

## **704 ESTUDO DA VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DA COMPOSTAGEM DE LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO SEMAE DE MOGI DAS CRUZES/SP PARA USO NA AGRICULTURA**

**Jenifer Clarisse Pereira da Silva<sup>(1)</sup>**

Técnica em Saneamento pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto de Mogi das Cruzes/SP, Mestra em Engenharia Civil – Saneamento e Meio Ambiente e Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Ezelino da Cunha Glória, 699 Bloco A apto 34, Jardim Maricá – Mogi das Cruzes-SP  
CEP: 08775-520 - País - Tel: +55 (11) 4798-6773 - Cel: +55 (19) 94445-9159 - e-mail:  
[jenifer@semae.sp.gov.br](mailto:jenifer@semae.sp.gov.br).

### **RESUMO**

Com as recentes atualizações impostas pela Lei nº14.026/2020 conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento as companhias e empresas do setor estão cada vez mais pressionadas quanto aos investimentos em infraestrutura e melhoria dos sistemas existentes. Dentro desse contexto, um dos maiores custos operacionais de Estações de Tratamento de Esgoto é a disposição ambientalmente correta dos resíduos gerados cujo volume é diretamente acrescido com o aumento das vazões coletadas e tratadas. Na ETE do município de Mogi das Cruzes/SP, em 2016 o custo para a destinação dos resíduos representou 9% do custo total da operação. Já em 2021, essa porcentagem aumentou para 35%. Nesse mesmo período, houve um acréscimo de 15% no volume de esgoto tratado, ou seja, a elevação dos valores de contrato de destinação final foi a maior responsável pelo aumento da porcentagem desse custo no custo total. O resíduo do tratamento de esgotos domésticos (lodo) possui grande quantidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo e outros minerais como magnésio e manganês que auxiliam no crescimento vegetal. Entretanto, o lodo de esgoto doméstico também possui grande quantidade de patógenos e alguns metais, que podem ocasionar contaminação do solo e do indivíduo que irá manusear o lodo. Com a técnica de manejo adequada é possível comercializar o composto gerado ou no mínimo reduzir ou eliminar o custo de destinação com a doação do composto para produtores agrícolas locais. Diante do exposto, o presente estudo teve o propósito de verificar a viabilidade ambiental, técnica e econômica do uso do lodo gerado na ETE Leste como fertilizante em cultura de eucalipto, plantação de flores e demais culturas que não tenham contato direto com o solo após compostagem e alcalinização. Os dados obtidos evidenciaram a viabilidade técnica para uso do lodo como fertilizante pois não apresentou organismos patogênicos e a quantidade de metais presentes ficou bem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA Nº 498/2020 e norma técnica P4.230 da CETESB.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, reutilização, compostagem, fertilizante

### **INTRODUÇÃO**

Com as recentes atualizações impostas pela Lei nº14.026/2020 conhecida como Novo Marco Legal do Saneamento as companhias e empresas do setor estão cada vez mais pressionadas quanto aos investimentos em infraestrutura e melhoria dos sistemas existentes. Dentro desse contexto, um dos maiores custos operacionais de Estações de Tratamento de Esgoto é a disposição ambientalmente correta dos resíduos gerados cujo volume é diretamente acrescido com o aumento das vazões coletadas e tratadas.

Considerando que em 2020 havia 2707 lixões no Brasil, recebendo parte das 71 milhões de toneladas de lixo geradas anualmente em todo o país, esse resíduo deverá ser destinado aos aterros sanitários (que possuem licenciamento para gerenciar os resíduos recebidos).

Na ETE do município de Mogi das Cruzes/SP, em 2016 o custo para a destinação dos resíduos representou 9% do custo total da operação. Já em 2021, essa porcentagem aumentou para 35%. Nesse mesmo período, houve um acréscimo de 15% no volume de esgoto tratado, ou seja, a elevação dos valores de contrato de destinação final foi a maior responsável pelo aumento da porcentagem desse custo no custo total.

