

I-1220 - POTENCIALIDADE DO USO DO LODO DE ETAs EM ÁREAS DEGRADADAS NAS AIPMs DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz⁽¹⁾

Engenheira civil com ênfase em Sanitária e Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo PEAMB/UERJ, Assistente de Gestão de Projetos da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE)

Izabelle de Jesus Almeida dos Santos⁽²⁾

Graduanda em Engenharia de Produção pela Instituto Brasileiro de Medicina de Reabilitação (IBMR), Estagiária do Departamento do Planejamento Estratégico da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

Marcos Rosalvo da Costa Santos Cajão⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Cruzeiro do Sul Educacional, Estagiário do Departamento de Orçamento de Obras e Projetos da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

André Alcântara de Faria⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo PEAMB/UERJ e Doutorando em Engenharia Ambiental e Sanitária no DEAMB/UERJ.

Paulo Henrique Pereira Reis⁽⁵⁾

Engenheiro Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Gerente de Responsabilidade Socioambiental da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

Endereço⁽¹⁾: Av. Presidente Vargas, 2655 - Bairro – Cidade Nova – Rio de Janeiro - CEP: 20210-030 - Brasil
- Tel: +55 (21) 98005-7544 - e-mail: cruz.c.l.b.m@gmail.com.

RESUMO

O presente estudo analisou a viabilidade econômica da utilização do lodo gerado pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) Guandu e Laranjal, no estado do Rio de Janeiro, para a recuperação de áreas degradadas, em comparação à disposição em aterros sanitários licenciados. Com base em análises operacionais realizadas pela concessionária, bem como na experiência acumulada na operação da ETA, estimou-se que aproximadamente 0,01% da vazão de água tratada é convertida em lodo ao final da unidade de tratamento de resíduos, foi calculada uma produção diária conjunta de 432 m³.

A análise espacial identificou áreas degradadas num raio de até 50 km das ETAs, muitas das quais estão em regiões com alta prioridade de restauração ambiental, especialmente nas Regiões Hidrográficas II e V. A sobreposição entre as zonas de influência das ETAs reforça o potencial logístico dessa alternativa.

Quanto aos custos, a destinação do lodo para aterros sanitários foi estimada em R\$ 15 milhões/ano para a ETA Guandu e R\$ 1,9 milhões/ano para a ETA Laranjal. A aplicação em áreas degradadas apresentou custos de R\$ 11,5 milhões e R\$ 1,8 milhões, respectivamente. A economia anual total seria de R\$ 3,5 milhões, representando uma redução de 21% nos custos operacionais.

Além da economia, a proposta está em consonância com as diretrizes ESG e a legislação ambiental, ao promover a recuperação de ecossistemas. Contudo, destaca-se a necessidade de estudos complementares sobre as características físico-químicas do lodo e aspectos operacionais das ETAs, visando garantir segurança e eficácia na aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Área Degradada, Lodo, ETA, AIPM

INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos gerados pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) constitui um dos desafios mais significativos enfrentados por empresas e instituições comprometidas com a preservação ambiental. Entre esses resíduos, destaca-se o lodo de ETA, um subproduto inevitável dos processos de tratamento. O manejo inadequado desse resíduo pode acarretar sérios impactos ambientais, incluindo a contaminação de solos e corpos hídricos, além de representar riscos à saúde pública (CRUZ, 2022).

O lodo proveniente das Estações de Tratamento de Água (ETA) possui a água como seu principal constituinte. Por se apresentar nas formas sólida ou semissólida, é classificado como resíduo sólido, conforme estabelece a NBR 10.004/2004 (ABNT, 2024). Nesse contexto, o gerenciamento do lodo de ETA deve estar em conformidade com a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e estabelece, como ordem de prioridade, a reutilização, a reciclagem e a redução do encaminhamento de resíduos aos aterros sanitários (BRASIL, 2010). Andreoli (2013) ressalta a importância da gestão adequada desse resíduo, considerando-a essencial para a proteção ambiental e para a promoção da saúde pública. Dessa forma, estudos voltados ao uso benéfico do lodo tornam-se de grande relevância no contexto socioambiental. Dentre as diversas pesquisas voltadas ao aproveitamento do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água, destaca-se o seu potencial como recurso promissor na recuperação de áreas degradadas (TSUTIYA e HIRATA, 2001; MOREIRA, 2009; TEIXEIRA, 2005). Em função de suas propriedades físico-químicas, esse resíduo pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo, para o aumento da sua fertilidade e no favorecimento do desenvolvimento de vegetação em locais onde os processos de regeneração natural seriam limitados ou inviáveis. Segundo a EMBRAPA (2022), o lodo possui o potencial de incrementar a matéria orgânica e sua aplicação pode aumentar a capacidade de retenção de água e a disponibilidade de nutrientes em solos mais frágeis.

Considerando esse potencial de uso, a aplicação do lodo em solos, especialmente com fins de recuperação ambiental, deve ser respaldada por normas ambientais rigorosas que garantem a segurança tanto ecológica quanto sanitária, porém normas para essa finalidade ainda não estão estruturadas no Brasil, diferente do lodo de esgoto, onde a Resolução CONAMA nº 498/2020 (BRASIL, 2020) estabelece critérios e parâmetros específicos para sua utilização, com foco no controle de elementos potencialmente tóxicos, como os metais pesados, garantindo que suas concentrações permaneçam dentro de limites seguros para o meio ambiente e a saúde pública. Embora ainda não existam regulamentações específicas que tratem diretamente da aplicação do lodo de ETA em solos, alguns estudos têm utilizado essa normativa como referência. Morselli (2022), por exemplo, baseou-se na Resolução CONAMA nº 498/2020 para conduzir sua pesquisa intitulada “*Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo*”, evidenciando a viabilidade de adaptação dos critérios já existentes à realidade desse tipo específico de resíduo.

Além da viabilidade técnica, o reaproveitamento do lodo de ETA também se alinha aos princípios da política ESG (Ambiental, Social e de Governança), cada vez mais valorizada nas estratégias institucionais e corporativas. Do ponto de vista ambiental, essa prática contribui para a redução da disposição inadequada de resíduos e para a recuperação de áreas degradadas. No aspecto econômico, representa uma alternativa vantajosa para as companhias de saneamento, ao reduzir os custos associados ao transporte e à destinação final em aterros sanitários. Socialmente, ao promover o uso sustentável de recursos e favorecer práticas de manejo que recuperam o solo e a vegetação, a iniciativa responde à crescente demanda por soluções que minimizem os impactos ambientais das atividades humanas, ao mesmo tempo em que fortalecem o compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos e metodológicos que embasam o uso do lodo de ETA em áreas de proteção e recuperação de mananciais no estado do Rio de Janeiro. A proposta envolve sua viabilidade como insumo para reabilitação de solos degradados. Considera-se, ainda, o potencial dessa prática para promover benefícios ambientais e econômicos, em consonância com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos e com as diretrizes da agenda ESG, contribuindo para soluções sustentáveis no setor de saneamento.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade do reaproveitamento de lodos gerados em Estações de Tratamento de Água como uma alternativa sustentável para recuperação de áreas degradadas localizadas nas Áreas de Interesse para Proteção de Mananciais (AIPMs) no Estado do Rio de Janeiro (ERJ).

