



Diagnóstico da destinação do lodo das Estações de Tratamento de Esgoto na região metropolitana de Porto Alegre: uma análise à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos

Diagnosis of the destination of sludge from Sewage Treatment Plants in the metropolitan region of Porto Alegre: an analysis in light of the National Solid Waste Policy

L. Loebens^{1*}; M. C. A. Silva²; E. B. Vicente¹; L. Turatti³; M. E. V. Siviero¹; Y. P. Ávila¹

¹Divisão de Infraestrutura e Saneamento Ambiental, FEPAM, 900020-021, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

²Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil

*laryloebens2012@gmail.com

(Recebido em 31 de julho de 2025; aceito em 17 de outubro de 2025)

A gestão do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) representa um dos principais desafios ambientais e operacionais do setor de saneamento básico. Este estudo teve como objetivo avaliar a destinação do lodo produzido por 28 ETEs da Região Metropolitana de Porto Alegre no ano de 2024, à luz das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os dados foram obtidos por meio da análise dos processos de licenciamento ambiental disponíveis no Sistema Online de Licenciamento (SOL) da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM-RS), com foco na tecnologia de tratamento adotada, no volume de lodo gerado e nas informações contidas nos Manifestos de Transporte de Resíduos (MTRs), que registram a destinação final do resíduo. Os resultados indicaram que apenas 8 ETEs realizaram destinação de lodo no período analisado, sendo aproximadamente 89% do volume total enviado a aterros sanitários. Essa prática, embora ainda recorrente, contraria os princípios da PNRS, que prioriza a valorização dos resíduos sólidos por meio de alternativas como a compostagem e o uso agrícola. Destaca-se a existência de iniciativas bem-sucedidas de empresas públicas, como SABESP-SP e SANEPAR-PR, que demonstram a viabilidade da transformação do lodo, por exemplo, em fertilizante classe A, promovendo benefícios ambientais, agronômicos e econômicos. Conclui-se que há necessidade de avanços na gestão do lodo na Região Metropolitana de Porto Alegre, de forma a garantir a destinação ambientalmente adequada e a valorização desse resíduo, em consonância com a PNRS.

Palavras-chave: lodo de ETE, destinação final, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

The management of sludge generated at Wastewater Treatment Plants (WWTPs) represents one of the main environmental and operational challenges in the basic sanitation sector. This study aimed to evaluate the final disposal of sludge produced by 28 WWTPs in the Metropolitan Region of Porto Alegre in 2024, based on the guidelines of the National Solid Waste Policy (PNRS). Data were obtained through the analysis of environmental licensing processes available in the Online Licensing System (SOL) of Henrique Luis Roessler State Foundation for Environmental Protection (FEPAM-RS), focusing on the treatment technologies adopted, the volume of sludge generated, and the information contained in the Waste Transport Manifests (MTRs), which record the final destination of the waste. The results indicated that only 8 WWTPs carried out sludge disposal during the analyzed period, with approximately 89% of the total volume sent to sanitary landfills. Although still common, this practice contradicts the principles of the PNRS, which prioritizes the valorization of solid waste through alternatives such as composting and agricultural reuse. Noteworthy are successful initiatives by public companies such as SABESP-SP and SANEPAR-PR, which demonstrate the feasibility of transforming sludge into Class A fertilizer, generating environmental, agronomic, and economic benefits. It is concluded that progress is needed in sludge management in the Metropolitan Region of Porto Alegre, to ensure environmentally sound disposal and the valorization of this waste, following the PNRS.

Keywords: WWTP sludge, final disposal, National Solid Waste Policy.

1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) têm como principal finalidade remover os poluentes do esgoto antes de sua liberação no ambiente. Historicamente, essas unidades priorizam o cumprimento dos limites legais de lançamento com a otimização dos custos operacionais. Embora desempenhem um papel essencial na preservação da qualidade dos ecossistemas aquáticos, os processos empregados no tratamento geram subprodutos — entre eles, o lodo — cuja composição varia conforme a tecnologia adotada [1].

O lodo de esgoto é um resíduo semissólido, majoritariamente orgânico, resultante do tratamento de esgotos domésticos, industriais ou uma combinação de ambos. Suas características gerais são influenciadas principalmente pelo tipo de esgoto tratado, pelas condições sazonais, pelo método de tratamento empregado e pelas etapas de estabilização e condicionamento final [2, 3].

A periodicidade da remoção de lodo nas ETEs é bastante variável: enquanto em sistemas de lagoas essa remoção ocorre em escala de anos, em processos como lodos ativados ou filtros biológicos ela pode ocorrer em questão de horas. Ainda que o lodo represente apenas 1 a 2% do volume total de esgoto tratado, seu gerenciamento pode corresponder de 20 a 60% dos custos operacionais das ETEs [4].