O resíduo do tratamento de esgotos domésticos (lodo) possui grande quantidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo e outros minerais como magnésio e manganês que auxiliam no crescimento vegetal. Com a técnica de manejo adequada é possível comercializar o composto gerado ou no mínimo reduzir ou eliminar o custo de destinação com a doação do composto para produtores agrícolas locais.

Entretanto, o lodo de esgoto doméstico também possui grande quantidade de patógenos e alguns metais, que podem ocasionar contaminação do solo e do indivíduo que irá manusear o lodo. Na ETE leste, a concentração de metais no lodo é baixa, estando dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 375/2006. A preocupação no presente estudo é quanto a presença de agentes patogênicos como helmintos e vírus.

Assim, para a adequação do lodo no uso como fertilizante agrícola é necessária a eliminação de patógenos que pode ser feita de diversas formas como secagem térmica, disposição em leitos de secagem ao sol ou uso de um agente alcalinizante. Além da eliminação de patógenos, é necessário que o lodo esteja estabilizado bioquimicamente, sem atividade microbiológica.

Ao produto gerado a partir do tratamento adequado do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto, a Resolução CONAMA Nº 498/2020 define como bioestabilizado.

## OBJETIVO

O presente estudo tem o propósito de verificar a viabilidade ambiental, técnica e econômica do uso do lodo gerado na ETE Leste como fertilizante em cultura de eucalipto, plantação de flores e demais culturas que não tenham contato direto com o solo após compostagem e alcalinização.

## METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto Leste, que opera por Sistema de Lodos Ativado na modalidade Aeração prolongada, tratando em média de 130 l/s de esgoto/mês.

Nas figuras 1 e 2 podemos verificar o aumento no custo de destinação de lodo e a quantidade de lodo retirada do sistema, respectivamente.

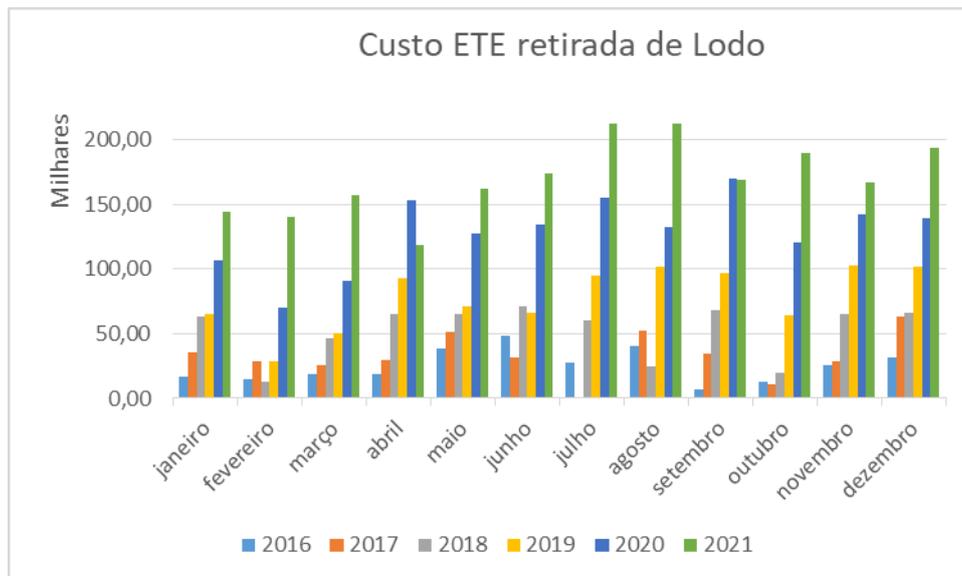
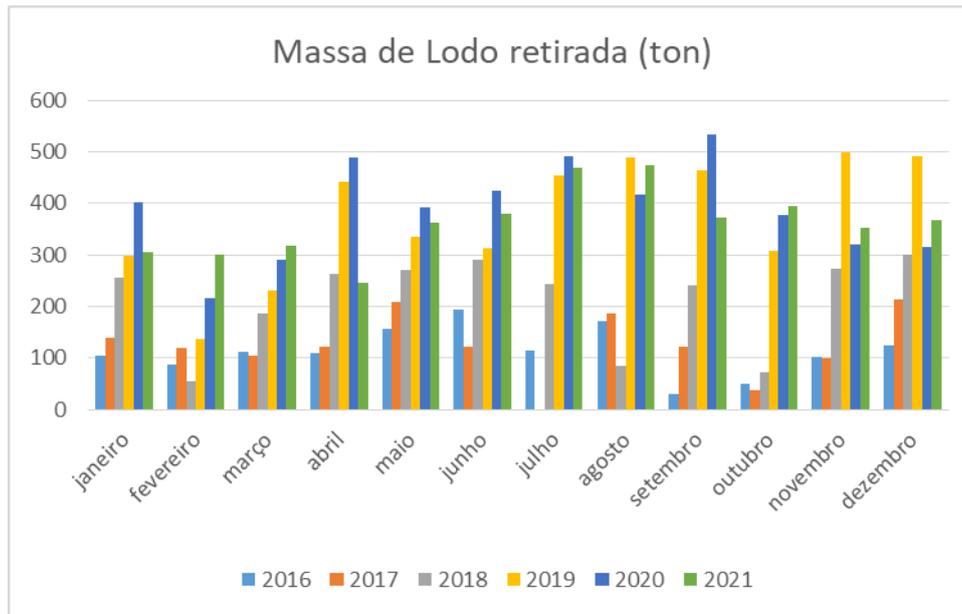