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- i. Identificar as Estações de Tratamento de Água (ETAs) de grande porte operadas pela concessionária responsável pelo abastecimento no Estado do Rio de Janeiro (ERJ) e estimar a geração de lodo em cada unidade.
- ii. Identificar as áreas de interesse para a proteção dos mananciais no Estado do Rio de Janeiro (ERJ) e elaborar um mapa que apresente a localização das Estações de Tratamento de Água (ETAs), estabelecendo uma correlação espacial entre essas áreas e as ETAs.
- iii. Calcular as distâncias entre as Estações de Tratamento de Água (ETAs) e as áreas degradadas identificadas, bem como entre as ETAs e os aterros sanitários mais próximos.
- iv. Estimar os custos associados à disposição final do lodo em aterros sanitários e a destinação para as áreas degradadas.
- v. Realizar uma análise econômica sobre a utilização do lodo de Estações de Tratamento de Água (ETAs) na recuperação de áreas degradadas, levando em consideração os custos estimados.

METODOLOGIA

Identificação das Estações de Tratamento de Água

Desde 2021 a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) concentra sua atuação na operação dos grandes sistemas produtores de águas da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ), sendo eles: Guandu-Lameirão, Imunana-Laranjal, Ribeirão das Lajes e Acari. Devido às características dos sistemas, para o escopo dessa pesquisa, foram utilizados apenas o sistema Guandu-Lameirão e Imunana-Laranjal, já que estes sistemas contêm as duas principais ETAs do Estado.

Os sistemas Guandu-Lameirão e Imunana-Laranjal constituem nos dois maiores e mais significativos complexos de abastecimento de água do Rio de Janeiro. Composto pelas Estação de Tratamento de Água do Guandu (ETA Guandu) e Estação de Tratamento de Água do Laranjal (ETA Laranjal), esse conjunto desempenha um papel essencial no fornecimento de água potável para milhões de pessoas na cidade do Rio de Janeiro e em diversos municípios do seu entorno (CEDAE, 2025).

Estação de Tratamento de Água do Guandu

A ETA Guandu, inaugurada em 1955, é propriedade da CEDAE e fornece água potável para cerca de 9 milhões de pessoas em 8 municípios, incluindo o município do Rio de Janeiro (CEDAE, 2024). Ela é responsável por 80% do fornecimento de água na Região Metropolitana da cidade, e está situada em Nova Iguaçu. Considerada uma das maiores obras da engenharia brasileira no século XX, desempenha um papel fundamental para o abastecimento de água da população do ERJ.

Com uma capacidade de 43 mil L/s de vazão contínua, a Estação de Tratamento de Água do Guandu segue um processo convencional de tratamento que inclui etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação, conforme apresentado na Figura 1. Essa estação está no Guinness Book, o Livro dos Recordes, como a maior estação de tratamento de água do mundo em produção contínua.

A ETA Guandu é composta por duas grandes estações: a VETA (Velha Estação de Tratamento de Água) e a NETA (Nova Estação de Tratamento de Água), construídas em décadas diferentes. Os decantadores da VETA são convencionais, com entrada de água na parte superior e remoção periódica das impurezas sedimentadas no fundo. Na NETA, os decantadores são do tipo "colmeia", com fluxo ascendente da água que entra pela parte inferior e retém as impurezas nas colmeias, as quais posteriormente se sedimentam no fundo para remoção periódica.

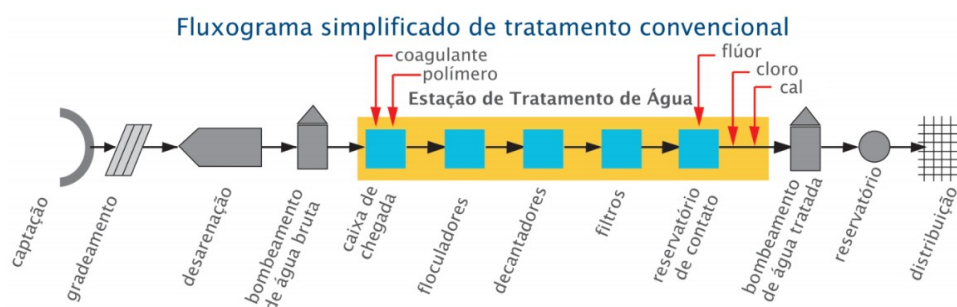


Figura 1: Fluxograma Simplificado de tratamento convencional da ETA Guandu

 Fonte: Imagem Acervo Cedae (2025)

Estação de Tratamento de Água do Laranjal

O Sistema Imunana-Laranjal é composto pelo Canal de Imunana, que capta e leva a água dos rios Guapiaçu e Macacu até a elevatória de água bruta através de um canal no município de Guapimirim, a água é então bombeada até a Estação de Tratamento de Água do Laranjal, conforme apresentado no fluxograma da figura 2. A ETA Laranjal fica no município de São Gonçalo. Ela é um complexo de produção e fornecimento de água potável constituído de três estações interligadas com vazão total de 7 mil L/s, ela tem o processo convencional de tratamento que inclui etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. Os decantadores da ETA Laranjal são do tipo “colmeias” e seguem o mesmo processo que os decantadores da NETA da ETA Guandu.

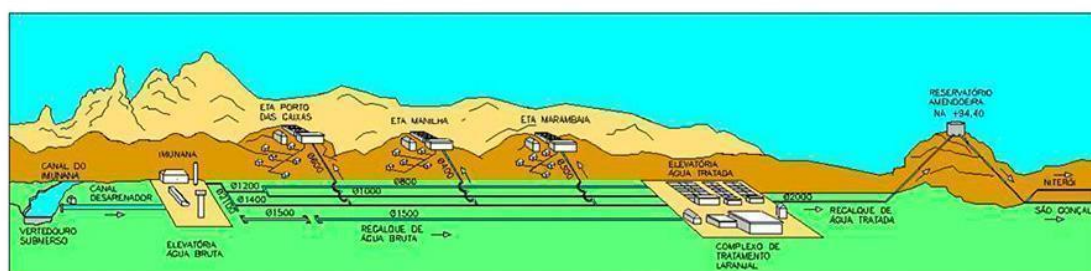


Figura 2: Fluxograma do Sistema Imunana-Laranjal

 Fonte: Imagem Acervo Cedae (2025)

Os lodos que se originam nessas duas estações são formados principalmente pelos sedimentos que se acumulam nos decantadores e, em menor quantidade, pelos resíduos retidos nos filtros de areia de cada unidade.