A destinação adequada do lodo de esgoto representa um desafio significativo para os profissionais responsáveis pelo planejamento e operação dos sistemas de tratamento, uma vez que sua disposição final tornou-se uma das principais questões ambientais atuais, não apenas devido à grande quantidade gerada, mas também à sua composição altamente variável [5].

Entre os métodos de destinação final do lodo, destacam-se o uso agrícola, a incineração e a disposição em aterros — sendo esta última a mais comum no Brasil [6]. No entanto, o envio a aterros sanitários e a incineração, apesar de viáveis, implicam altos custos e potenciais impactos ambientais. A disposição em aterros tem sido abandonada em diversos países, pois impede a recuperação de energia, nutrientes e matéria orgânica — recursos que podem ser aproveitados por meio de outras alternativas de destinação [5].

O uso agrícola do lodo desponta como uma opção vantajosa, por possibilitar a reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica. Contudo, esse aproveitamento também pode apresentar riscos ambientais, especialmente devido à possível presença de metais pesados, cuja mobilidade no solo pode resultar em absorção pelas plantas ou contaminação hídrica [2, 5].

Apesar do elevado teor de umidade, o lodo dos sistemas de saneamento é considerado um resíduo sólido. Devido à elevada carga orgânica do esgoto, o lodo de ETE é mais complexo do que o de Estações de Tratamento de Água (ETA), o que exige atenção redobrada quanto aos riscos e restrições sanitárias associados à sua disposição.

Com a promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei Federal nº 14.026/2020) [7], o Brasil estabeleceu como meta a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário até o ano de 2033. Especificamente para o esgotamento sanitário, a meta é atender, no mínimo, 90% da população com coleta e tratamento de esgoto. Esse avanço, embora essencial para a promoção da saúde pública e a preservação ambiental, implicará em um aumento expressivo na geração de lodo nas ETEs. Assim, a gestão desse resíduo assume papel estratégico na consolidação do saneamento básico como política pública sustentável, exigindo planejamento prévio e soluções de destinação condizentes com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Por se tratar de um resíduo sólido, o lodo de ETE está sujeito ao estabelecido na PNRS [8], que preconiza a valorização dos resíduos como matéria-prima para outros processos, buscando reduzir sua destinação a aterros sanitários. A PNRS estabelece uma hierarquia na gestão de resíduos, priorizando a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento, antes da disposição final — os chamados 5 Rs.

A reutilização do lodo em detrimento do seu descarte é uma tendência mundial, impulsionada pela escassez de áreas para disposição e pelos impactos dos aterros nas mudanças climáticas [9].

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o volume de lodo destinado por 28 ETEs da Região Metropolitana de Porto Alegre ao longo do ano de 2024 e identificar os métodos de destinação adotados, comparando-os com as técnicas de destinação ambientalmente adequadas preconizadas pela PNRS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) é composta por 34 municípios: Alvorada, Araricá, Arroio dos Ratos, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Capela de Santana, Charqueadas, Dois Irmãos, Eldorado do Sul, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Igrejinha, Iotti, Montenegro, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Parobé, Portão, Porto Alegre, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara, Triunfo e Viamão. As ETEs incluídas neste estudo estão distribuídas entre esses municípios, conforme apresentado na Figura 1.