Figura 1. Gráfico de custo de retirada de lodo, período 2016 a 2021

Houve aumento de 118% no custo com retirada de lodo entre 2019 e 2021 (Figura 1) porém foram retirados 3% menos lodo no mesmo período (Figura 2).



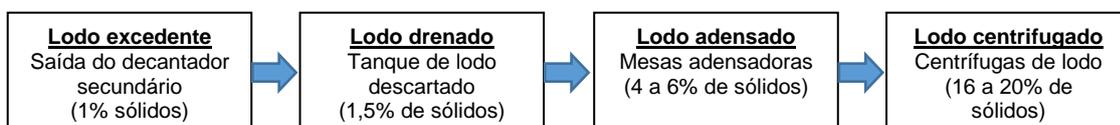
**Figura 2. Gráfico da massa de lodo retirada, período 2016 a 2021**

O custo de destinação de resíduos em aterros sanitários tem se elevado devido à redução de espaços adequados para essa destinação.

Assim, a alteração do tipo de destinação final ambientalmente correta e economicamente viável é imperativa baseado nos custos de destinação, no impacto gerado nos aterros e no potencial agrícola do lodo de ETE.

A resolução N° 498/2020 estabelece parâmetros e métodos para transformar lodo de esgoto sanitário em biossólido. O Estado de São Paulo possui desde 1999 uma Norma Técnica P4.230 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB a qual estabelece para aplicação de lodos de sistemas biológicos de tratamento em áreas agrícolas.

Na figura 3 visualiza-se o gerenciamento de lodo da ETE leste.