Estimativa da geração do lodo das ETAs

Segundo Richter (2001), a produção de lodo em Estações de Tratamento de Água (ETAs) do tipo convencional corresponde, em média, a 0,2% a 5% do volume total de água tratada. Considerando a necessidade de destinação adequada, o lodo gerado deve ser submetido a processos de desidratação antes de seu encaminhamento para disposição final em aterros sanitários. Com base em análises operacionais realizadas pela concessionária, bem como na experiência acumulada na operação da ETA, estimou-se que aproximadamente 0,01% da vazão de água tratada é convertida em lodo ao final da unidade de tratamento de resíduos.

A partir desse percentual, foi necessário converter as vazões operacionais das estações para a unidade de metros cúbicos por dia, a fim de viabilizar as estimativas de produção de lodo. Para isso, utilizou-se um procedimento padronizado: inicialmente, as vazões expressas em litros por segundo (L/s) foram convertidas para metros cúbicos por hora (m³/h), utilizando-se o fator 3,6 —tendo em vista que 1 litro corresponde a 0,001 metro cúbico e uma hora contém 3.600 segundos. Posteriormente, esse valor foi multiplicado por 24, correspondendo ao número de horas em um dia, para se obter o volume diário total.

Delimitação das áreas degradadas no ERJ

A seleção das áreas degradadas analisadas neste estudo foi realizada com base na sua proximidade geográfica em relação às Estações de Tratamento de Água (ETAs) selecionadas. Para a delimitação espacial, adotou-se como critério a inclusão de municípios situados total ou parcialmente dentro de um raio de 50 km a partir das ETAs.

Esse procedimento foi operacionalizado por meio do software de geoprocessamento ArcGIS Pro, utilizando-se a ferramenta *Buffer*, que permite a criação de zonas de influência com raio previamente definido em torno de objetos espaciais.

Inicialmente, foi criado um projeto geoespacial contendo arquivos vetoriais (*shapefiles*) com os limites municipais do estado do Rio de Janeiro e a localização georreferenciada das ETAs. A partir da aplicação do *buffer* de 50 km ao redor de cada ETA, identificaram-se os municípios inseridos, integral ou parcialmente, na zona de influência direta das unidades de tratamento. Esses municípios foram considerados nas análises posteriores e estão listados na Tabela 1.

A delimitação das áreas prioritárias foi realizada com base nos dados disponibilizados pelo Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2023), conforme ilustrado na Figura 3 e considerou critérios relacionados ao alto potencial ambiental das regiões e à significativa pressão exercida sobre os mananciais utilizados no abastecimento público de água.

Tabela 1: Municípios de interesse para delimitação das áreas degradadas por ETA

ETA	Municípios
Guandu	Barra do Piraí, Belford Roxo, Duque de Caxias, Eng. Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Magé, Mangaratiba, Mendes, Mesquita, Miguel Pereira, Nilópolis, Nova Iguaçu, Paracambi, Paty do Alferes, Petrópolis, Pinheiral, Piraí, Queimados, Rio Claro, Rio de Janeiro, São João de Meriti, Seropédica e Vassouras.
Laranjal	Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Magé, Maricá, Mesquita, Miguel Pereira, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Petrópolis, Rio Bonito, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Saquarema, Silva Jardim, Tanguá e Teresópolis.

Fonte: Próprio Autor (2025)

Para este estudo, foram selecionadas áreas classificadas como de alta e muito alta prioridade para restauração ambiental, conforme os critérios estabelecidos no próprio Atlas. A escolha dessas áreas foi fundamentada em sua relevância estratégica para a recuperação de ecossistemas e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais à segurança hídrica da região hidrográfica na qual cada ETA pertence.

A ETA Guandu está inserida na Região Hidrográfica II (RH-II), que compreende as bacias dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, segundo especificações do Comitê Guandu (Comitê Guandu, 2025). Em contrapartida, a ETA Laranjal encontra-se na Região Hidrográfica V (RH-V), pertencente à bacia do rio Guapi-Macacu, de acordo com informações do Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (CBH Baía de Guanabara, 2025).

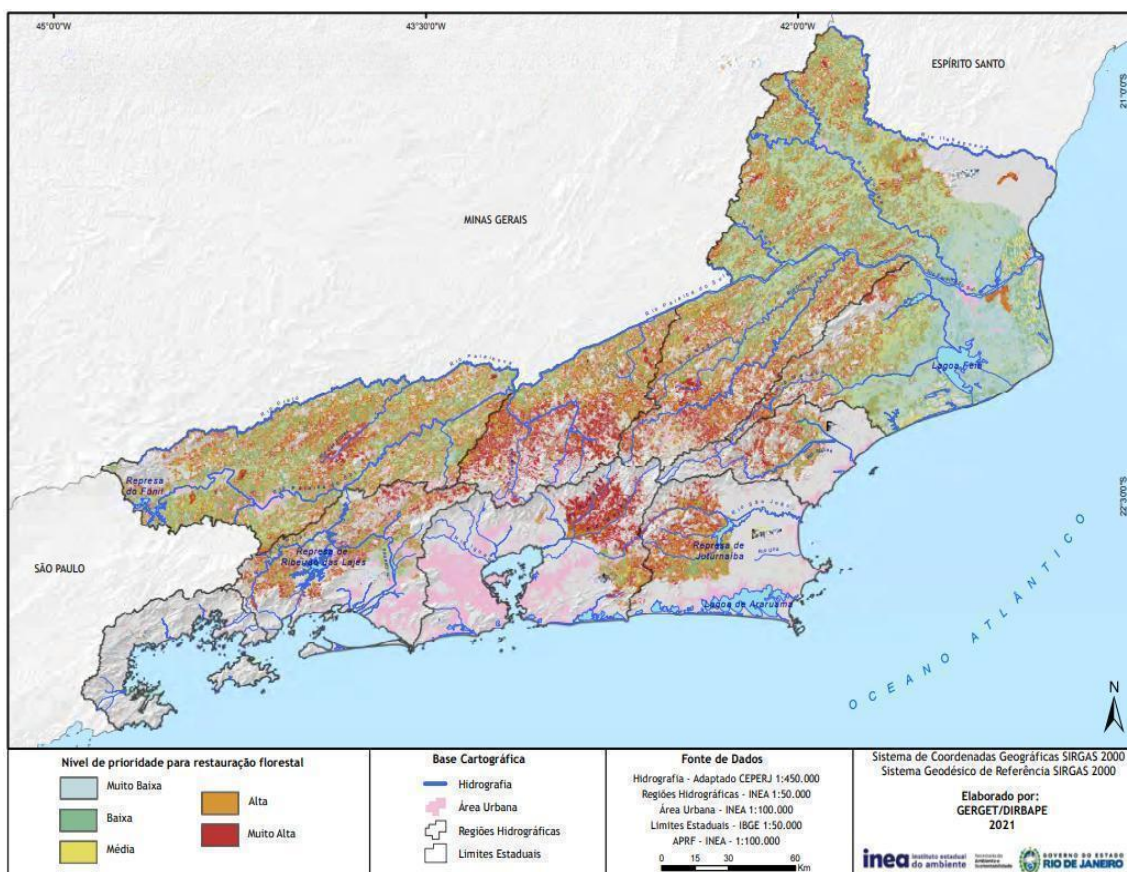


Figura 3: Áreas prioritárias para restauração florestal nas Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais - AIPMs no Estado do Rio de Janeiro