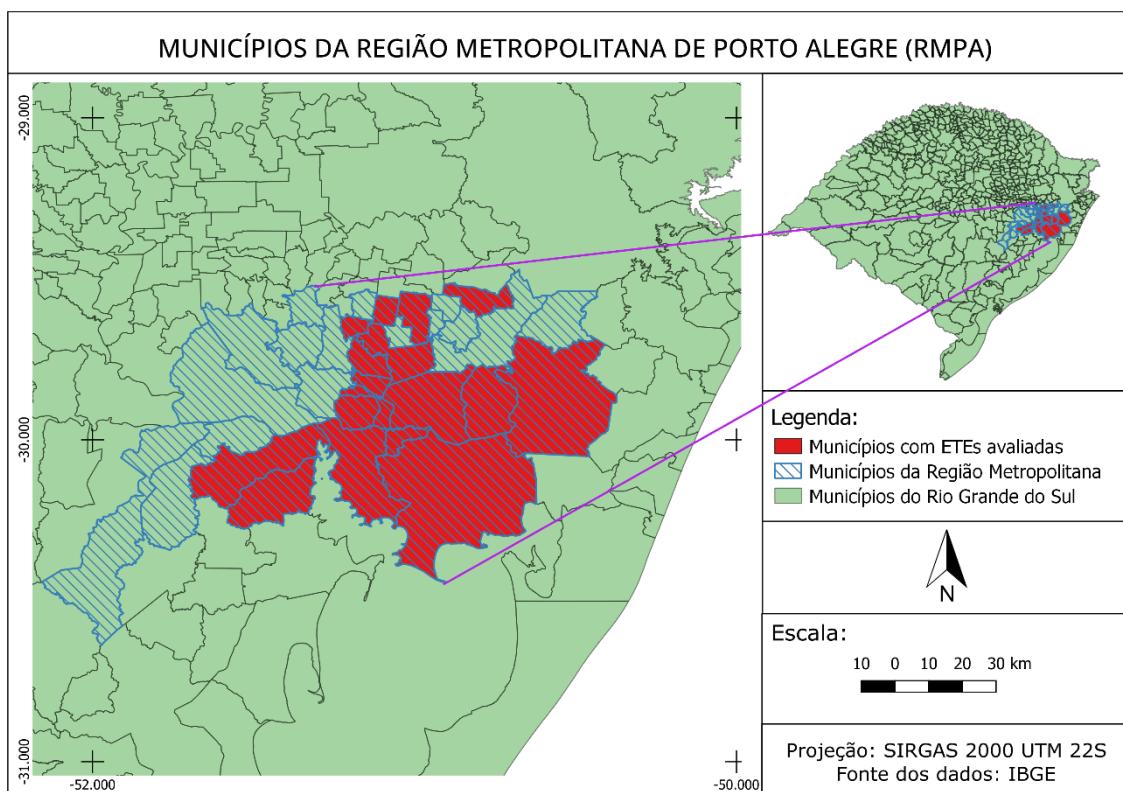


Figura 1: Municípios da RMPA.

Foram utilizados dados de 28 Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário da RMPA, no estado do Rio Grande do Sul. Essas 28 estações representam o total de ETEs licenciadas pela FEPAM na região, enquadradas no Código de Atividade (CODRAM) 3512.10 – “Sistemas de esgotamento sanitário e/ou emissários de efluente tratado – SES”, e com Licença de Operação vigente.

As informações referem-se ao ano de 2024 e foram obtidas por meio da análise dos processos de licenciamento ambiental disponíveis no Sistema Online de Licenciamento Ambiental (SOL) da FEPAM. A consulta no Sistema SOL baseou-se na Resolução CONSEMA nº 372/2018 [10] que “Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental”.

Para realizar a consulta, foram utilizados os seguintes filtros: (i) CODRAM 3512,10 “sistemas de esgotamento sanitário e/ou emissários de efluente tratado – SES”; (ii) assunto da solicitação: 261 – Licença de Operação; (iii) Município da solicitação. A partir desses filtros foram consultados os processos administrativos dos SES dos municípios da região metropolitana de Porto Alegre com Licença de Operação emitida.

Em cada processo, foram extraídas as seguintes informações: (i) Tecnologia de tratamento de esgoto da ETE; (ii) Tecnologia de tratamento do lodo gerado; e (iii) Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) referente à destinação do lodo no ano de 2024, contendo volume (tonelada) e tipo de destinação final.

Para a análise dos dados, foram elaboradas tabelas apresentando as tecnologias de tratamento de lodo adotadas pelas ETEs, os volumes destinados e os respectivos destinos finais. Os resultados obtidos foram comparados com dados de literatura técnica e com as diretrizes de destinação ambientalmente adequada estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, com foco na valorização do lodo como matéria-prima para outros processos.

Embora o presente estudo tenha buscado uma análise abrangente da destinação do lodo nas ETEs da Região Metropolitana de Porto Alegre, algumas limitações foram identificadas. Um dos desafios esteve relacionado à obtenção das informações nos processos de licenciamento consultados no Sistema Online de Licenciamento (SOL) da FEPAM. Em parte das ETEs analisadas não foi possível identificar, por exemplo, a tecnologia de desaguamento do lodo adotada na estação, conforme demonstrado na Tabela 1 da seção de resultados e discussão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método de desidratação adotado para o lodo gerado em cada uma das 28 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) avaliadas no presente estudo é apresentado na Tabela 1. Observa-se que o leito de secagem é a tecnologia mais utilizada, presente em 43% das ETEs analisadas. Esse método consiste em um processo natural de desaguamento, com a finalidade de remover a umidade e reduzir o volume do lodo antes de sua destinação final [11].

Já a centrífuga, utilizada em 36% das unidades, promove o desaguamento de forma mecânica, com o mesmo objetivo de redução volumétrica [11]. Para as seis ETEs sem informação, que correspondem a 21% da amostra, não há registros no Sistema SOL sobre a tecnologia de desidratação adotada.

Tabela 1 – Tecnologia de desaguamento de lodo adotado nas ETEs.