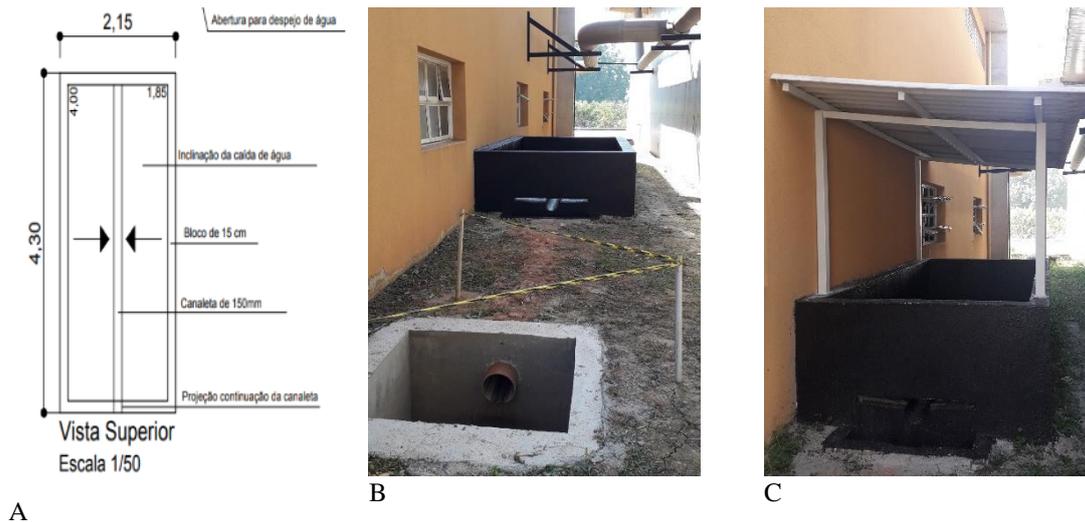


**Figura 3. Gerenciamento de lodo na ETE leste**

O sistema de compostagem escolhido para o presente estudo foi o Sistema de Leiras Revolvidas (Windrow) devido a simplicidade desse. Em seguida foi utilizada cal hidratada para inativação de patógenos, na proporção inicial de 15% de peso seco de lodo e a fonte de carbono inicial de 30%.

Para adequação do lodo ao uso como fertilizante, foi utilizada a técnica de compostagem utilizando serragem como fonte de carbono, seguida por estabilização alcalina utilizando cal hidratada como agente alcalinizante. Segundo Guimarães (2018), pode ser utilizado tanto a cal virgem quanto a hidratada, alterando-se as proporções de cada tipo de cal em relação à massa de lodo.

Foi construída uma estrutura conforme figura 4 para conduzir o estudo da compostagem.



**Figura 4. A. Planta Baixa do tanque de compostagem; B. Tanque de drenagem e Tanque de compostagem do lodo; C. Tanque após cobertura**

Foram adicionados 2 bags de 1 m<sup>3</sup> cada preenchidas com lodo de esgoto centrifugado com teor de sólidos totais de 18,21%, totalizando por volta de 2m<sup>3</sup> de lodo (364,4 kg de massa seca).<sup>1</sup> Após acomodação do lodo no tanque, foram adicionados 0,5 m<sup>3</sup> (112 kg de massa seca)<sup>2</sup> de serragem adquiridas de uma madeireira.

**Tabela 1. Programa de estudo da compostagem do lodo**

<b>Atividades durante a estabilização biológica (compostagem)</b>	
<b>Atividade</b>	<b>Frequência</b>
Aferição da temperatura do composto	3 vezes/dia
Aferição da temperatura do ambiente	3 vezes/dia
Revolvimento do composto	1 vez/semana
<b>Atividades após estabilização</b>	
Verificação do teor de SSV e SST	97 dias do início do estudo
Adição de cal	179 dias do início do estudo
Peneiramento do composto (malha 6mm) e envio para laboratório externo	217 dias do início do estudo