Fonte: Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2023)

Localização dos Aterros Sanitários próximos às ETAs

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) destaca-se como uma das principais geradoras de resíduos sólidos do estado, concentrando os principais aterros sanitários responsáveis pela disposição final desses materiais. Entre os destinos mais relevantes para os resíduos produzidos na RMRJ estão os aterros de Seropédica, Itaboraí, São Gonçalo e Nova Iguaçu, que desempenham papel central na gestão de resíduos da região (VAN ELK; SANTOS; FERREIRA, 2019).

O Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Seropédica, operado pela concessionária Ciclus Ambiental, é o mais próximo da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu, localizado a menos de 20 km de distância. Este centro é reconhecido por sua infraestrutura avançada, incluindo a maior planta de tratamento de chorume com tecnologia de osmose reversa do mundo, atendendo à região metropolitana do Rio de Janeiro (ABREMA, 2020).

Por sua vez, a ETA Laranjal, situada em São Gonçalo, tem como aterro sanitário mais próximo o Ecoparque de São Gonçalo, que recebe resíduos dos municípios de Niterói e São Gonçalo, estando a menos de 10 km de distância (SEAS, 2019).

Distância entre as ETAs, áreas degradadas e aterros sanitários

Para o cálculo dos custos de transporte do lodo até sua destinação final, e considerando que o objetivo deste estudo é estimar esses custos e avaliar a viabilidade econômica da aplicação do lodo de ETA na recuperação de áreas degradadas, adotaram-se, para fins de cálculo, as seguintes distâncias:

- Entre a ETA e a área degradada:** foi considerada a maior distância entre a estação de tratamento de água (ETA) e as áreas degradadas situadas dentro do raio de 50 km (*buffer*) ao redor das ETAs, conforme definido no item de delimitação das áreas degradadas.
- Entre a ETA e o aterro sanitário:** adotou-se a maior distância de trajeto indicada pelo Google Maps, independentemente do tempo estimado de percurso.

Estimativa de custo de disposição final do lodo de ETA em aterro sanitário

Para a estimativa dos custos associados à disposição final do lodo de ETAs em aterros sanitários, foram considerados três componentes principais: a carga do resíduo, o transporte até a unidade receptora e a descarga realizada no local de disposição final.

Os valores utilizados para o cálculo foram obtidos a partir de dados levantados nas etapas preliminares do estudo, complementados por informações fornecidas pela concessionária responsável e por fornecedores de serviços de disposição de resíduos sólidos. Tais informações permitiram a obtenção dos custos praticados pelos aterros sanitários para o recebimento e descarte do lodo.

A quantificação dos custos foi baseada no volume diário de lodo gerado pelas ETAs, convertido em massa por meio da aplicação de um valor de peso específico. Para o cálculo dos custos unitários das etapas de carga e transporte, foram utilizados como referência os valores fornecidos pela Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI), correspondentes ao mês de janeiro de 2025. Já os custos de descarga foram determinados com base em cotações obtidas por meio de pesquisa de mercado, visando garantir representatividade e atualidade dos valores empregados.

Os custos foram estimados a partir das seguintes expressões:

- i. **Custo de Carga** = Peso diário de lodo (t) × Preço unitário da carga (R\$)
- ii. **Custo de Transporte** = Peso diário de lodo (t) × Preço unitário do transporte (R\$/t.km)
- iii. **Custo de Descarga** = Peso diário de lodo (t) × Preço unitário de descarga (R\$)
- iv. **Custo Total Diário** = Custo de Carga + Custo de Transporte + Custo de Descarga
- v. **Custo Anual Estimado** = Custo Total Diário × 365 dias

Considerando que o funcionamento das ETAs ocorre de forma contínua, 24 horas por dia, durante os 365 dias do ano, adotou-se esse número como base para o cálculo do custo anual.

Para a conversão do volume diário de lodo (m³) em massa (t), foi necessário aplicar um valor de peso específico, uma vez que o resultado inicial do dimensionamento do lodo foi obtido em unidades de volume. Devido à indisponibilidade de dados específicos fornecidos pela concessionária quanto ao teor de sólidos do lodo gerado, utilizou-se como referência valores médios encontrados na literatura. Segundo Richter (2001), o peso específico do lodo pode variar entre 1,029 e 1,083 g/cm³, podendo alcançar até 1,5 g/cm³ após a desidratação de lodo com 12% de sólidos. Para este estudo, adotou-se o valor de 1,1 g/cm³ (1,1 ton/m³), por estar em consonância com a literatura e por ser o valor usualmente utilizado pela própria concessionária nos manifestos de resíduos.

Estimativa de custos de destinação do lodo de ETA para área degradada

Por se tratar de um serviço com finalidade ambiental e passível de ser absorvido pela própria concessionária, a disposição do lodo gerado em ETAs em áreas degradadas foi considerada, neste estudo, não foi incluído, nesta análise, o custo referente à disposição final do resíduo. Dessa forma, foram considerados apenas os custos relacionados à carga do lodo nas unidades de tratamento e ao transporte até as áreas destinadas à recuperação.

A metodologia adotada para a estimativa dos custos seguiu os mesmos parâmetros utilizados na avaliação da disposição em aterros sanitários, com a exclusão do item relativo à descarga. As equações aplicadas para a estimativa da destinação em áreas degradadas foram as seguintes:

- i. **Custo de Carga** = Peso diário de lodo (t) × Preço unitário da carga (R\$)
- ii. **Custo de Transporte** = Peso diário de lodo (t) × Preço unitário do transporte (R\$/t.km)
- iii. **Custo Total Diário** = Custo de Carga + Custo de Transporte
- iv. **Custo Anual Estimado** = Custo Total Diário × 365 dias

Para fins de consistência metodológica, o mesmo valor de referência adotado para o peso específico do lodo nas análises anteriores foi mantido nesta etapa. Assim, utilizou-se o valor de 1,1 g/cm³, equivalente a 1,1 t/m³, conforme fundamentado na literatura técnica e nos procedimentos praticados pela concessionária.

