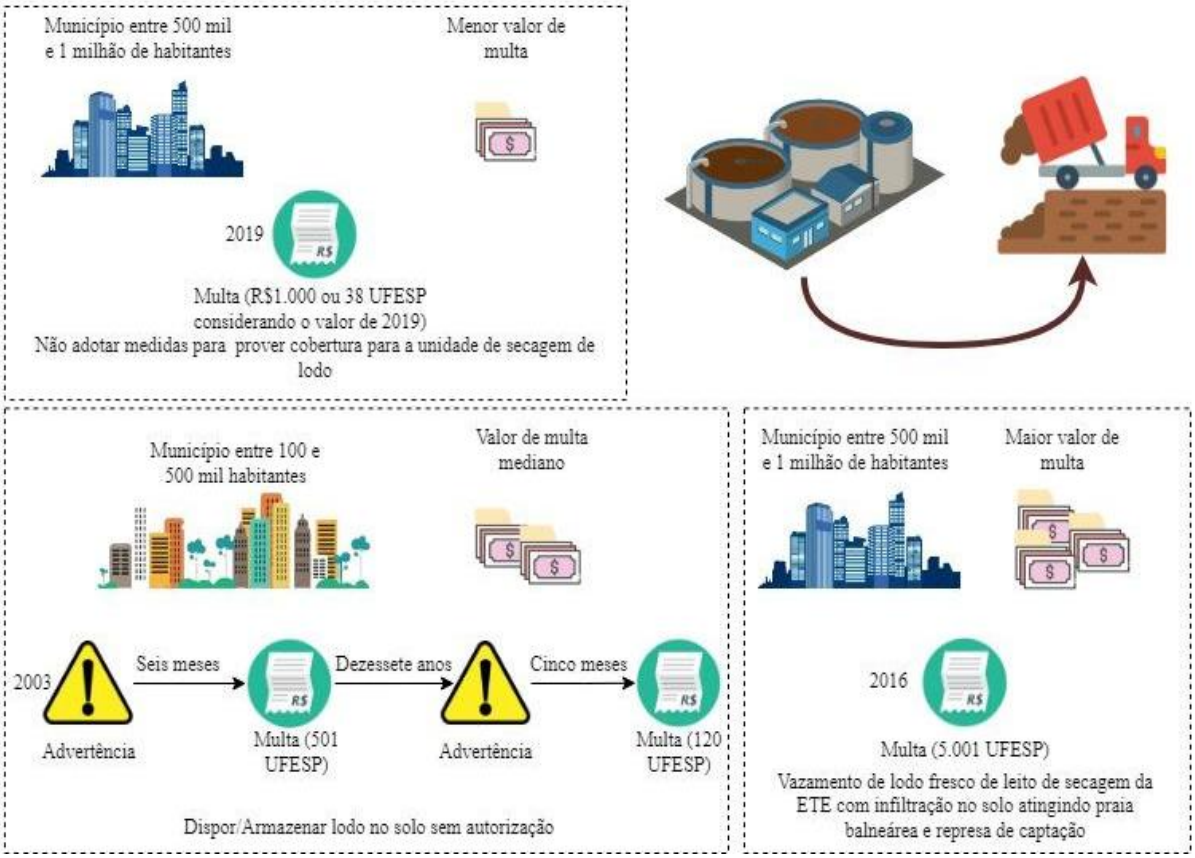
Figura 4 - Número de autuações devido a inadequações em unidades de tratamento de lodo de ETE no estado de São Paulo, conforme dados da CETESB de 2000 a 2022



Fonte: elaboração própria com base em CETESB (2000 a 2022).