Desidratação do lodo na ETE	Número de ETEs	%
Centrífuga	10	36
Leitos de secagem	12	43
Não informado	6	21

Cabe ressaltar que, entre as seis ETEs para as quais não há, nos processos de licenciamento disponíveis no Sistema Sol, informações sobre o tratamento e/ou desidratação do lodo, duas utilizam sistemas compostos por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio (fossa-filtro), que normalmente não possuem unidade de tratamento de lodo *in loco*. Nesses casos, a remoção do lodo é realizada por caminhão limpa-fossa, sendo posteriormente destinado fora da unidade.

Outras duas ETEs que não possuem informações nos processos de licenciamento ambiental sobre a solução adotada para o lodo gerado no tratamento, adotam sistemas baseados em lagoas. De acordo com Andreoli et al. (2001) [4], nesses sistemas a remoção do lodo pode ocorrer após vários anos de operação, o que justifica a ausência de dados sobre o seu gerenciamento no Sistema SOL.

As duas ETEs restantes, também sem informações sobre o desaguamento do lodo, operam com sistemas de lodos ativados em batelada. Conforme consta no processo de licenciamento ambiental de uma dessas estações, não há geração significativa de lodo nesse sistema, sendo a maior parte recirculada no processo, o que explicaria a inexistência de registros de destinação durante o período analisado.

A baixa geração de lodo em alguns sistemas, refletida na ausência de registros de destinação final em 2024, pode também ser atribuída ao fato de que muitas estações operam com vazões significativamente inferiores às projetadas, em razão do baixo índice de conexões ao sistema.

Essa condição é evidenciada nos processos de licenciamento ambiental disponíveis no Sistema SOL.

Outro fator que pode impactar nos resultados obtidos são os diferentes níveis de carga hidráulica e orgânica das estações, o que influencia diretamente na geração de lodo. Muitas operam abaixo da capacidade projetada devido ao baixo índice de conexões à rede coletora de esgoto.

Das 28 ETEs avaliadas, apenas 8 realizaram a destinação final do lodo gerado ao longo do ano de 2024, conforme apresentado na Tabela 2. Dentre essas, seis encaminharam o lodo para aterros sanitários. Os dados demonstram que o envio a aterro segue como prática predominante na região, apesar das diretrizes da PNRS priorizarem a valorização do resíduo.

Tabela 2 – Volume de lodo destinado e destinação adotada.

ETE	Volume destinado (ton/ano)	Destinação lodo
1	6,25	Processamento para fabricação de fertilizante orgânico
2	350,00	Compostagem
3	77,01	Aterro Sanitário
4	1.716,59	Aterro Sanitário
5	814,73	Aterro Sanitário
6	63,00	Aterro Sanitário
7	12,00	Aterro Sanitário
8	17,75	Aterro Sanitário
Total	3.057,38	

Na Tabela 3, observa-se a distribuição percentual das diferentes formas de destinação final adotadas pelas ETEs da Região Metropolitana de Porto Alegre que realizaram a destinação final do lodo e geraram o Manifesto de Transporte de Resíduos ao longo de 2024.

Tabela 3 – Percentual de cada destinação do lodo da ETE.

Destinação lodo	Percentual em relação ao total destinado (%)
Aterro Sanitário	88,86
Compostagem	11,51
Processamento para fabricação de fertilizante orgânico	0,21

Constata-se que a disposição em aterros sanitários continua sendo a técnica amplamente predominante, representando aproximadamente 89% da massa de lodo destinada. Tal prática contraria as diretrizes da PNRS, que estabelecem a valorização dos resíduos como prioridade, inclusive para resíduos orgânicos como o lodo de ETE.

A elevada taxa de destinação do lodo de ETE para aterros sanitários identificada neste estudo deixa de observar as orientações contidas nos Artigos 6º e 7º da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a PNRS, que, ao contemplar o ciclo de vida dos produtos, estabelece como prioridade a valorização dos resíduos como matéria-prima em outros processos produtivos. A disposição em aterros, além de representar um custo elevado para os prestadores de serviço — envolvendo transporte, taxas de aterramento e operação — impõe riscos ambientais significativos, como a geração de lixiviado e gases de efeito estufa, além da ocupação de áreas cada vez mais escassas para esse tipo de uso e da consequente diminuição da vida útil dos aterros [12].

Adicionalmente, o descarte em aterros inviabiliza a recuperação de nutrientes e matéria orgânica presentes no lodo, desperdiçando um recurso que poderia ser aproveitado de forma benéfica na agricultura ou em processos industriais. A disposição de lodo em aterros pode representar até 50% dos custos operacionais totais de uma ETE, sendo, portanto, uma alternativa onerosa e ambientalmente desfavorável [13].