Análise da viabilidade econômica da utilização do lodo para recuperação de áreas degradadas.

A análise da viabilidade econômica da aplicação do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETAs) na recuperação de áreas degradadas foi realizada por meio da comparação direta dos custos operacionais envolvidos nesta alternativa com aqueles associados à disposição convencional do resíduo em aterros sanitários.

Inicialmente, foram estimados os custos totais associados às duas alternativas de destinação do lodo: (i) disposição em aterro sanitário e (ii) aplicação em áreas degradadas. Para ambas as rotas, os custos foram decompostos em três componentes: carga do lodo nas ETAs, transporte até o local de destinação e, no caso da disposição em aterros, o custo de descarga cobrado pela unidade receptora. Na alternativa de aplicação em

áreas degradadas, o custo de descarga foi desconsiderado, por tratar-se de uma atividade com finalidade ambiental, passível de ser internalizada pela concessionária ou executada em parceria com programas de recuperação ecológica.

Com base nas estimativas anuais obtidas para cada alternativa, foi calculada a diferença percentual entre os custos totais, a fim de quantificar o ganho ou a perda econômica associada à adoção da alternativa de recuperação ambiental.

A economia ou acréscimo foi expressa em porcentagem, por meio da fórmula:

$$i. \quad \% \text{ de Economia ou Acréscimo} = ((\text{Custo em Aterro} - \text{Custo em Área Degradada}) / \text{Custo em Aterro}) \times 100$$

Essa análise permitiu identificar se a utilização do lodo em áreas degradadas representa uma economia real para a companhia, contribuindo para a tomada de decisões estratégicas voltadas à gestão sustentável de resíduos gerados no processo de tratamento de água.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a seguir foram obtidos com base nas informações coletadas, conforme os procedimentos descritos no capítulo dedicado à metodologia.

Estimativa da geração do lodo

Para o cálculo diário estimado da geração de lodo nas ETAs Guandu e Laranjal, inicialmente foi realizado o dimensionamento da vazão diária de água tratada com base nas respectivas capacidades operacionais. A ETA Guandu opera com uma vazão de 43.000 L/s, o que corresponde a um volume diário de aproximadamente 3.715.200 m³ de água tratada. Já a ETA Laranjal, com uma vazão de 7.000 L/s, apresenta uma produção diária estimada de 604.800 m³ de água tratada.

Com base em análises operacionais realizadas pela concessionária, bem como na experiência acumulada na operação da ETA, estimou-se que aproximadamente 0,01% da vazão de água tratada é convertida em lodo ao final da unidade de tratamento de resíduos, foi possível estimar a geração diária desse resíduo em ambas as unidades. Aplicando-se esses percentuais, obteve-se uma produção de 372 m³ de lodo por dia na ETA Guandu e 60 m³ por dia na ETA Laranjal, totalizando uma geração conjunta de 432 m³ de lodo por dia. A Tabela 2 apresenta de forma consolidada esses dados.

Tabela 2: Estimativa de produção diária de água tratada e geração de lodo nas ETAs

Estação de Tratamento	Vazão (L/s)	Produção diária de água tratada (m³/dia)	Percentual de geração de lodo (%)	Geração estimada de lodo (m³/dia)
ETA Guandu	43.000	3.715.200	0,01	372
ETA Laranjal	7.000	604.800	0,01	60
Total	—	4.320.000	—	432

Fonte: Próprio autor, 2025.

Importa ressaltar que os valores apresentados consistem em estimativas teóricas utilizadas para fins de planejamento preliminar. Na realidade operacional, diversos fatores podem influenciar significativamente a geração de lodo, como as características da água bruta (incluindo turbidez e composição físico-química), a eficiência dos processos de coagulação e floculação, além do tipo e da dosagem dos produtos químicos empregados no tratamento. Tais variáveis podem resultar em variações substanciais nos volumes efetivos de lodo gerado, reforçando a importância de monitoramento contínuo e ajustes operacionais conforme as condições específicas de cada estação.

Delimitação das áreas degradadas

As áreas degradadas consideradas neste estudo correspondem aos municípios localizados totais ou parcialmente dentro de um raio de 50 km a partir das Estações de Tratamento de Água Guandu e Laranjal. A delimitação espacial dessas áreas está ilustrada no mapa apresentado na Figura 4.

A análise espacial revelou que uma parcela significativa das AIPMs localizadas na Região Hidrográfica II está inserida na zona de influência da ETA Guandu. De maneira semelhante, grande parte das AIPMs da Região Hidrográfica V está compreendida dentro da área delimitada pela ETA Laranjal.

Além disso, foi identificada uma pequena zona de sobreposição entre as áreas de influência das ETAs Guandu e Laranjal, envolvendo um número limitado de municípios situados nas regiões entre as duas unidades. Essa interseção territorial revela um potencial estratégico para o aproveitamento integrado do lodo gerado por ambas as ETAs. Dessa forma, os resíduos oriundos tanto da ETA Guandu quanto da ETA Laranjal podem ser direcionados a essas áreas comuns, o que contribui para otimizar a logística de aplicação e ampliar a eficácia das ações de recuperação ambiental.