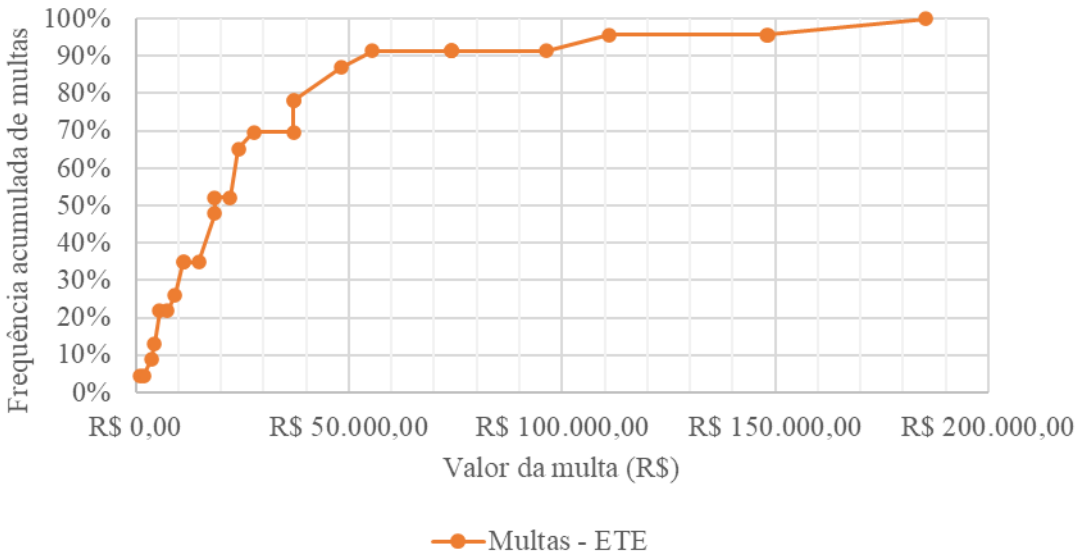
O valor total das 23 multas aplicadas pela CETESB para lodo de ETE no período foi de R$ 748.236,88 (valores de 2025, em que 1 UFESP equivale a R$ 37,02), com valores unitários variando significativamente, de R$ 1.395,40 a R$ 185.137,02, com mediana de R$ 18.547,02. Para ampliar a compreensão, a Figura 5 apresenta um resumo das descrições, detalhando as autuações que resultaram no menor valor de multa, no valor mediano e no maior valor de multa. Além disso, a Figura 6 mostra que 50% das 23 multas emitidas possuem valor inferior a R$ 20.000,00, e 90% abaixo de R$ 50.000,00. Esses valores relativamente baixos e pouco frequentes, com média de aproximadamente uma multa por ano, em muitos casos, podem não ser suficientes para dissuadir práticas inadequadas, especialmente por grandes operadores, tendo em vista que os custos com o descumprimento podem ser inferiores aos custos para atingir a conformidade.

Figura 5 - Exemplos de situações em que as operadoras de sistemas de tratamento de esgoto foram autuadas com multas.



Fonte: elaboração própria com base em CETESB (2000 a 2022).

Figura 6 - Frequência acumulada de multas relativas a lodo de ETE aplicadas no estado de São Paulo, conforme dados da CETESB de 2000 a 2022



Fonte: elaboração própria com base em CETESB (2000 a 2022).

A eficácia das ações de comando e controle, como advertências e multas, pode ser limitada. A certeza e a celeridade da penalidade influenciam o comportamento dos infratores (KLAUTAU DE ARAÚJO, 2016), como no caso dos operadores de ETEs. No entanto, a baixa frequência de autuações em São Paulo relativas a

lodo de ETE, com média de 4 ao ano, sugere possíveis limitações na capacidade de fiscalização do órgão ambiental, a complexidade da legislação ou outras barreiras à aplicação efetiva das penalidades.

Apesar da existência de um arcabouço legal robusto no país, a efetividade da regulação ambiental depende da disponibilidade de recursos e de uma estratégia de aplicação consistente (SCHMITT, 2015). A busca por ferramentas regulatórias que vão além do comando e controle, como o envolvimento de organizações sem fins lucrativos e o controle social (GRANT; GROOMS, 2017; HE et al., 2022), pode ser relevante para complementar as ações fiscalizatórias. A participação da sociedade civil e a transparência nos processos de gestão do lodo podem aumentar a pressão por práticas mais adequadas.