O envio de um resíduo com alta carga orgânica aos aterros urbanos agrava os desafios de gestão, intensificando a emissão de odores — decorrentes do grau de estabilização do lodo — e aumentando significativamente a geração de lixiviados, mesmo após o processo de desidratação, uma vez que o lodo ainda pode apresentar alto teor de umidade [12]. Observa-se ainda o incremento na produção de gases de efeito estufa e a necessidade de implementar rotinas operacionais específicas, como a mistura do lodo aos rejeitos antes da compactação das células e a cobertura controlada para evitar acúmulos e instabilidades estruturais [12].

Nesse contexto, a PNRS propõe uma hierarquia para o gerenciamento de resíduos, conhecida como os “5 Rs”: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento, sendo a disposição final em aterros considerada a última e menos desejável alternativa. Essa abordagem visa promover o uso sustentável dos recursos naturais, incentivar a economia circular e minimizar os impactos ambientais decorrentes do manejo dos resíduos sólidos, inclusive o lodo de ETE.

Diante desse cenário, destaca-se a importância de buscar alternativas viáveis para a destinação adequada do lodo de ETE. Considerando sua composição biológica e os riscos sanitários envolvidos, o lodo tem sido avaliado principalmente como condicionante para aplicação em solos agrícolas. Outras possibilidades em fase de pesquisa e desenvolvimento incluem a compostagem, o controle de erosão do solo, a fabricação de materiais de construção, a pavimentação de estradas, o uso como cobertura de aterros sanitários e a recuperação de áreas degradadas [14].

A predominância da disposição do lodo em aterros sanitários, evidenciada neste estudo, reforça a urgência de promover alternativas de destinação mais compatíveis com os princípios da PNRS. O lodo de ETE, também denominado bioassólido, apresenta potencial de reaproveitamento que pode ser explorado de forma ambientalmente segura e economicamente vantajosa. Segundo levantamento de Castro et al. (2015) [15], a maior parte das publicações técnico-científicas brasileiras entre 2004 e 2014 apontam para o uso agrícola do lodo, especialmente em cultivos como o milho e na recuperação de áreas degradadas.

Estudos mais recentes confirmam a continuidade dessa tendência. Ao avaliar a aplicação de lodo tratado em cultivos agrícolas no município de Igaci (AL), foram constatadas melhorias nas características do solo e nos indicadores agronômicos das culturas analisadas, reforçando a viabilidade da prática [16]. Complementarmente, Silva et al. (2022) [5] analisaram o potencial econômico do uso agrícola do lodo e concluíram que essa destinação pode representar alternativa vantajosa frente aos custos elevados da disposição final em aterros sanitários, especialmente para ETEs de pequeno e médio porte.

O lodo apresenta composição físico-química compatível com diversas rotas de valorização, como o uso agrícola, energético ou como insumo industrial, ampliando seu potencial dentro de estratégias de economia circular e de gestão integrada de resíduos sólidos [17].

Albarelo e De Araujo (2024) [18], ao avaliarem o uso de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) como biofertilizante agrícola, destacaram sua viabilidade como alternativa sustentável à adubação convencional, desde que observadas as normas técnicas e sanitárias vigentes. As autoras apontam que, além de ser rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, o lodo pode melhorar propriedades físico-químicas do solo, contribuir para a economia circular e reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos. No entanto, alertam para os riscos associados à presença de patógenos e metais pesados, o que exige rigorosos critérios de controle de qualidade e regulamentação para garantir a segurança da prática.

Embora ainda incipientes, também se destacam vertentes de pesquisa voltadas ao uso do lodo para a fabricação de artefatos cerâmicos, materiais de construção civil e até mesmo para a geração de energia, representando cerca de 8% das iniciativas científicas mapeadas no período [15].

Silva et al. (2021) [19], ao realizarem uma revisão sistemática sobre a aplicação de lodo de ETE na produção de tijolos cerâmicos, identificaram que a substituição parcial da argila por esse resíduo é tecnicamente viável, desde que respeitados os limites normativos para características como absorção de água, resistência à compressão e lixiviação de metais pesados. Os autores destacam que a composição química semelhante entre lodo e argila, principalmente em relação aos teores de sílica, alumina e óxido de ferro, favorece essa aplicação, contribuindo para a reciclagem de resíduos e a sustentabilidade no setor da construção civil.

Segundo Chow et al (2020) [20], o lodo de ETE apresenta considerável potencial energético, uma vez que sua fração orgânica pode ser convertida em biogás por meio de processos de digestão

anaeróbia. Os sistemas de reatores anaeróbios operados com lodo de esgoto possibilitam a produção de metano com elevada eficiência, contribuindo não apenas para o aproveitamento energético, mas também para a estabilização do resíduo e a mitigação de impactos ambientais. Dessa forma, a valorização energética do lodo surge como uma alternativa promissora no contexto da gestão integrada de resíduos e da sustentabilidade no setor de saneamento.