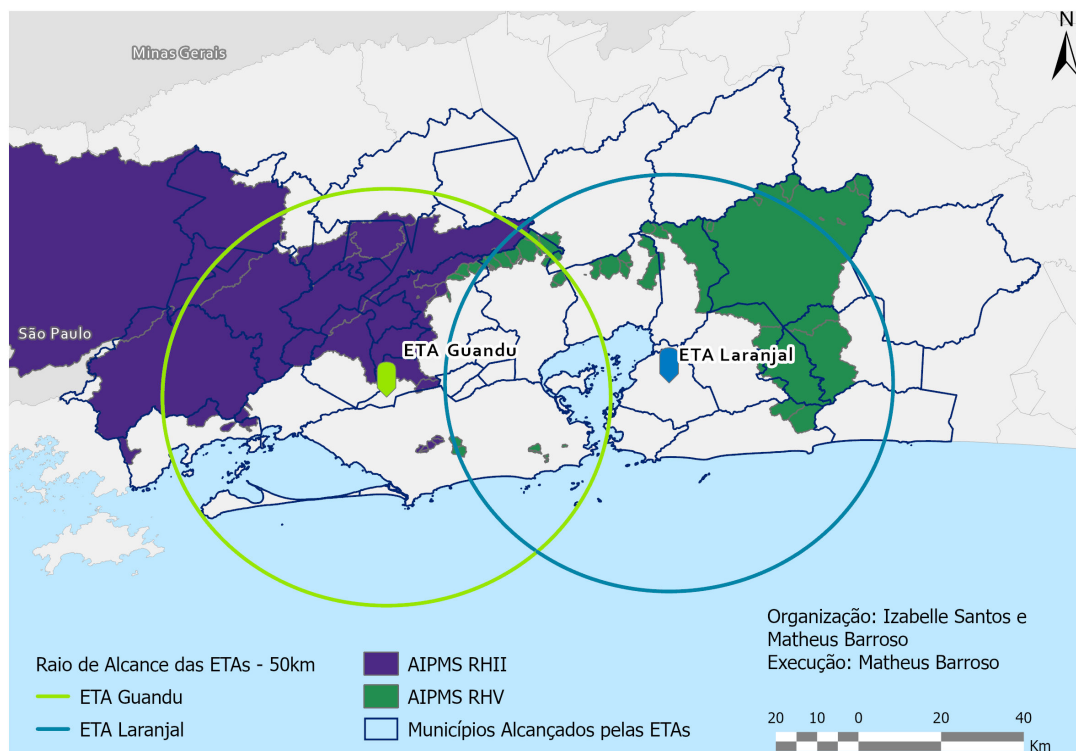


Figura 4: Mapeamento dos municípios de interesse para Áreas Degradadas em relação às ETAs

 Fonte: Próprio autor, 2025.

Analisando o mapa da figura 3, verifica-se que a distribuição espacial dos níveis de prioridade para restauração ambiental apresenta variações significativas entre as distintas Regiões Hidrográficas (RHs) do estado do Rio de Janeiro. Do total de áreas definidas como de interesse para proteção de mananciais, que somam 3.396.446,09 hectares, aproximadamente 2.218.747,10 hectares — o equivalente a 65,3% do total das AIPMs — apresentam algum nível de prioridade para restauração florestal.

A Região Hidrográfica II (RH-II) possui 249.300,3 hectares de áreas de interesse para proteção de mananciais, dos quais 113.896,15 hectares (45,6%) são considerados prioritários para restauração florestal. Desses, 67.757,97 hectares (cerca de 27,18% do total) foram classificados como de alta ou muito alta prioridade. Por sua vez, a Região Hidrográfica V (RH-V), correspondente à Baía de Guanabara, compreende 174.524,88 hectares de AIPMs, sendo que 72.183,49 hectares (41,36%) foram identificados como prioritários para restauração. Dentro desse universo, 61.894,96 hectares se enquadram nas categorias de alta ou muito alta prioridade.

A Tabela 3 foi elaborada com base nesses dados, adaptados do levantamento realizado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2023), no âmbito do estudo sobre os Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 3: Áreas de Interesse para Proteção de Mananciais (AIPMs) e Prioridades para Restauração Florestal nas Regiões Hidrográficas II e V

Região Hidrográfica	Área Total das AIPMs (ha)	Área Prioritária para Restauração Florestal (ha)	Proporção da Área Prioritária (%)	Área de Alta ou Muito Alta Prioridade (ha)	Proporção de Alta ou Muito Alta Prioridade (%)
RH II – Guandu	249.300,30	113.896,15	45,6%	67.757,97	27,18%
RH V – Baía de Guanabara	174.524,88	72.183,49	41,36%	61.894,96	35,46%

Fonte: Adaptado de INEA, 2023

Para delimitar de forma mais precisa as áreas de alta ou muito alta prioridade para restauração florestal que poderão receber o lodo proveniente das Estações de Tratamento de Água (ETAs), será necessário verificar a porcentagem dessas áreas que se encontram dentro do raio de 50 km definido na Figura 4. No entanto, considerando que este estudo tem como foco a análise estimada de custo de transporte e destinação final e da viabilidade econômica da aplicação do lodo de ETA para recuperação de áreas degradadas, optou-se por realizar essa análise espacial detalhada em etapas posteriores.

Distância entre as ETAs e as áreas degradadas definidas

A partir da análise dos municípios de interesse para a delimitação das áreas degradadas, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 4, verifica-se que a maior parte dessas áreas encontra-se contida no raio de 50 km em relação às ETAs Guandu e Laranjal, sendo que uma parcela significativa está situada no limite desse perímetro. Constata-se, portanto, que a maior distância entre as ETAs e as áreas degradadas coincide com a tangência do buffer estabelecido.

Considerando que o propósito desta etapa do estudo consiste na estimativa dos custos de disposição do lodo nessas áreas, bem como na avaliação da viabilidade econômica da referida prática, e dado que a maior distância observada entre as áreas degradadas e as ETAs Guandu e Laranjal corresponde ao limite do buffer adotado, definiu-se, para fins de cálculo, a distância de 50 km para ambas as ETAs.

Distância entre as ETAs e os aterros sanitários definidos

As distâncias entre ETAs e os aterros sanitários foram determinadas com base nas rotas sugeridas pela plataforma Google Maps, considerando as alternativas disponíveis e as condições normais de tráfego.

A ETA Laranjal, situada na Rua José Rosendor de Souza, no bairro Jardim Catarina, em São Gonçalo/RJ, apresenta diferentes possibilidades de trajeto até o Ecoparque São Gonçalo. A rota principal, pela rodovia RJ-104, possui 12,9 km de extensão e tempo estimado de 20 minutos, sendo considerada a mais rápida em condições de trânsito favoráveis. Adicionalmente, foram identificadas duas rotas alternativas: a primeira, com 10,7 km, combina a RJ-104 com a Rua Expedicionário Ari Rauen e apresenta tempo estimado de 22 minutos; a segunda, pela Rua Agostinho Félix Vieira, possui extensão de 9,7 km, porém com tempo de deslocamento ligeiramente superior (24 minutos). As variações entre distância e tempo de percurso estão associadas a fatores como intensidade do tráfego, número de interseções semaforizadas e limitações de velocidade impostas pelas vias.

Para a ETA Guandu, localizada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o trajeto até a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Seropédica compreende 27,3 km, com tempo estimado de 37 minutos. A rota de menor tempo utiliza as vias BR-465 e BR-493, sendo esta considerada a principal via de acesso em condições normais de tráfego.

Para fins de cálculo dos custos logísticos de transporte e destinação final, foram adotadas as distâncias de 27,3 km entre a ETA Guandu e a CTR Seropédica, e de 12,9 km entre a ETA Laranjal e o Ecoparque São Gonçalo.

Estimativa de custo de disposição final do lodo de ETA em aterro sanitário

A análise dos custos de disposição do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água Guandu e Laranjal revela a magnitude dos investimentos necessários para a destinação final desses resíduos em aterros sanitários licenciados. As estimativas foram calculadas com base em valores de referência disponibilizados pela Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) e por meio de cotações realizadas junto a operadores de aterros.

Para a ETA Guandu, localizada em Nova Iguaçu/RJ, o volume diário de lodo foi estimado em 372 m³, com um peso específico adotado de 1,1 t/m³, resultando em um peso total diário de aproximadamente 408,67 toneladas.