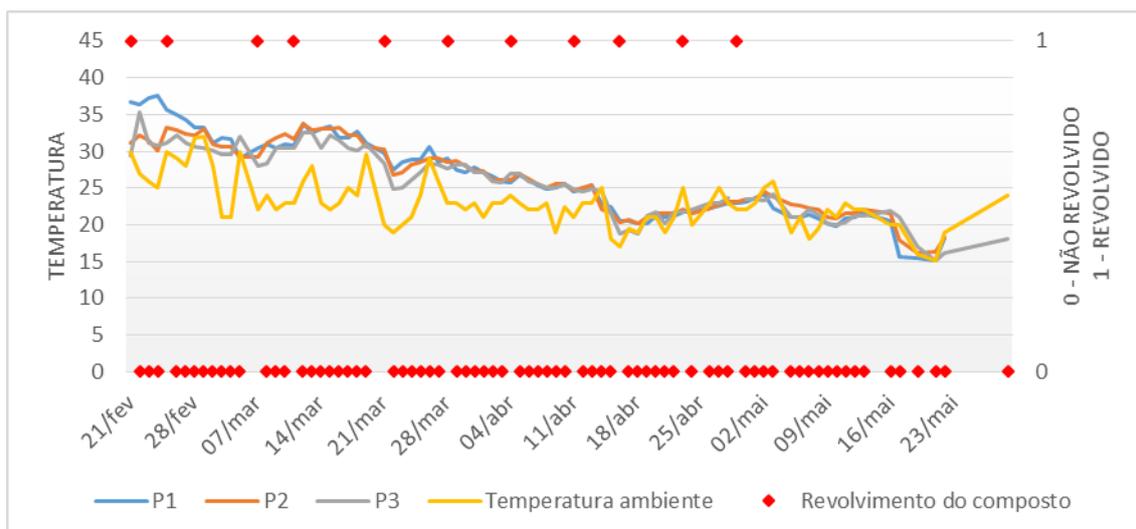
Após o peneiramento do composto, o mesmo foi coletado por laboratório externo contratado para verificação da eficiência da compostagem conforme CONAMA N° 498/2020.

## RESULTADOS OBTIDOS

O revolvimento do composto para garantir a aeração e controle de temperatura foi feito a cada 8 dias, totalizando 11 revolvimentos ao longo do estudo. Na figura 5 verifica-se as temperaturas registradas no composto ao longo do estudo e os pontos vermelhos (♦) correspondem aos dias em que o composto foi revolvido.

<sup>1</sup> Não foi possível aferir exatamente o volume nem a massa de lodo do estudo por falta de equipamentos adequados. A mensuração foi feita com base no volume útil da bag utilizada para transporte do lodo.

<sup>2</sup> Calculada com base na densidade da serragem (225kg/m<sup>3</sup>)



**Figura 5. Gráfico de temperatura do composto ao longo do estudo**

Nos primeiros 15 dias de estudo, o composto ficou espalhado por todo o tanque conforme figura 6A. Nesse período, a temperatura média do composto foi de 32°C valor abaixo do recomendado para compostagem. Tendo em vista que o aumento da altura da pilha de composto evita perda de calor para a superfície, aumentando a temperatura interna, optou-se por concentrar a pilha de composto em uma extremidade e a cada revolvimento, direcioná-la para o outro extremo (Figura 6B).



A



B

**Figura 6. A. Lodo espalhado pelo tanque (início do estudo); B. Lodo compostado**

O composto apresentou temperaturas médias abaixo de 28°C ao longo do estudo (Tabela 2).