Exemplos internacionais a respeito da gestão do lodo ressaltam a necessidade de marcos regulatórios simples e consistentes, considerando a saúde humana, a viabilidade econômica dos subprodutos e as características socioeconômicas e culturais (CHRISTODOULOU; STAMATELATOU, 2016; WEI, L. et al., 2020) para promover práticas sustentáveis. A análise do ciclo de vida (KACPRZAK et al., 2017) pode ser uma ferramenta útil para avaliar diferentes estratégias de gestão do lodo e seus impactos.

A gestão adequada do lodo de ETE requer uma governança eficaz no setor de saneamento, com a participação de diferentes níveis de governo, o avanço da regulação e a implementação de políticas públicas claras e integradas. A capacitação técnica dos operadores de ETEs e a conscientização sobre as melhores práticas de manejo são fundamentais para garantir a conformidade ambiental e promover a valorização do lodo. É essencial um esforço conjunto para enfrentar os desafios da gestão do lodo e buscar soluções mais sustentáveis.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente estudo revelam um cenário preocupante em relação à gestão do lodo de ETE no estado de São Paulo. A análise dos dados da PNSB de 2008 e 2017 demonstra que muitos municípios ainda adotam práticas inadequadas de destinação do lodo, principalmente o envio para aterros sanitários, e, em menor escala, o descarte em corpos hídricos. A comparação com os dados de fiscalização da CETESB de 2000 a 2022 evidencia uma discrepância entre a frequência das práticas reportadas pelos municípios e o número de autuações aplicadas. A baixa média anual de autuações sugere que as medidas de comando e controle podem não estar sendo efetivas para dissuadir as infrações.

A predominância da destinação do lodo para aterros sanitários, observada nos dados da PNSB, é uma prática preocupante devido aos seus impactos negativos sobre as mudanças climáticas, a ocupação de grandes áreas e o potencial de contaminação ambiental. Por outro lado, a subutilização de alternativas de valorização do lodo, como a aplicação na agricultura, representa uma perda de oportunidades para a economia circular. À medida que o Brasil avança na ampliação e modernização de sua infraestrutura de tratamento de esgoto, tendo em vista as metas de universalização, é preciso avançar no mesmo ritmo na agenda do tratamento do lodo.

Diante desses resultados, destaca-se a importância do fortalecimento dos órgãos ambientais, de modo que disponham de recursos para realizar a fiscalização efetiva, seja por meio do comando e controle ou outras abordagens regulatórias. Recomenda-se também que as ações de fiscalização se apoiem em resultados de pesquisas como a PNSB, de modo a otimizar esforços e direcionar a fiscalização para as áreas mais críticas. Por fim, é fundamental fomentar a colaboração regulatória entre os diferentes órgãos e setores envolvidos no gerenciamento do lodo, buscando uma abordagem mais coordenada e eficaz que não apenas penalize a não conformidade, mas também promova boas práticas e soluções sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Base de dados do Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 1 maio 2025a. 2020

2. BRASIL. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-

snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

3. BRASIL. Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 18 nov. 2024.

4. BRASIL. Lei n° 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento. 2020 b. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7>. Acesso em: 1 maio 2025.

5. BRASIL. Relatório dos Serviços de Esgotamento Sanitário - Ano de referência: 2023. Brasília, DF: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_ESGOTAMENTO_SANITARIO_2024.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

6. BRASIL. Relatório dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos - Ano de Referência: 2023. Brasília, DF: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa/RELATORIO_SINISA_RESIDUOS_SOLIDOS_2024.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

7. CETESB. Consulta de Infração. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente. Disponível em: <https://autenticidade.cetesb.sp.gov.br/ConslInfracao.php>. Acesso em: 1 maio 2025. 2025

8. CHANG, H. et al. Climate change impacts of conventional sewage sludge treatment and disposal. Water Research, v. 240, p. 120109, 15 jul. 2023.

9. CHRISTODOULOU, A.; STAMATELATOU, K. Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research, v. 73, p. 453–462, 15 fev. 2016.