Considerando os custos unitários para as etapas de carga, transporte (num raio de 27,3 km até a CTR Seropédica) e descarga, o custo total diário foi estimado em R\$ 40.957,11. Quando projetado para o período de um ano operacional completo (365 dias), esse valor atinge a cifra de R\$ 14.949.344,36. Os custos detalhados dessa operação estão apresentados na Tabela 4.

Já para a ETA Laranjal, situada em São Gonçalo/RJ, o volume diário de lodo estimado foi de 60 m³, também com peso específico de 1,1 t/m³, totalizando 66,53 toneladas diárias. Considerando o transporte até o Ecoparque São Gonçalo (12,9 km), a estimativa de custo diário foi de R\$5.326,23, com um custo anual estimado de R\$ 1.944.074,56. Os valores referentes a esta estação encontram-se na Tabela 5.

Esses resultados evidenciam o alto custo associado à destinação do lodo de ETA em aterros sanitários, sobretudo devido ao volume significativo produzido diariamente e aos valores praticados para descarga em unidades licenciadas. A partir desses dados, torna-se evidente a importância de avaliar alternativas economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, como o aproveitamento do lodo para recuperação de áreas degradadas, que pode representar não apenas uma economia substancial para as concessionárias, mas também um ganho ambiental relevante.

Além disso, os custos detalhados mostram que a etapa de descarga em locais autorizados representa a maior parcela do custo total, destacando-se como um dos principais pontos para possíveis otimizações ou substituições por soluções técnicas mais eficientes.

Tabela 4: Estimativa de Custo de Disposição do Lodo da ETA Guandu na CTR Seropédica

Base de Cálculo	Descrição do Serviço	Volume Diário [m ³]	Peso Específico [t/m ³]	Peso Diário [t]	Distância [km]	Transporte [tx.km]	Valor Unitário [R\$]	Valor Total [R\$]
SINAPI 101000	Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica	372	1,1	408,67			6,75	2.758,54
SINAPI 95880	Transporte com caminhão basculante (até 30 km)	372	1,1	408,67	27,3	11.156,75	1,40	15.619,44
Cotação	Descarga em local autorizado	372	1,1	408,67			55,25	22.579,13

Custo Diário Total: R\$ 40.957,11

Custo Anual Estimado: R\$ 14.949.344,36

Fonte: Próprio autor, 2025

Tabela 5: Estimativa de Custo de Disposição do Lodo da ETA Laranjal no Ecoparque

Base de Cálculo	Descrição do Serviço	Volume Diário [m ³]	Peso Específico [t/m ³]	Peso Diário [t]	Distância [km]	Transporte [tx.km]	Valor Unitário [R\$]	Valor Total [R\$]
SINAPI 101000	Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica	60	1,1	66,53			6,75	449,06
SINAPI 95880	Transporte com caminhão basculante (até 30 km)	60	1,1	66,53	12,9	858,21	1,40	1.201,50
Cotação	Descarga em local autorizado	60	1,1	66,53			55,25	3.675,67

Custo Diário Total: R\$ 5.326,23

Custo Anual Estimado: R\$ 1.944.074,56

Fonte: Próprio autor, 2025

Estimativa de custos de destinação do lodo de ETA para área degradada

A estimativa de custos para a destinação do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água Guandu e Laranjal em áreas degradadas encontra-se detalhada nas Tabelas 6 e 7. Os valores apresentados referem-se exclusivamente às etapas de carga e transporte do material, uma vez que a disposição final em áreas degradadas, por se tratar de uma ação de recuperação ambiental, não implicará em custos adicionais de descarga para a companhia.

Considerando uma distância de 50 km da ETA Guandu até a área degradada, o custo diário total para essa operação foi estimado em R\$ 31.365,58, o que corresponde a um custo anual de R\$ 11.448.435,24.

Já para a ETA Laranjal, aplicando a mesma distância de 50 km até a área de disposição, o custo diário total foi estimado em R\$ 5.106,02 o que representa um custo anual de R\$ 1.863.698,76.

Os resultados obtidos possibilitam uma visão clara dos encargos econômicos associados à prática de destinação do lodo em áreas degradadas, constituindo um subsídio técnico importante para a tomada de decisão quanto à adoção de estratégias alternativas de manejo desses resíduos.

Tabela 6: Estimativa de Custo de Destinação do Lodo da ETA Guandu em Área Degradada

Base de Cálculo	Descrição do Serviço Conforme SINAPI	Volume Diário de Lodo (m³)	Peso Específico (t/m³)	Peso Diário do Lodo (t)	Distância (km)	Transporte Total (t.km)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total Calculado (R\$)
SINAPI 101000	Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica	372	1,1	408,67	—	—	6,75	2.758,54
SINAPI 95880	Transporte com caminhão basculante (até 30 km)	372	1,1	408,67	50,0	20.443,60	1,40	28.607,04

Custo Diário Total: R\$ 31.365,58

Custo Anual Estimado: R\$ 11.448.435,24

Fonte: Próprio autor, 2025

Tabela 7 – Estimativa de Custo de Destinação do Lodo da ETA Laranjal em Área Degradada

Base de Cálculo	Descrição do Serviço Conforme SINAPI	Volume Diário de Lodo (m³)	Peso Específico (t/m³)	Peso Diário do Lodo (t)	Distância (km)	Transporte Total (t.km)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total Calculado (R\$)
SINAPI 101000	Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica	60	1,1	66,53	—	—	6,75	449,06
SINAPI 95880	Transporte com caminhão basculante (até 30 km)	60	1,1	66,53	50,0	3.326,40	1,40	4.656,96

Custo Diário Total: R\$ 5.106,02

Custo Anual Estimado: R\$ 1.863.698,76

Fonte: Próprio autor, 2025

Análise da viabilidade econômica da utilização do lodo para recuperação de áreas degradadas.

A análise dos custos anuais relacionados à destinação do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Água Guandu e Laranjal, considerando as duas alternativas de disposição — aterro sanitário e aplicação em área degradada — permitiu quantificar os impactos financeiros associados a cada modalidade.

Conforme apresentado na Tabela 8, a ETA Guandu apresentou um custo anual estimado de R\$ 14.949.344 para a disposição do lodo em aterro sanitário, enquanto a destinação para área degradada

resultou em um custo inferior, da ordem de R\$ 11.448.435. A diferença entre essas alternativas representa uma economia de R\$ 3.500.909,12, correspondente a 23% em relação ao custo com aterro.

No caso da ETA Laranjal, os custos anuais foram de R\$ 1.944.075 para a disposição em aterro e R\$ 1.863.699 para a destinação em área degradada. A economia registrada nessa unidade foi de R\$ 80.375,80 o que equivale a uma redução de 4% nos custos anuais.