Oladejo et al. (2019) [21], ao analisarem o potencial energético do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto, destacaram que este resíduo apresenta características favoráveis à recuperação energética, especialmente por meio da digestão anaeróbia, incineração e pirólise. Os autores ressaltam que a valorização energética do lodo contribui para a redução do volume destinado a aterros e para a sustentabilidade dos sistemas de saneamento.

Os autores concluíram que a aplicabilidade dos processos térmicos depende da quantidade de lodo gerado e das especificidades locacionais, sendo mais vantajosa ETEs de maior porte, onde os custos com transporte e destinação final são elevados. Destacam que a combustão é a tecnologia térmica com maior avanço e simplicidade operacional, podendo ser aplicada em ETEs de diferentes tamanhos. Tecnologias como a pirólise e a gaseificação têm apresentado avanços, embora sua aplicação comercial ainda seja limitada [21].

No Brasil, algumas companhias estaduais vêm se destacando na adoção de práticas sustentáveis para o gerenciamento do lodo. A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), no Paraná, implementa a aplicação agrícola como destinação prioritária, com produção de adubo Classe A, conforme os parâmetros da Resolução CONAMA nº 375/2006 [22]. O material é doado a agricultores, especialmente na Região Metropolitana de Curitiba, promovendo a recuperação do solo e a redução dos custos com disposição final [23].

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) também avançou nesse campo. Em 2018, a empresa recebeu autorização do Ministério da Agricultura para produzir e comercializar um fertilizante natural derivado do lodo tratado, denominado Sabesfértil [24]. Após o desaguamento, o lodo passa por processos de higienização e estabilização, sendo então armazenado, separado em lotes e caracterizado quanto ao seu potencial agronômico. O produto final apresenta alto teor de nitrogênio e fósforo, com propriedades que favorecem a estrutura e fertilidade do solo, como a retenção de água e a capacidade de troca catiônica. Seu uso contribui com a economia circular e reduz a necessidade de destinação em aterros sanitários [25].

Cabe destacar que, com a meta de universalização dos serviços de saneamento básico — que prevê o atendimento de, no mínimo, 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 [7] —, projeta-se um aumento expressivo na geração de lodo. Considerando que o lodo representa de 1 a 2% do volume total de esgoto tratado, e que o Rio Grande do Sul apresentava, em 2022, um índice de atendimento total de esgotamento sanitário de apenas 49,7% [26], a ampliação da cobertura dos serviços resultará em crescimento significativo na produção desse resíduo. Tal cenário reforça a urgência de se planejar soluções para a destinação final ambientalmente adequada do lodo gerado, evitando a sobrecarga dos aterros e promovendo alternativas sustentáveis de reaproveitamento.

A ampliação da cobertura dos serviços de esgotamento sanitário nos próximos anos exigirá soluções estruturadas e integradas para o gerenciamento do lodo gerado. Uma possibilidade é a implementação de polos regionais de valorização do lodo, com unidades de compostagem ou centrais de secagem e estabilização, especialmente em regiões com municípios de pequeno porte e baixa geração individual de resíduos.

A estruturação de consórcios intermunicipais também se apresenta como estratégia relevante, permitindo ganhos de escala para o investimento em tecnologias de valorização e no compartilhamento de infraestrutura. Essa abordagem é compatível com as diretrizes de gestão integrada de resíduos sólidos previstas na PNRS e já vem sendo adotada em outras tipologias de resíduos, como evidenciado no Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Ouro Preto/MG [27] e no Relatório de Modelagem de Projetos de RSU em Arranjos Regionais do PPI [28], que destacam os benefícios da gestão consorciada, como a redução de custos, o fortalecimento institucional e a otimização logística.

Além disso, a criação de incentivos fiscais e regulatórios, aliada à capacitação técnica dos operadores e à atualização dos instrumentos de planejamento, como os Planos Municipais de Saneamento Básico e os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, pode fomentar

significativamente a destinação sustentável do lodo. Tais mecanismos estão previstos na própria PNRS como instrumentos de incentivo à adoção de práticas mais sustentáveis.

A aproximação entre os órgãos de controle ambiental, os prestadores de serviço e o setor agrícola é fundamental para o desenvolvimento de soluções territorialmente adequadas. Casos como o da cidade de Jundiaí/SP, que realiza a compostagem termofílica do lodo de esgoto misturado a resíduos orgânicos, com posterior uso na agricultura, evidenciam o potencial de parcerias para a valorização do lodo como fertilizante. A estação também é responsável pelo tratamento de lodos de municípios vizinhos, além de resíduos de empresas privadas [29, 30]. Da mesma forma, experiências como a da SABESP com o Sabesfértil e da SANEPAR com o fertilizante Classe A demonstram que o lodo pode ser incorporado à cadeia produtiva, promovendo a economia circular e a redução do envio aos aterros [31, 32].

4. CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que, entre as 28 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) avaliadas na Região Metropolitana de Porto Alegre, apenas 8 realizaram a destinação final do lodo gerado com a emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos ao longo do ano de 2024. Dentre essas, a prática predominante foi a disposição em aterros sanitários, que correspondeu a aproximadamente 89% do volume total destinado. Essa abordagem, embora ainda amplamente adotada, contraria os princípios da PNRS, que prioriza a valorização dos resíduos e a minimização do descarte em aterros.

A elevada taxa de destinação de lodo em aterros revela um modelo ainda centrado em soluções de fim de tubo, com altos custos operacionais e impactos ambientais relevantes, como a geração de lixiviados, emissão de gases de efeito estufa e desperdício de nutrientes. O lodo de ETE, quando adequadamente tratado, apresenta potencial para diversas formas de reaproveitamento, como insumo agrícola, matéria-prima na fabricação de materiais de construção, fonte energética ou cobertura de aterros sanitários. Essas alternativas, identificadas em diferentes estágios de implantação e desenvolvimento no país, demonstram viabilidade técnica e ambiental, desde que acompanhadas de controle sanitário e inseridas em um modelo de gestão integrado e sustentável.

Considerando a meta de universalização dos serviços de esgotamento sanitário até 2033, prevista no Novo Marco Legal do Saneamento (Lei Federal nº 14.026/2020), projeta-se um aumento significativo na geração de lodo de ETE em todo o estado do Rio Grande do Sul. Esse cenário exige a estruturação de medidas técnicas, operacionais e institucionais para garantir a gestão adequada desse resíduo, de forma a evitar a sobrecarga dos aterros sanitários e mitigar impactos ambientais associados à disposição final inadequada.

Planejar desde já soluções sustentáveis para o lodo é essencial para acompanhar a expansão dos sistemas de esgoto e assegurar que os avanços na cobertura não sejam comprometidos por gargalos na etapa final do tratamento. A valorização do lodo deve, portanto, ser tratada como parte indissociável da política de saneamento, integrando planejamento, regulação, financiamento e educação ambiental.

Dessa forma, recomenda-se a ampliação de políticas públicas voltadas à destinação sustentável do lodo de ETE, incluindo incentivos para parcerias com o setor agrícola, capacitação de operadores, regulamentações específicas e melhorias nos instrumentos de planejamento e controle ambiental. A criação de polos regionais de tratamento, a estruturação de consórcios intermunicipais e o fomento à pesquisa aplicada podem contribuir para transformar o atual cenário, alinhando a prática regional aos princípios da economia circular, da sustentabilidade e da responsabilidade compartilhada, conforme previsto na PNRS.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço

ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Também agradecemos à FEPAM pela disponibilização dos dados dos processos de licenciamento ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nguyen TKL, Ngo HH, Guo W, et al. Contribution of the construction phase to environmental impacts of the wastewater treatment plant. *Sci Total Environ.* 2020;743:140658.
2. García-Delgado M, Rodríguez-Cruz MS, Lorenzo LF, et al. Seasonal and time variability of heavy metal content and of its chemical forms in sewage sludges from different wastewater treatment plants. *Sci Total Environ.* 2007;382(1):82-92.
3. Albarello LA, Araujo JÁ. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto em adubagem agrícola e florestal: uma revisão narrativa. *Cadernos UniFOA.* 2024;19(54):1-10.
4. Andreoli CV, Fernandes F, Von Sperling M. Princípios do tratamento biológico de águas residuais: lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte (MG): UFMG; 2001.
5. Silva LAC, Faria BR, Lopes WFA. Avaliação econômica do potencial de uso de lodo de esgoto em solos após higienização via estabilização alcalina. *R Bras Planej Desenv.* 2022;11(3):822-43.
6. Martins SF, Esperancini MST, Quintana, NRGQ, et al. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para fins agrícolas na Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu-SP. *Energia na Agricultura.* 2021;36(2):218-29.
7. Brasil. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 15 jul 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.
8. Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 03 ago 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.
9. Bhada Tata P, Hoornweg D. What a waste: a global review of solid waste management. Washington (DC): World Bank; 2012 [citado em 20 jul 2025]. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>.
10. Rio Grande do Sul. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). Resolução nº 372, de 20 de dezembro de 2018. Dispõe sobre os procedimentos para licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: Diário Oficial do Estado, 22 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes>.
11. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte (MG): Editora UFMG; 2014.
12. Bringhenti DF, Boscov MEG, Piveli RP, et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. *Eng Sanit Ambient.* 2018;23(5):891-9. doi: 10.1590/S1413-41522018124980
13. Appels L, Baeyens J, Degrève J, et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science.* 2008;34(6):755-81. doi: 10.1016/j.pecs.2008.06.002
14. Diniz MAOM, Melo DCP. Potencial aproveitamento de lodo de ETE na construção civil em Recife/PE. *Rev Iberoam Ciências Ambientais.* 2019;10(5):187-203. doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0017
15. Castro ALFG, Silva OR, Scalize PS. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. *Multi-Sci J.* 2015;1(2):66-73.
16. Lins TC, Lima AST. Lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola no município de Igaci - AL. *Res Soc Devel.* 2022;11(8):e13511830461. doi: 10.33448/rsd-v11i8.30461
17. Smol M. Circular Economy in wastewater treatment plant – water, energy and raw materials recovery. *Energies.* 2023;16:3911. doi: 10.3390/en16093911
18. Albarello LA, De Araujo JA. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto em adubagem agrícola e florestal: uma revisão narrativa. *Cadernos UniFOA.* 2024;19(54):1-10. doi: 10.47385/cadunifoa.v19.n54.4892
19. Silva JDSS, Lopes RL, Torres DM, et al. Uso do lodo de ETE na produção de tijolos cerâmicos: uma revisão sistemática de literatura. *Res Soc Develop.* 2021;10(8):e22010817200. doi: 10.33448/rsd-v10i8.17200
20. Chow WL, Chong S, Lim JW, et al. Anaerobic co-digestion of wastewater sludge: A Review of potential co-substrates and operating factors for improved methane yield. *Processes.* 2020;8(1):39. doi: 10.3390/pr8010039