10. COLLIVIGNARELLI, M. C. et al. What Advanced Treatments Can Be Used to Minimize the Production of Sewage Sludge in WWTPs? Applied Sciences, v. 9, n. 13, p. 2650, jan. 2019.

11. GRANT, L. E.; GROOMS, K. K. Do Nonprofits Encourage Environmental Compliance? Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, v. 4, n. S1, p. S261–S288, set. 2017.

12. HE, B. et al. Avoiding Real Harm but False Good: The Influence Mechanism of Political Relations on the Effectiveness of Environmental Regulation Policies. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 23, p. 15953, 30 nov. 2022.

13. IBGE. Censo Demográfico 2022: população e domicílios: primeiros resultados. Rio de Janeiro, RJ: Ministério do Planejamento e Orçamento, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102011>. Acesso em: 18 nov. 2024.

14. IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008. Rio de Janeiro, RJ: Ministério do Planejamento e Orçamento. Disponível em: <https://metadados.ibge.gov.br/consulta/estatisticos/operacoes-estatisticas/SB/2008/0/0>. Acesso em: 18 nov. 2024. 2008

15. IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2017. Rio de Janeiro, RJ: Ministério do Planejamento e Orçamento. Disponível em: <https://metadados.ibge.gov.br/consulta/estatisticos/operacoes-estatisticas/SB/2017/0/0>. Acesso em: 18 nov. 2024. 2017

16. KACPRZAK, M. et al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. Environmental Research, v. 156, p. 39–46, 1 jul. 2017.

17. KLAUTAU DE ARAÚJO, T. L. Public Policies and Education for Biodiversity: Brazilian Challenges in a New Global Context. In: CASTRO, P. et al. (Org.). Biodiversity and Education for Sustainable Development. World Sustainability Series. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 219–235. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32318-3_14>. Acesso em: 4 jun. 2023.

18. PÉREZ-ELVIRA, S. I.; NIETO DIEZ, P.; FDZ-POLANCO, F. Sludge minimisation technologies. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 5, n. 4, p. 375–398, 1 nov. 2006.

19. SCHMITT, J. Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia. 2015. Tese (doutorado) – Universidade de Brasília (UNB), Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/teses/jairschmitttese.pdf>. Acesso em: 1 maio 2025.

20. SUAREZ, P.; GÓMEZ, G.; VIDAL, G. Chapter Two - Human pathogenic microorganism in sludge. In: HUANG, K.; AHMAD BHAT, S.; CUI, G. (Org.). Fate of Biological Contaminants During Recycling of Organic Wastes. Elsevier, 2023. p. 27–45. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323959988000121>. Acesso em: 25 out. 2023.

21. URBAN, R. C.; ISAAC, R. D. L.; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. DAE Magazine, v. 67, n. 219, p. 128–158, 2019.

22. URGUN-DEMIRTAS, M.; DALKE, R.; PAGILLA, K. R. Sludge management and utilization for decarbonization. In: JASON REN, Z.; PAGILLA, K. (Org.). Pathways to Water Sector Decarbonization, Carbon Capture and Utilization. IWA Publishing, 2022. p. 171–186. Disponível em: <https://iwaponline.com/ebooks/book/843/chapter/2838878/Sludge-management-and-utilization-for>. Acesso em: 1 maio 2025.

23. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2014.

24. WAHAAB, R. A.; MAHMOUD, M.; VAN LIER, J. B. Toward achieving sustainable management of municipal wastewater sludge in Egypt: The current status and future prospective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 127, p. 109880, 1 jul. 2020.

25. WEI, L. et al. Development, current state and future trends of sludge management in China: Based on exploratory data and CO2-equivaient emissions analysis. Environment International, v. 144, p. 106093, 1 nov. 2020.

26. WEI, Y.-S.; FAN, Y.-B.; WANG, M.-J. A cost analysis of sewage sludge composting for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants. Resources, Conservation and Recycling, v. 33, n. 3, p. 203–216, 1 out. 2001.

27. ZHANG, Q. et al. Sludge treatment: Current research trends. Bioresource Technology, v. 243, p. 1159–1172, 1 nov. 2017.