No total, considerando ambas as ETAs, o custo global da disposição em aterro seria de R\$ 16.893.419, enquanto a destinação em áreas degradadas totalizaria R\$ 13.312.134. Essa diferença representa uma economia global de R\$ 3.581.284,92, equivalente a uma redução de 21% nos custos anuais totais.

Apesar de o custo de transporte para as áreas degradadas ter sido superior — R\$ 15.619,44 para a ETA Guandu e R\$ 1.201,50 para a ETA Laranjal — em comparação aos custos de transporte para disposição em aterro — R\$ 28.607,04 para a ETA Guandu e R\$ 4.656,96 para a ETA Laranjal —, em função do aumento da distância, observou-se que, para trajetos de até 50 km a partir das ETAs, os custos finais de destinação em áreas degradadas ainda se mostraram mais vantajosos.

Essa estimativa fornece subsídios relevantes para a tomada de decisão estratégica por parte da companhia, ao demonstrar que a destinação do lodo em áreas degradadas representa não apenas uma alternativa ambientalmente sustentável, mas também economicamente vantajosa. A economia anual de mais de R\$ 3,5 milhões evidencia o potencial expressivo de redução de custos operacionais com a adoção dessa prática, reforçando a viabilidade técnica e financeira da recuperação ambiental como solução eficiente para o gerenciamento de resíduos gerados nas ETAs. Essa abordagem, portanto, deve ser considerada como prioridade em futuras políticas de gestão de lodo, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental das operações.

Tabela 8: Comparação dos Custos de Disposição do Lodo em Aterro em relação a Destinação para Área Degradada

Comparação dos Custos	Custo da disposição do lodo em aterro anual [R\$]	Custo da destinação do lodo em área degradada anual [R\$]	Economia ou Acréscimo em R\$	Economia ou Acréscimo em %
ETA Guandu	14.949.344	11.448.435	3.500.909,12	23%
ETA Laranjal	1.944.075	1.863.699	80.375,80	4%
Total	16.893.419	13.312.134	3.581.284,92	21%

Fonte: Próprio autor, 2025

CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica da destinação do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETAs) para fins de recuperação de áreas degradadas, em comparação à sua disposição convencional em aterros sanitários devidamente licenciados. Foram consideradas as ETAs Guandu e Laranjal, localizadas no estado do Rio de Janeiro, com base em dados operacionais como volume diário de lodo, peso específico, distâncias percorridas para transporte e valores de serviços extraídos da tabela da Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) e cotações de mercado.

Os resultados demonstraram que a alternativa de utilização do lodo em áreas degradadas, ao eliminar os custos com a descarga em aterros, representa uma economia significativa. A estimativa é de uma redução anual de aproximadamente R\$ 3,5 milhões, o que corresponde a 21% dos custos totais comparados à disposição convencional. Este resultado evidencia o potencial da prática tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Além disso, destaca-se que a prática de reutilização do lodo de ETA na reabilitação de áreas degradadas está em consonância com as legislações ambientais vigentes, que incentivam a gestão adequada e sustentável de resíduos, promovendo a recuperação de ecossistemas impactados. A proposta também reforça o compromisso institucional da Companhia com os princípios de governança ambiental, social e corporativa (ESG), alinhando suas operações às diretrizes de responsabilidade socioambiental.

Ressalta-se, contudo, que este estudo ainda se encontra em andamento, tendo utilizado dados estimativos obtidos na literatura técnica para parâmetros como o percentual de lodo gerado e o peso específico do resíduo. Dessa forma, análises mais aprofundadas quanto às características físico-químicas dos lodos gerados e às particularidades operacionais de cada ETA devem ser conduzidas, a fim de validar e fortalecer os resultados obtidos nesta etapa preliminar e assegurar a eficácia e segurança da aplicação proposta.

Por fim, este estudo representa um ponto de partida importante para a análise e formulação de estratégias de gestão de resíduos, servindo como subsídio técnico para a tomada de decisões estratégicas voltadas à sustentabilidade e à eficiência econômica no setor de saneamento

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREMA. *Aterro sanitário Seropédica: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. 2020. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2020/12/14/aterro-sanitario-seropedica-regiao-metropolitana-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- ANDREOLI, C. V.; ZARPELON, A.; BERTOLI, B.; CARNEIRO, C. A problemática da geração e disposição final de lodo de ETA. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). *Lodo de Estações de Tratamento de Água: Gestão e Perspectivas Tecnológicas*. Curitiba: Sanepar, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: Classificação de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 3 ago. 2010.
- BRASIL. *Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020*. Estabelece critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólidos em solos, garantindo segurança ambiental e saúde pública. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 ago. 2020.
- CEDAE. *Sistema Guandu*. CEDAE, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.cedae.com.br/>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- CEDAE. *Sistema Imunana Laranjal*. CEDAE, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.cedae.com.br/>. Acesso em: 1 jan. 2025.
- COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA. *Subcomitê Leste*. 2025. Disponível em: <https://comitebaiaideguanabara.org.br/subcomite-leste/>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- COMITÊ GUANDU. *Região Hidrográfica II*. 2025. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/regiao/>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- CRUZ, C. L. B. M. da; SANTOS, A. S. P.; RITTER, E. *Avaliação de diferentes combinações entre lodo de ETA e lodo de ETE para produção de mudas florestais*. 2022.
- EMBRAPA. *Ciência ajuda a aproveitar lodo de tratamento de água na agricultura*, EMBRAPA, Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/76090340/ciencia-ajuda-a-aproveitar-lodo-de-tratamento-de-agua-na-agricultura>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro*. 2023.
- MORAES, Patrick. *Potencial poluidor da disposição final de resíduos sólidos nas águas da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara - RJ*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- MOREIRA, Ricardo Cosme Arraes. *Estudo geofísico e geoquímico da mobilização de elementos e compostos químicos em área degradada utilizada para a disposição de lodo de ETA*. 2009.
- MORSELLI, L. B. G. A.; CARMO, L. A. G. do; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. *Lodo de ETA: possibilidade de aplicação no solo*. 2022.
- RICHTER, Carlos A. *Tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. São Paulo: Blucher, 2021.
- SEAS – SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. *Panorama da Gestão de Resíduos Sólidos no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2019.
- SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTO E ÍNDICE DE CONSTRUÇÃO CIVIL - 01-25
- TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J. de; SILVA, E. T. da. *Aplicação de lodo de ETA em solo degradado*. 2005.
- TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. *Aproveitamento e disposição final de lodos de ETA de São Paulo*. 2001.
- VAN ELK, A. G. H. P.; SANTOS, J. E. S. dos. *Maiores geradores de resíduos na Região Metropolitana do RJ: gestão sob a ótica da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. 2019.