21. Oladejo O, Shi K, Luo X, et al. A review of sludge-to-energy recovery methods. *Energy*. 2019;12(1):60. doi: 10.3390/en12010060
22. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2006. Disponível em: <https://share.google/wWWkmJXTJBQ5O2TMi>.
23. Bittencourt S, Aisse MM, Serrat BM. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. *Eng Sanit Ambient*. 2017;22(6):1129-39. doi: 10.1590/S1413-41522017156260
24. Sabesfertil. O uso do biossólido na agricultura – Manual de utilização do produto. In: Tsutiya MT, Comparini JB, Além Sobrinho P, et al. Biossólidos na Agricultura. São Paulo: SABESP; 2001.
25. Gonçalves DB, Mo MPG. Disposição final de lodo de esgoto: proposição para auxílio em tomadas de decisão a partir de uma revisão de literatura. *Rev AIDIS Ing Cienc Ambient*. 2021;14(1):90-106.
26. Brasil. Ministério das Cidades. Painel de informações sobre o SNIS – Esgotamento sanitário [Internet]. Brasília (DF): Governo Federal; 2025 [citado em 27 maio 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>.
27. Ouro Preto (MG). Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PIGIRS: Proposição de modelo para o sistema intermunicipal de gestão consorciada. Ouro Preto (MG): Prefeitura Municipal de Ouro Preto; 2021. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PIGIRS/p8-proposicao-de-modelo-para-o-sistema-intermunicipal-de-gestao-consorciada.pdf>.
28. Brasil. Relatório de modelagem de projetos de manejo de resíduos sólidos urbanos em arranjos regionais. Brasília (DF): Ministério da Economia, Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos – PPI; 2023. Disponível em: <https://ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/Relatorio-E2%80%93-Modelagem-de-Projetos-de-Manejo-de-RSU-em-Arranjos-Regionais-1.pdf>.
29. Prefeitura de Jundiaí (SP) [Internet]. Em Jundiaí, lodo de esgoto é transformado em fertilizante e empregado na agricultura; 2021 [acesso em 11 out 2025]. Disponível em: <https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2021/09/14/em-jundiai-lodo-de-esgoto-e-transformado-em-fertilizante/>.
30. Consórcio Intermunicipal das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Consórcio PCJ) [Internet]. Lodos de ETEs ganham nova destinação nas Bacias PCJ. Piracicaba (SP); 08 abr 2020 [acesso em 11 out 2025]. Disponível em: <https://agua.org.br/noticias/lodos-de-etes-ganham-nova-destinacao-nas-bacias-pcj/>.
31. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Relatório de Sustentabilidade 2021. São Paulo: SABESP; 2022 [citado em 8 fev 2026]. Disponível em: https://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioambiente/relatorios_sustentabilidade/Sabesp_Relatorio_Sustentabilidade_2021.pdf
32. Bittencourt S, Serrat Bm, Aisse MM. Parâmetros agronômicos e inorgânicos de lodo de esgoto: estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba (PR). *Rev DAE*. 2017;207:50-61. doi: 10.4322/dae.2016.034