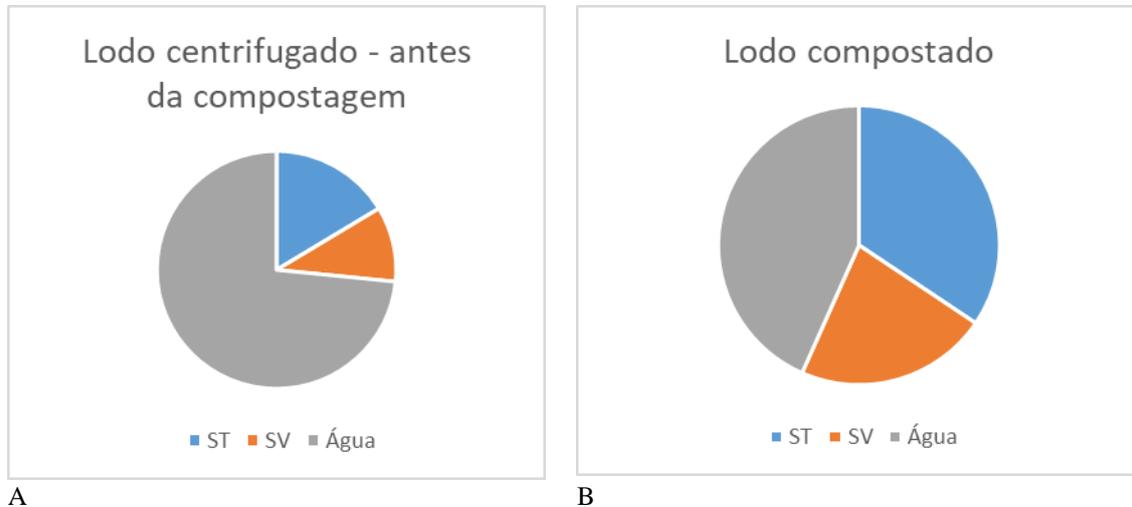
**Tabela 2. Temperaturas registradas ao longo do estudo: Composto e Ambiente**

Temperaturas (°C)				
	Composto			
	P1	P2	P3	Ambiente
<b>Média</b>	27	27	26	24
<b>Desvio</b>	5	4	4	4
<b>Máxima</b>	37,8	34,1	39,8	32

Segundo Corrêa *et al.*, 2007 e PROSAB – Manual para compostagem de biossólido, a fase de maturação é iniciada após 60 dias de compostagem, contudo, optou-se por aumentar o período de revolvimento pois a

temperatura ideal para o metabolismo microbiano não foi atingida (Tabela 2). Assim, houve a tentativa de prolongar o tempo de compostagem para possibilitar a biota consumir a matéria orgânica.

Na figura 7 visualiza-se a porcentagem de sólidos totais e sólidos voláteis antes e após a compostagem do lodo.



**Figura 7. Porcentagem de sólidos totais e sólidos voláteis, A. antes da compostagem, B. após compostagem**

Verifica-se na figura 7 que houve uma redução na quantidade de água do lodo, passando de 81,78% de água no lodo centrifugado para 55,74% no lodo compostado.

A finalização do estudo ocorreu com a adição de 16kg de cal hidratada ao lodo compostado. Posteriormente o composto foi peneirado em malha de 6mm e enviado para análise de laboratório externo.

No laudo emitido todos os compostos orgânicos voláteis ficaram abaixo do limite de detecção do método e os metais detectados, Ba, Pb, Cu, Ni, Se e Zn, ficaram abaixo do limite estabelecido na resolução CONAMA N°498/2020. Os demais metais ficaram abaixo do limite de detecção.

Acerca dos patógenos, a tabela 6 resume os resultados obtidos.

**Tabela 3. Análises Microbiológicas do lodo compostado**

Análise	Resultado	Norma técnica CETESB – P4.230 <sup>3</sup>	Unidade
Microbiológica			
Ovos viáveis de Helmintos	<0,25	<1 por 4gST	Ovos/g ST
Vírus Entéricos	<1	<1 por 4gST	Ovos/g ST

O comparativo para contaminação bacteriológica foi feito por coliformes termotolerantes e presença ou ausência de *Salmonella sp.*

Conforme demonstrado na tabela 4 (resumo do laudo do laboratório externo contratado), não foi detectado ovos viáveis de helmintos, coliformes fecais, vírus entéricos e *Salmonella sp.* no lodo compostado. A quantidade de metais também ficou abaixo dos padrões estabelecidos pela CONAMA N° 498/2020.

<sup>3</sup> . Os valores de referência devem são apresentados como densidade e não concentração (densidade de patógenos em massa de sólidos).



## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados obtidos evidenciaram a viabilidade técnica para uso do lodo como fertilizante pois não apresentou organismos patogênicos e a quantidade de metais presentes ficou bem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA N° 498/2020 e norma técnica P4.230 da CETESB.

Assim, o lodo pode ser aplicado de forma segura sob o aspecto de manuseio pelo agricultor e segurança alimentar considerando se tratar de um composto proveniente de um resíduo de tratamento de esgoto, mas que após o tratamento adequado não foram identificados organismos patogênicos. Da mesma forma, o composto se mostrou seguro para aplicação no solo visto que a presença de metais ficou abaixo dos limites das legislações CONAMA N° 498/2020 e norma técnica P4.230 da CETESB.

## CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados, aspectos econômicos e ambientais a compostagem do lodo da ETE leste mostrou-se viável para produção de fertilizante agrícola.

A viabilidade econômica é demonstrada pela redução do teor de água no lodo, reduzindo assim volume e peso. Dessa forma, ainda que o lodo compostado seja enviado à aterro, será possível retirar maior quantidade de lodo com menor número de viagens pois a compostagem proporcionou a redução da quantidade de água no lodo acima de 25%, passando de 82% para 56% de água.

Outrossim, é possível gerar receita com a venda do composto produzido aos produtores agrícolas da região ou mesmo a doação do produto, evitando ou reduzindo o custo com destinação à aterro sanitário. Paralelamente à viabilidade econômica pela mudança da destinação final do lodo, obtém-se o ganho ambiental visto que aterros são locais destinados ao recebimento de resíduos e que causam grande impacto ambiental pois demandam grandes áreas e uma operação eficiente para reduzir os riscos de contaminação de solo de lençol freático.

Destaca-se também a sustentabilidade do processo tendo em vista que o lodo de tratamento de esgoto é um resíduo com grande quantidade de nutrientes que são de interesse na agricultura como Nitrogênio e fósforo. Dessa forma, um resíduo rico em nutrientes deixa de ser destinado a aterros e tem sua capacidade de nutrição de solo utilizada corretamente. Esse uso sustentável do resíduo de tratamento de esgoto também proporciona a redução do uso de fertilizantes químicos, cuja utilização é onerosa aos produtores agrícolas bem como, sua produção acarreta outros impactos ambientais tanto na extração/produção quanto no uso se for dosado de forma incorreta.

Com base nos dados obtidos, a próxima etapa do estudo consiste em utilizar o composto produzido em mudas de pitanga para testar o potencial como fertilizante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA, (2020) Agência Nacional de Águas, Atlas Esgotos. <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> Acesso em 08/08/2022.
2. BITTENCOURT, S., AISSE, M.M., SERRAT, B.M. (2017) Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do paraná, Brasil. Revista Eng Sanit Ambient, v 22 n.6 /nov/dez 2017 p.1129-1139.
3. BRASIL (2006) Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA n° 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para uso agrícola do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
4. BRASIL (2020) Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA n° 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bioestabilizado em solos, e dá outras providências.
5. BRASIL (2020) Ministério do Desenvolvimento Regional, Lei 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei 9.984 de 17 de julho de 2000 e dá outras providências.



6. CETESB, (1999) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Norma Técnica P4.230 Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícola0073 – critérios para projeto e operação: manual técnico.
7. CORRÊA, R.S.; FONSECA, Y.M.F.; CORRÊA, A. S. (2007) Produção de biossólido agrícola por meio de compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v 11, n.4, p. 420 -426.
8. GUIMARÃES, F.D. (2018), Desinfecção Alcalina do Lodo: Projeto de Intervenção Ambiental nas Estações de Tratamento de Esgoto do Distrito Federal, Trabalho de conclusão de curso Instituto Federal do Ceará.
9. PROSAB (1999), Programa de pesquisa em saneamento básico – Manual Prático para a compostagem de biossólidos, Universidade Estadual de Londrina.